



2009 清潔生產暨環保技術研討會

論文集



2009 清潔生產暨環保技術研討會 論文集



經 濟 部 工 業 局



財團法人台灣產業服務基金會

著

出版機關： 經 濟 部 工 業 局

出版年月： 中 華 民 國 98 年 11 月

序

在全球性氣候的環境變遷下，使得我們所居住的環境更加惡化。因此，國際社會不斷的積極尋求解決之道，透過訂定國際環保公約、協定及規範，期能透過全球性或區域性的合作方式，維護全球永續發展及人類的存續。然而，國際社會所訂定的各項規範，有許多的制約與限制，將衝擊及影響國內的產業發展。本局基於主管機關的立場，除積極推動工業發展外，並透過清潔生產的各項輔導、宣導與推廣作業，協助產業以更有效的清潔生產措施，以因應國際趨勢及落實節能減碳，達成提升整體產業競爭力，追求企業永續發展之目標。

基於成效擴散推廣，產業如能將提升清潔生產與環保技術所累積之經驗，與產業界交流互通，不但對台灣的環境品質改善有直接的貢獻，對工業的永續發展也將有極大助益。有鑑於此，本局特辦理「2009 清潔生產暨環保技術研討會」，透過研討之方式，以「清潔生產」、「空氣污染防治」、「廢水處理技術」及「廢棄物處理與資源化技術」為主軸，廣邀各界之實務經驗，提供相互交流之機會。

本研討會承蒙產、官、學、研各界先進積極參與，共收錄 32 篇論文，期提供業界因應國際環保趨勢、提升清潔生產技術、節能減碳績效及廠內污染防治管理知能，並落實擴散推廣，為業界追求持續改善與企業永續發展提供寶貴的知識與技術傳輸。

在此謹對提供論文之先進，能毫無藏私地將推動清潔生產及環保技術之實務經驗與心得提供各界分享，致上由衷謝忱。同時，感謝負責研討會籌備工作之執行單位—財團法人台灣產業服務基金會、論文審查委員及本局相關同仁，由於他們的辛勞，方能使本研討會順利舉辦及本論文集如期付梓。

經濟部工業局 謹誌
中華民國 98 年 11 月

目 錄

頁碼

議程一

- 1.利用廢鐵去除蝕刻液廢水之磷酸
李宗翰、林書丞、連興隆 ----- 1
- 2.提升半導體業冷卻水塔用水之水質穩定度實例介紹
林孟杰、楊昆龍、呂局校、盧彭潭、劉凱溢、陳奎麟 ----- 11

議程二

- 1.降低半導體業處理氫氟酸廢水氯化鈣使用量實例介紹
黃俊評、盧彭潭、蔡漢育、林政紀、劉凱溢、陳奎麟 ----- 29
- 2.國內某加工出口區放流水再處理及回收再利用之可行性探討
楊金鐘、賴志敏 ----- 43
- 3.油墨廢水淤泥循環再生技術與應用成功案例
許家源 ----- 53

議程三

- 1.煉焦廢水中硫氧化物來源與預警監控
沈瑞富、陳文昌、陳丁碩、李銘偉 ----- 57
- 2.半導體廠房噪音防制及音源頻譜分析案例探討
賴膺仁、林俊伯、王述熙、鄭安杰 ----- 67
- 3.竹板材製備及其環境性能之研究
楊叢印、黃進修、許順珠、莊鈺賢 ----- 81

目 錄

頁碼

議程四

1. 建構高暖化潛勢溫室氣體SF6排放減量技術
鄭如琇、呂慶慧、洪子欣、吳易儒 ----- 91
2. 光電業有機酸及無機酸共排淨化效能提升技術
張豐堂、粘愷峻、王秉才、吳珮如 ----- 103

議程五

1. 高效率核凝成長洗滌搭配浮動式活性碳床有機溶劑回收技術開發—以PU皮業為例
粘愷峻、王秉才、張豐堂、蔡昆霖 ----- 113
2. 高溫氣體淨化技術之探討
陳一順、邱耀平 ----- 123
3. 統一企業新市總廠溫室氣體減量技術應用工程實務
陳榮松、黃明得、陳邦雄、簡志賢、楊哲棋 ----- 135

議程六

1. 鼓風機進風道除塵效能之提升
林勳佑、盧毓龍 ----- 151
2. 熱風爐系統熱效率提昇
林佩勳、王佰祥、姚文台、蔡日新 ----- 163
3. 瀝青拌合業異味改善成功案例
羅金泉、王品凱、陳子秦、司洪濤 ----- 175

目 錄

頁碼

議程七

- 1.以電漿熔融產物水淬熔岩爲原料製作人造石之研究
楊昇府、王多美、葉俊彥、李文成、孫金星、曾錦清 ----- 183
- 2.循環式流體化床(CFB)飛灰作爲卜作嵐材料資材化之研究
林凱隆、吳修賢 ----- 195

議程八

- 1.污泥類廢棄資材製成多孔性輕質材料之應用評估研究
江康鈺、陳冠懃、張靖芬、顏慧茹、簡光勵 ----- 209
- 2.利用廢織物生產生質酒精
郭家宏、林伯儒、李振綱 ----- 225
- 3.非氰化黃金剝離劑之研究－以IT產業廢BGA板爲例
余炳盛、連崇孝、協昌之、詹士儀、張鎮宇 ----- 239

議程九

- 1.飛灰副產品資源化作爲鋼液保溫劑之技術開發
李育成、林冠儒、黃大松、王文賢、李勝棠 ----- 249
- 2.從電弧爐煉鋼集塵灰中利用水熱法備製奈米氧化鋅之合成及其性質研究
蕭立殷、王永宏、方錦塘、王文琳 ----- 259
- 3.廢PCBs合成高純度奈米氧化銅
余炳盛、翁維聰、林彥廷、王品嫻 ----- 267

目 錄

頁碼

議程十

1. EuP生態化設計導入數位機上盒產業之效益分析
張蕙蘭、朱志弘、黃文輝、劉子銜、劉元成 ----- 281
2. 產品生命週期盤查表的建立
朱志弘、林馨如、黃英傑、黃文輝 ----- 301

議程十一

1. 環保科技園區促進綠色供應鏈之環境效益－以扣件業為例
陳彥全、劉子銜 ----- 317
2. 正隆紙業推動清潔生產照明設備節能減碳改善案例
陳階陽、黃治清、卓憲騰、司洪濤 ----- 323
3. 全球綠色包裝評估發展現況與我國未來推動芻議
楊為凱、李欣璋、陳致谷 ----- 335

議程十二

1. 運轉中之空壓系統節能改善技術
葉慶得 ----- 351
2. 清潔生產技術應用於空氣污染物減量之成功案例
郭志軍、陳見財 ----- 367
3. 斷熱塗佈清潔生產技術與應用成功案例
陳明焜、司洪濤、郭志軍、卓憲騰 ----- 381

議程一

1.利用廢鐵去除蝕刻液廢水之磷酸

李宗翰、林書丞、連興隆

2.提升半導體業冷卻水塔用水之水質穩定度實例介紹

林孟杰、楊昆龍、呂局校、盧彭潭、劉凱溢、陳奎麟

利用廢鐵去除蝕刻液廢水之磷酸

李宗翰*、林書丞*、連興隆**

摘 要

磷酸鹽，又稱磷酸根(PO_4^{3-})，是磷酸於水中解離之形式。一般環境中的磷酸鹽主要來自於工業(如蝕刻製程廢液)、農業肥料)和日常用清潔劑等。其過量排放將會引起水中藻類生物大量增生，而造成水質優養化、造成水中生物缺氧、影響生態系統。目前工業上常用的處理廢棄磷酸，包括生物除磷及混凝沈澱。生物除磷主要是利用兼氣異營的磷積蓄菌攝取水中的磷酸鹽，但穩定性較差，操作條件嚴格，當廢水水質之生物危害性較高時便不適用。而混凝沈澱則是添加混凝劑，如硫酸鋁等鋁鹽、氯化鐵等鐵鹽或石灰等，使廢水產生混凝現象，以去除水中之污染物。然而，該藥劑費用較高，且產生的大量化學污泥需要進行下一處理，否則可能造成二次污染。

本計劃預計使用廢棄之鐵金屬，廢鐵來源：鋼鐵工業生產過程中，鋼胚熱軋製程是其中重要過程，在這當中鋼胚表面研磨鋼胚加熱軋延等都會產生氧化鐵銹皮。其中鋼胚表面研磨後其組成與鋼胚類似，含鐵量高達 99 %，由於鐵金屬於水中會產生鐵離子，而鐵離子會與水中磷酸根形成磷酸鐵(FePO_4)沉澱，達到去除磷酸之作用。此外鐵離子會與水中的氫氧根(OH^-)形成氫氧化鐵($\text{Fe}(\text{OH})_3$)沈澱，並於沈澱過程中造成掃曳(sweep)絆除其他膠羽共沉現象，去除水中之污染物。如能以工業製程中所產生之廢鐵來取代混凝劑之使用，則可有效降低處理成本，又可達到資源再利用之效果，為一值得進一步研究之構想。

【關鍵字】 磷酸、廢鐵、廢水處理技術、廢棄物資源再利用

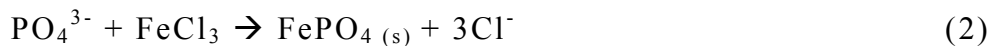
*國立高雄大學土木與環境工程學系 專題生

**國立高雄大學土木與環境工程學系 系主任

一、前言

磷酸鹽，又稱磷酸根 (PO_4^{3-})，是磷酸於水中解離之形式，為無機化學、生物化學及生物地質化學的重要物質。一般環境中的磷酸鹽主要來自於工業(如蝕刻製程廢液)、農業(肥料)和日常用清潔劑等。其過量排放將會引起水中藻類生物大量增生，而造成水質優養化、造成水中生物缺氧、影響生態系統。目前放水標準之正磷酸鹽限制為 4.0 mg/L(環保署放流水標準)。

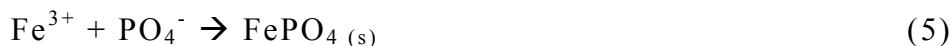
目前常用的處理幫法包括生物除磷以及物化處理(混凝沈澱)。生物除磷主要是利用兼氣異營的磷積蓄菌攝取水中的磷酸鹽，但當廢水水質之生物危害性較高時較不適用。而混凝沈澱則是添加混凝劑，如硫酸鋁等鋁鹽(方程式1)、氯化鐵等鐵鹽(方程式2)或石灰等，使廢水產生混凝現象，以去除水中之污染物。



零價金屬是近年來新興的污染清除材料。其中又以零價鐵金屬(Zero-valent iron)最受重視，其優點為價格低廉，且對環境造成之衝擊度低(Beitinger E., 1998)。文獻中提到零價鐵反應過程中會造成水中 pH提高、氧化鐵、氫氧化鐵等表面沈澱物的生成(Matheson et al., 1994)。



由於鐵金屬於水中會產生鐵離子(方程式3、4)，鐵離子會與水中磷酸根形成磷酸鐵(FePO_4)(方程式5)，達到去除磷酸之作用。此外鐵離子會與水中的氫氧根(OH^-)形成氫氧化鐵($\text{Fe}(\text{OH})_3$)沈澱(方程式6)，並於沈澱過沉中造成掃曳(sweep)絆除其他膠羽共沉現象，去除水中之污染物。如能以工業製程中所產生之廢鐵來取代混凝劑之使用，則可有效降低處理成本，又可達到資源再利用之效果。



二、 實驗設備及方法

1. 實驗材料

本實驗使用之藥品為：磷酸(ortho-Phosphoric Acid)，濃度 85%，購自 Schavlau；廢鐵，取自某鋼鐵廠；氫氧化鈉溶液(Sodium Hydroxide Solution)，濃度 5.0 N，購自 HACH；

硫酸(Sulfuric Acid Standard Solution)，濃度 5.25 N，購自 HACH；

Molybdovanadate Reagent，購自 HACH；過硫酸鉀(Potassium Persulfate)，購自 HACH；海綿；石英砂；氯化鈉。

2. 磷酸分析方式

(1) 前處理

- a. 將預分析之水樣利用 0.45 μm 過濾頭(Syringe filter)過濾。
- b. 加入過硫酸鉀粉末與 2 ml 的 5.25 N 硫酸。
- c. 在加熱攪拌器上以 75~85 $^{\circ}\text{C}$ 加熱 30 分鐘，之後靜置等待冷卻至室溫。
- c. 冷卻後加入 2 ml 的 5.0 N 氫氧化鈉溶液。
- d. 以 D. I. water 將溶液定量至 25 ml 。

(2) 濃度分析

- a. 將前處理完的溶液置入專屬石英管中，並加入 Molybdovanadate Reagent 1 ml 靜置五分鐘；另一方面，將 D.I. Water 置入另一石英管，依循相同步驟，作為空白水樣。
- b. 將靜置完後的空白溶液先置入儀器內先行歸零，歸零完成後再放入待測水樣量測，即可測得其濃度。

3. 實驗設計

(1) 配製污染物

取濃磷酸液體 1 ml 定量到 100 ml，配成 14,535 mg/L 的污染物母液。之後每次取此母液 1.0 ml 定量至 100 ml，即得 145 mg/L 的磷酸液體。

(2) 批次實驗

批次試驗設計如圖 1，磷酸初始濃度 145.35 mg/L，水樣體積 100 ml，初始 pH 約 2.8。廢鐵用量為 5 g。水平震盪儀轉速 175 rpm。

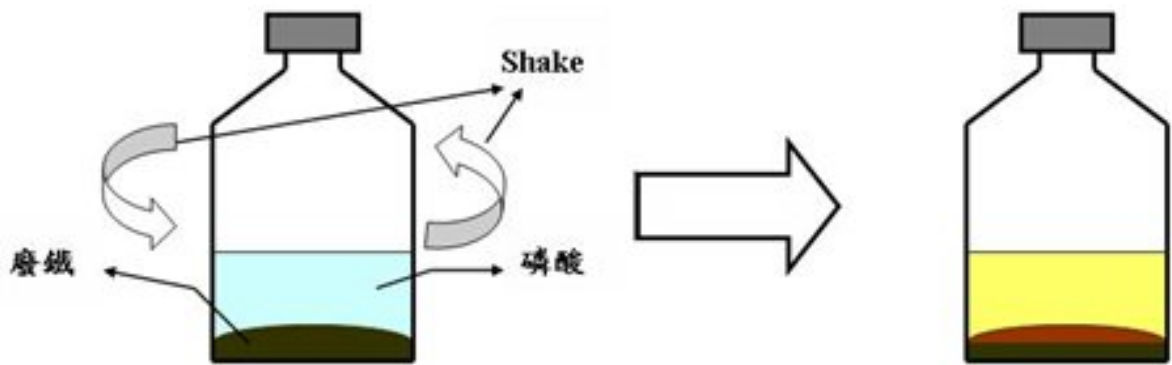


圖 1 批次設計圖

(3) 管柱實驗

管柱設計如圖 2，先填充海綿約 0.5 g，再填充約 30 g 石英砂，中間填入約 210 g 廢鐵鐵砂。處理液體經由蠕動幫浦(Master Flex)傳輸，由管柱下方進入，上方排出。進流速度參考批次實驗結果而決定。

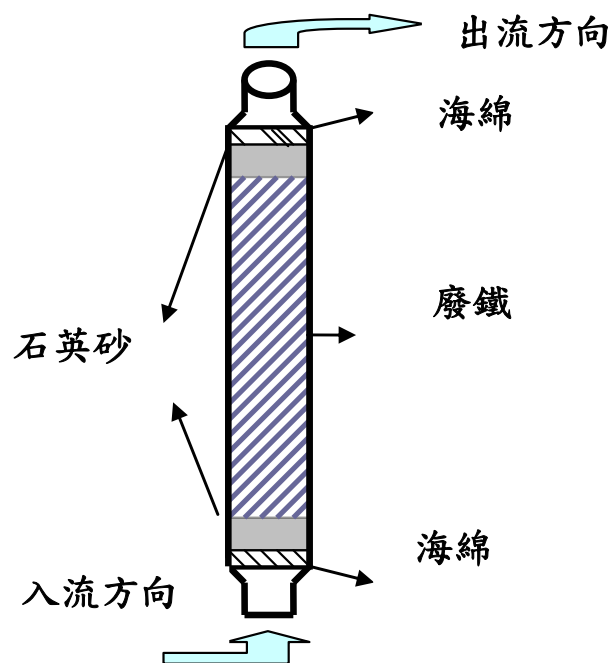


圖 2 管柱設計圖

三、結果與討論

1. 批次反應

進行批次試驗，磷酸初始濃度145.3 mg/L，水樣體積 100 ml，初始 pH 約2.7。廢鐵用量5 g。水平震盪儀轉速175 rpm。結果發現磷酸濃度隨著時間下降(圖3)，可在約 3.5 hr內將磷酸濃度降至10以下。此外，隨著時間增加， pH逐漸上升(圖3)，而水體顏色逐漸變為黃色。

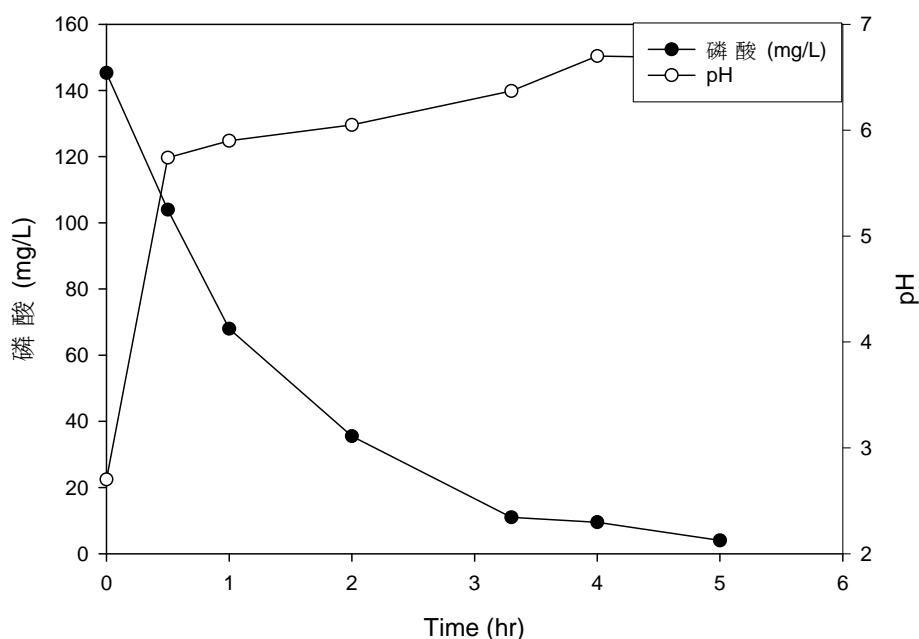


圖 3 磷酸濃度隨時間變化圖

為探討震盪速率對水質之影響，故進行一靜置的對照組，以及使用曝氣機進行曝氣的實驗組(圖4)。磷酸初始濃度145.3 mg/L，水樣體積100 ml，初始pH約2.7。廢鐵用量5 g。結果發現沒有震盪的情情下pH值沒有變化，判斷鐵腐蝕的情況不明顯。而進行曝氣的實驗組 pH上升情形與震盪組的結果相似。

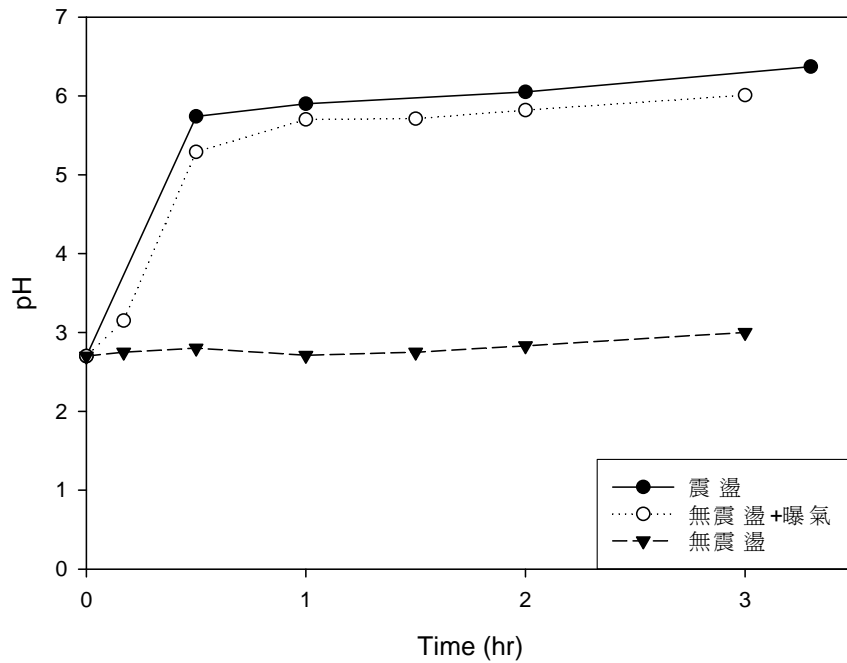


圖 4 不同條件下 pH 變化情形

如圖5，在反應經過3.3 hr後，以水平震盪儀震盪的實驗組其磷酸濃度為11 mg/L，而沒有震盪的對照組，其濃度為114 mg/L，效果不好，可見震盪能有效增加去除效果。而有經過曝氣的實驗組其濃度為37 mg/L，推測應為曝氣造成鐵的腐蝕加速，而使去除效果增強的緣故。

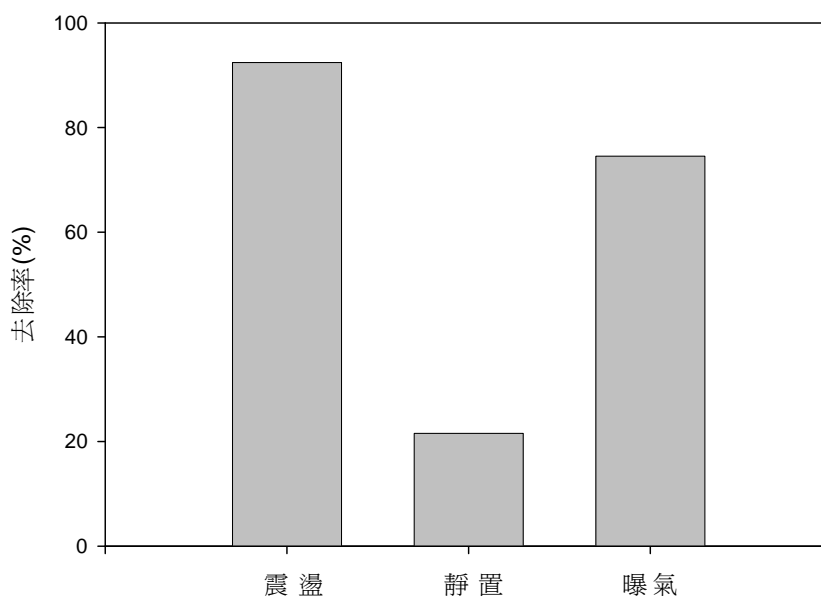


圖 5 不同條件下去除率

由於廢鐵去除污染物之能力與鐵之腐蝕有關，而鐵在鹽水中腐蝕較為強烈，因此進行一添加氯化鈉之實驗(圖6)。氯化鈉添加量為重量5%。磷酸初始濃度145.3 mg/L，水樣體積100 ml，初始pH約2.7。廢鐵用量5 g。水平震盪儀轉速175 rpm。實驗證實，以5%之氯化鈉能有效增強反應效果。但過高之氯化鈉除增加成本，也可能造成污染，因此實際應用上可降低氯化鈉之用量。此外如此高之腐蝕效果可能對污水處理設備之鋼鐵設備造成損毀，此也為值得注意的地方，使用塑膠設備取代鋼鐵是可以考慮的方案。

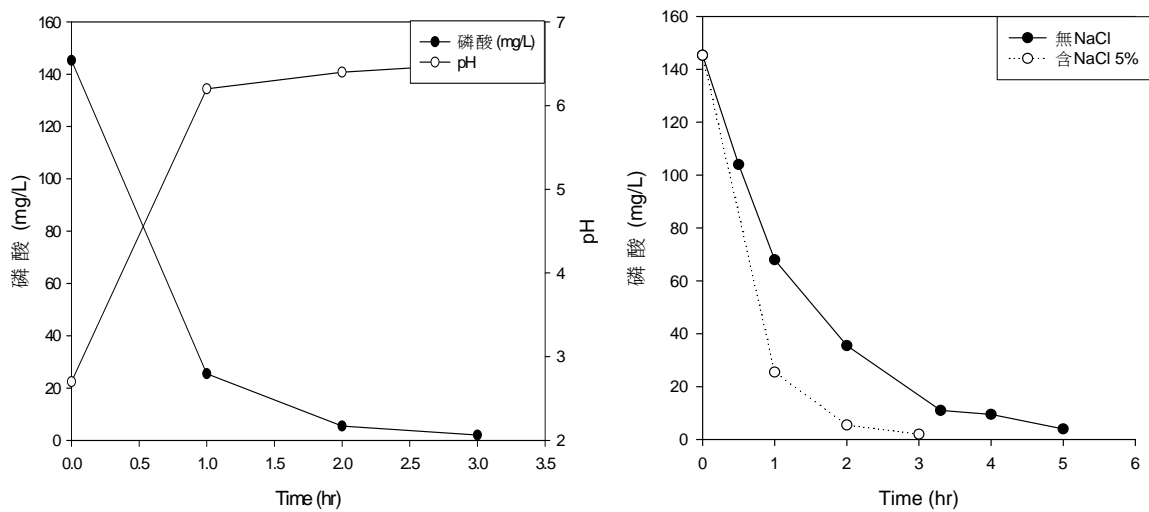


圖 6 添加氯化鈉加速腐蝕之結果

2. 管柱實驗

填充管柱所使用之材料，包括海綿、石英砂、廢鐵鐵砂等填充物。液體傳輸使用蠕動幫浦。管柱體積約168.3 cm³。將以下填充材料：(1)將海綿、(2)石英砂、(3)廢鐵鐵砂、(4)石英砂、(5)海綿等，依序填充入管柱之中，即完成管柱。之後接上管線、蠕動幫浦，流速設定 1.4 ml/min以增長停留時間。磷酸濃度為 1,000 mg/L。

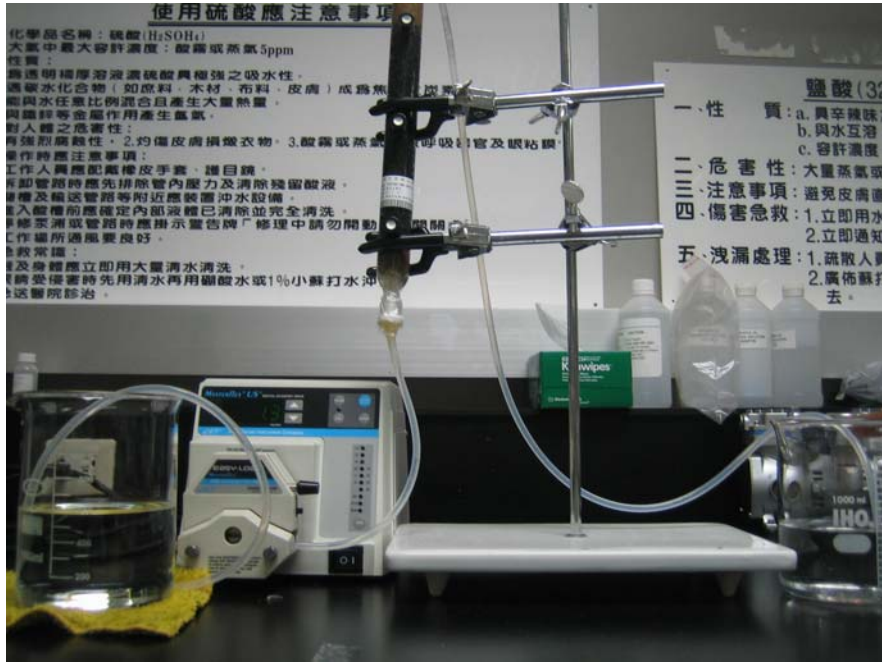


圖 7 管柱實驗運作圖

馬達運轉約一小時開始得到出流液。收集十分鐘內所得液體作為分析樣品。結果發現濃度為零，效果十分優秀，原因可能為之前測試管柱時，內部所含水分已經導致管柱中廢鐵鐵砂腐蝕、產生氫氧化鐵之故。

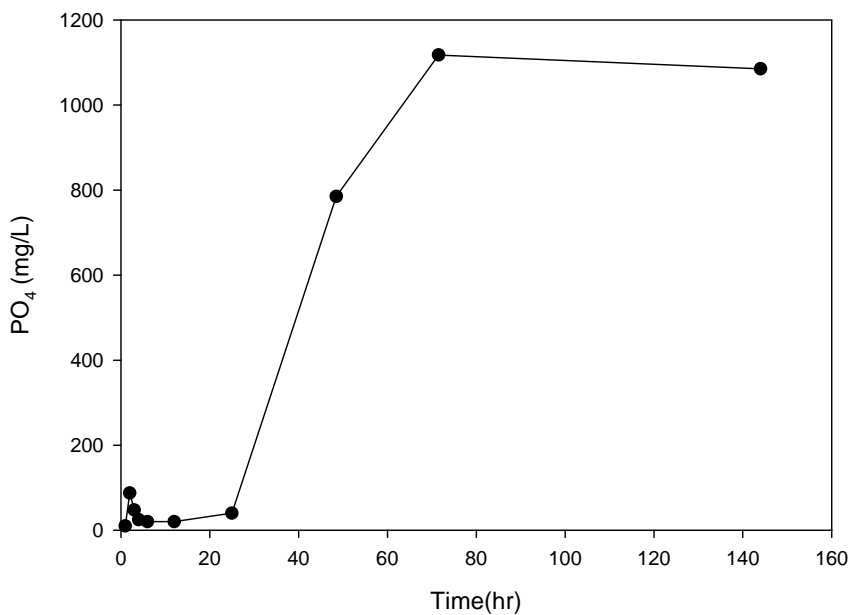


圖 8 貫穿曲線，磷酸濃度 1,000 mg/L

四、結 論

以金屬鐵於水中產生氫氧化鐵之方法，試驗後發現可以有效去除廢水中之磷酸。廢鐵用量 5 g，可於 3.5 小時將初始濃度 145.3 mg/L 之磷酸降至 10 mg/L 以下，此時亦可觀察到系統中 pH 值由 3 逐漸提升至 7 左右。比較震盪、曝氣及靜置實驗組可以發現有經震盪或曝氣等方式處理的系統磷酸去除率會較高，推測是因為上述之步驟會加速鐵金屬之腐蝕的原因。另比較含氯化鈉的實驗組，發現系統添加 5% 氯化鈉之磷酸去除率明顯高於未添加氯化鈉之實驗組，證實加速鐵的腐蝕可提高系統磷酸去除率。另外在管柱實驗方面，收集十分鐘內所得液體作為分析樣品。結果發現濃度為零，效果十分優秀，證實此實驗系統亦可運行在管柱中。

五、參考文獻

1. 環保署放流水標準。
2. Beitinger E., "Permeable Treatment Walls - Design, Construction, and Cost. in: NATO/CCMS Pilot Study: Evaluation of Demonstrated and Emerging Technologies for The Treatment of Contaminated Land and Groundwater (Phase III).", (1998).
3. Choe, S., S. H. Lee, Y. Y. Chang, K. Y. Hwang, and J. Khim, "Rapid Reductive Destruction of Hazardous Organic Compounds by Nanoscale Fe⁰.", *Chemosphere*, Vol. 42, pp. 367-372, (2001).
4. Choe, S., Y. Y. Chang, K. Y. Hwang, and J. Khim, "Kinetics of Reductive Denitrification by Nanoscale Zero-Valent Iron.", *Chemosphere*, Vol. 41, pp. 1307-1311, (2000).
5. Matheson L. J. and Tratnyek P. G., "Reductive Dehalogenation of Chlorinated Methanes by Iron Metal.", *Environ. Sci. Technol.*, 28, pp. 2045-2053, (1994).
6. 李曉嵐, "奈米鐵粉結合電動力法整治受硝酸鹽污染之地下水", 碩士學位論文, 國立中山大學環境工程研究所, (2003)。
7. 楊金鐘, 張永宜, "乳化奈米級零價鐵去除水溶液中三氯乙烯成效初步探討", 第四屆土壤與地下水研討會論文集光碟, (2006)。
8. 楊偉智, "科學園區半導體產業廢水處理方法簡介", 工安環保報導, (2004)。

提升半導體業冷卻水塔用水之水質穩定度實例介紹

林孟杰*、楊昆龍*、呂局校*、盧彭潭**、劉凱溢***、陳奎麟****

摘 要

水資源的有效利用是產業發展之重要因素，其對用水的需求隨著工業的持續發展而不斷增加，因此如何有效節省用水達成水資源使用最佳化，成為企業追求永續發展的重要目標之一。冷卻水塔(Cooling Tower)於工業應用上非常廣泛，特別於科技業量產過程中需要使用大量之冷卻用水，其一般皆以製程回收水作為主要水源。因台灣水資源豐富且用水成本較低，故冷卻水塔其供水品質易被業主所忽略；但當其供水品質未妥善管理時易使冷卻水塔產生結垢、腐蝕及熱傳導不佳等問題，增加其運轉成本。

本案例為半導體業之冷卻水塔用水於 96 年 7 月發生 pH 值異常降低，須以自來水取代製程回收水進行補水來增加水質鹼度，徒增自來水用量並降低廢水回收率。為改善異常狀況，本研究經由層別及 ANOVA(Analysis-of-Varinnce)分析現況後；以特性要因圖找出可能原因，佐以實驗計劃法(Design of Experiment, DOE)之反應曲面法-中心混成設計(Central Composite Design, CCD)，找出異常真因並求得回收水源之操作方法與參數，成功的提升 Cooling Tower 水質穩定度，重新使用製程回收水做為冷卻水塔的補充水源，達成水資源回收再利用之目的。

【關鍵字】廢水回收、冷卻水塔、鹼度、實驗計劃法、中心混成設計

*華邦電子 300mm 廠務處廢水課工程師

**華邦電子 300mm 廠務處廢水課高級工程師

***華邦電子 300mm 廠務處廢水課副理

****華邦電子 300mm 廠務處水氣化部經理

一、前言

水資源的有效利用是產業發展之重要因素，產業對於用水的需求隨著工業的持續發展而不斷增加，因此如何有效節省水資源、達到工業用水的有效利用，便成為企業降低對水資源依賴及追求永續發展之重要指標。冷卻水塔(Cooling Tower)於工業應用上非常廣泛，尤其是科技業，其冷卻用水之用水比例甚高，不僅需要好好管理而且存有回收再利用的空間。雖然如此，因為台灣水價是相對便宜的，因此常常被業者所忽視，一旦管理不當易可能導致冷卻系統熱傳效率不佳、浪費能源及加藥費用遽增或者銹蝕穿孔污染產品等困擾。本廠冷卻水塔(Cooling Tower)循環水於 96 年 7 月開始出現 pH 異常偏低情形(如圖 1 所示)，致使冷卻水系統傾向腐蝕。為處理異常情況，當冷卻循環水 pH 低於設定值時，進行添加片鹼提昇循環水之 pH，以符合水質需求，且須將原本以製程回收水補充水改用以自來水補水，不僅增加了片鹼及自來水的費用，亦大幅減少了廢水回收量。

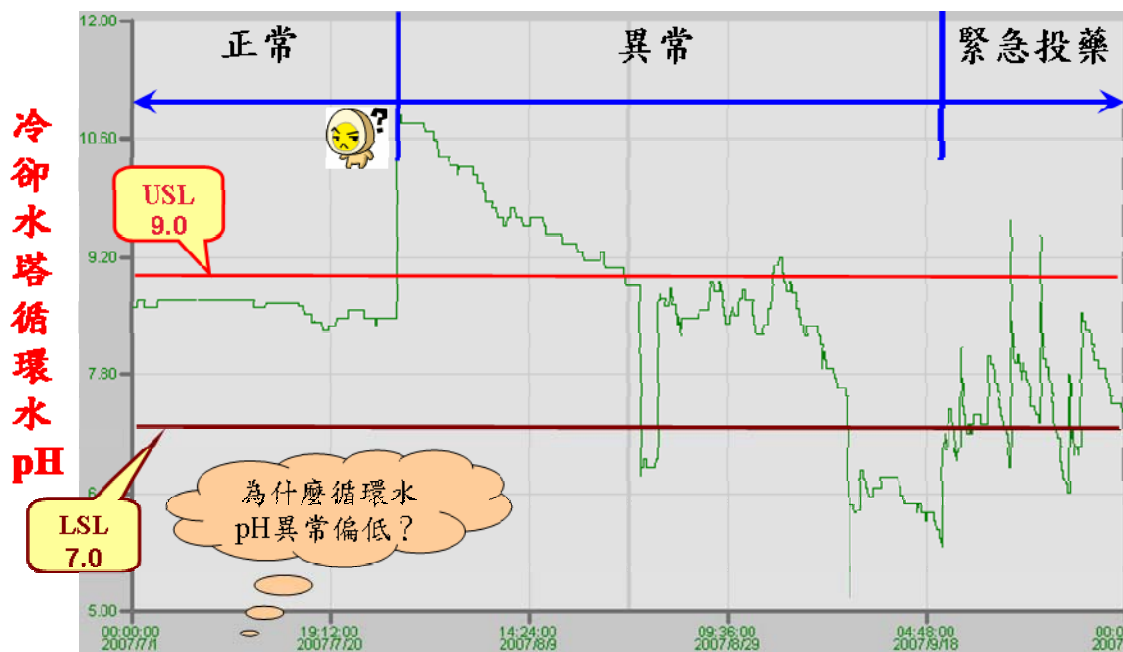


圖 1 96 年 7~9 月冷卻水塔(Cooling Tower)循環水 pH 異常情形

二、冷卻循環水系統現況簡介

1. 冷卻循環水系統介紹

冷卻水塔補充水源有三種，分別為製程廢水回收水、自來水、純水之

廢水回收水，各水質之規格如下表所示(表1)。

表 1 補充水水源水質規格

水源	pH	導電度($\mu\text{s}/\text{cm}$)
製程廢水回收水	6.3 ~ 8.7	< 380
自來水	7 ~ 7.5	< 400
純水之廢水回收水	6 ~ 7	< 330

冷卻循環水系統如圖2所示，冷卻水塔由回收水儲存槽供應給冷卻水塔(Cooling Tower)使用；冷卻水塔的出口水為循環冷水，經管路輸送至冰水機熱交換器，熱交換器將冰水機所產生的熱，藉由循環冷水降將熱帶出變成為循環溫水，當循環溫水再進入冷卻水塔散熱，重覆濃縮使用。

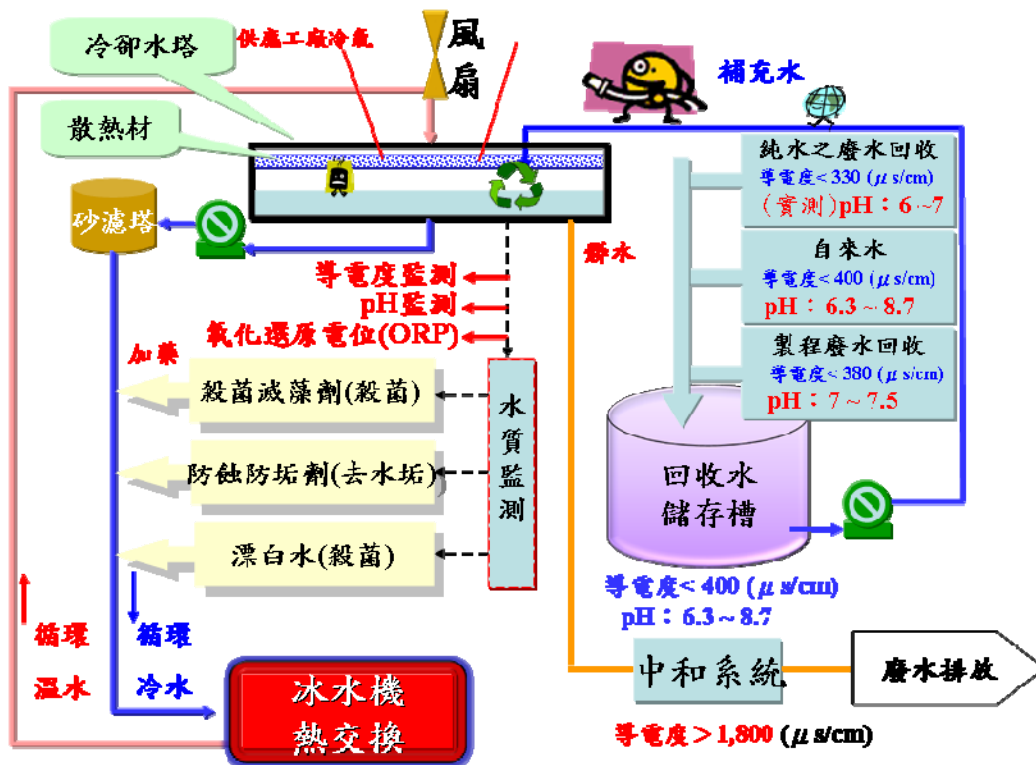


圖 2 冷卻循環水系統圖

整個冷卻循環水系統中，對於水質的On-line監測有導電度(Electrical conductivity, EC)、pH及氧化還原電位(Oxidation Reduction Potential, ORP)，當循環水之導電度大於 $1,800\mu\text{s}/\text{cm}$ 時，即將循環水進行排放換水。當氧化還原電位(ORP)低於 170mV 時即進行添加漂白水殺菌；殺菌滅藻劑

及防蝕防垢劑均是依水質狀況定量添加。

2. 冷卻循環水系統之診斷指標介紹

判斷冷卻水塔的腐蝕情況除藉由監測pH外，還會每週定期採水樣做細項水質分析，透過計算循環水水質腐蝕或結垢之診斷指標藍氏飽和指數(Langelier Saturation Index, 簡稱LSI)，及Ryznar (1944) 發表萊氏穩定指數(Ryznar Stability Index, 簡稱RSI)，來判定水中之CaCO₃(碳酸鈣)達過飽和程度時，將有固體CaCO₃沉澱結垢傾向；反之，則有溶解碳酸鈣和腐蝕的傾向，用以判斷水質是否有易於形成水垢(Scaling)或腐蝕(Corrosive)的傾向，LSI及RSI計算結果說明如下表2所示。

表 2 LSI 及 RSI 指標區間意義表

藍氏飽和指數 (LSI)	意義說明	萊氏穩定指數 (RSI)	意義說明
> 0	傾向結垢	< 7	傾向結垢
= 0	傾向平衡	= 7	傾向平衡
< 0	傾向腐蝕	> 7	傾向腐蝕

如圖3所示為銅製冷凝管內壁之碳酸鈣沉積情形，亦即LSI > 0及RSI < 7；鐵製螺絲接縫中遭受腐蝕情形，亦即LSI < 0及RSI > 7。



圖 3 銅製冷凝管內壁之碳酸鈣沉積及銅鐵製螺絲接縫中遭受腐蝕情形

LSI及RSI之計算方式如下：

$$LSI = pH - pH_s ; RSI = 2(pH_s) - pH$$

各參數代表意義：pH：冷卻水pH值；pH_s：水中碳酸鈣飽和時的pH值：

$$* pH_s = (9.3 + A + B) - (C + D)$$

$$A = (\text{Log}_{10} [\text{TDS總溶解固體物}] - 1) / 10$$

$$B = -13.12 \times \text{Log}_{10} (\text{水溫 } ^\circ\text{C} + 273) + 34.55$$

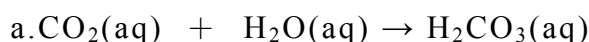
$$C = \text{Log}_{10} [\text{鈣硬度}(\text{mg/L})] - 0.4$$

$$D = \text{Log}_{10} [\text{M-鹼度 M-alkalinity}(\text{mg/L})]$$

TDS經驗式以0.6×導電度計算

就目前廠商建議之操作參數LSI：0 ~ 2.7而RSI < 7，傾向結垢讓銅管包覆一層薄膜，因此因子A TDS(總溶解固體物, Total dissolved solids)望小，因TDS經驗式以0.6×導電度計算，所以導電度望小；因子B 水溫要望大，但當溫度越大時將會影響冰水機的效率，所以無法提昇，不予以討論；因子C 為鈣硬度要望大；因子D 為M-鹼度要望大。

鹼度意義：其為水之鹼度與酸中和至某pH值的能力，可作為水中碳酸氫鹽、碳酸鹽、氫氧化物濃度的指標。其原理為水溶液經曝氣後會將空氣中的CO₂溶於水中，而水溶液態的CO₂會與H₂O形成H₂CO₃(如a式)，但水溶液中的H₂CO₃會傾向再解離，造成水溶液中H⁺濃度增加，使得pH降低(如b式)，而HCO₃⁻亦會解離成CO₃²⁻再增加H⁺濃度(如c式)，故水只要接觸大氣中的CO₂，原則上會傾向偏酸。適當鹼度，可避免水中H⁺濃度大量增加，維持pH穩定。



3.現況層別分析

依據冷卻循環水之水質指標，推斷出可能影響層別，層別分析摘要表如表3所示。

表 3 層別分析摘要表

層別分析摘要表			
層別	現況		現況摘要
	已明	未明	(原明者直接寫下，未明者待分析後逐一寫下)
補充水別		√	比較異常前後補充水 pH 是否有差異
機台別		√	比較每一台冷卻水塔的間的 pH 差異
水質別		√	比較定期採樣各指標數據是否有差異
藥品別		√	比較加藥量是否有差異
原水別		√	比較三水源對 LSI 及 RSI 重要因子的影響
水量別		√	比較三水源比例是否有差異
時間別		√	比較是否有特定時間發生異常

4. 現況結論

經由ANOVA(變異數分析, Analysis-of-Varinnce)找出層別表中之現況不明之處, 將可釐清異常時各層別影響因素是否顯著, 其中有顯著差異且與循環水pH相關性高, 如表4所示, 共找出三個改善方向如下。(1)避免冷卻水塔循環水pH異常降低以防止循環管路腐蝕; (2)水質別中M-鹼度對pH影響最大, 需提昇鹼度避免pH異常降低。將針對水質之M-鹼度提升進行要因分析; (3)水量別中冷卻水來源因製程廢水回收水量增加、自來水水量減少, 造成鹼度降低。

表 4 層別現況分析總表

層別現況分析總表				
層別	現況			現況結論
	已明	ANOVA分析結果 (p-value> 0.05表顯著差異)	與循環水pH相關性分析	原明者直接寫下, 未明者待分析後逐一寫下
補充水別	✓	(1)冷卻水塔循環水pH異常前後補充水之pH p-value=0.452 > 0.05	NA	異常前後補充水pH無顯著差異
機台別	✓	(1)每組冷卻水塔之pH p-value=0.723 > 0.05	NA	異常前後各冷卻水塔pH無顯著差異
水質別	✓	(1)異常當時循環水鈣硬度 p-value=0.002 < 0.05 (2)異常當時循環水M-鹼度 p-value=0.000 < 0.05 (3)異常當時循環水導電度 p-value=0.000 < 0.05	(1)相關係數=0.48, 呈弱相關 (2)相關係數=0.82, 呈高度正相關 (3)相關係數=0.092, 呈完全不相關	(1)異常前後循環水鈣硬度有顯著差異 →循環水之鈣硬度影響循環水pH變化程度低 (2)異常前後循環水M-鹼度有顯著差異 →循環水之M-鹼度影響循環水pH變化程度高 (對pH影響最大, 需提昇鹼度避免pH異常降低) (3)異常前後循環水導電度有顯著差異 →循環水之導電度影響循環水pH變化程度低
藥品別	✓	(1)異常當時循環水鈣硬度 p-value=0.378 > 0.05 (2)異常當時循環水M-鹼度 p-value=0.009 < 0.05 (3)異常當時循環水導電度 p-value=0.304 > 0.05	NA	(1)異常前後殺菌滅藻劑用量無顯著差異 (2)異常前後防蝕防垢劑用量有顯著差異 →原因為採取緊急應變措施加片鹼所致 (3)異常前後漂白水用量無顯著差異
原水別	✓	NA	NA	純水再生廢水鹼度低(0 ppm CaCO ₃)
水量別	✓	NA	NA	製程廢水回收水量增加、自來水水量減少, 造成鹼度降低
時間別	✓	NA	相關係數= -0.75, 呈完全負相關	當純水系統再生時補充水pH瞬間會略微降低

三、處理改善介紹

1.改善目標之設定

冷卻水塔(Cooling Tower)水質中pH為最重要的指標，因此目標設定冷卻水塔循環水pH值由改善前平均6.5提升至異常發生前7.5，以改善水質pH異常偏低，易造成冷卻水管腐蝕的現象。同時藉由水質的調整改善後以維持回收水的供應量，而不利用自來水增加鹼度；將自來水補水量在提昇製程廢水回收率後維持在0噸(如下圖4所示)。

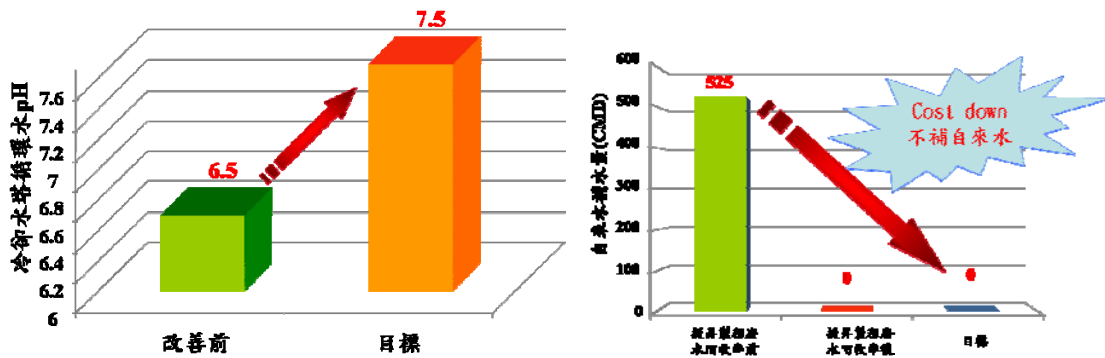


圖 4 冷卻水塔循環水 pH 及自來水補水量目標設定

2.原因分析

針對如何提昇冷卻水塔循環水鹼度問題，經由現況結論的改善方向，如何提昇冷卻水塔循環水鹼度以特性要因圖(Cause & Effect Diagram)展開共有兩項可能的原因，分別為：補充自來水及增加製程回收水鹼度，但在法規及公司MBO的限制下，以不增加自來水使用量為最高原則，因此排除補充自來水的要因。故將以“增加製程廢水回收水鹼度”進行改善(如圖5所示)；為瞭解提昇製程廢水回收水之鹼度，將針對現況進一步討論。

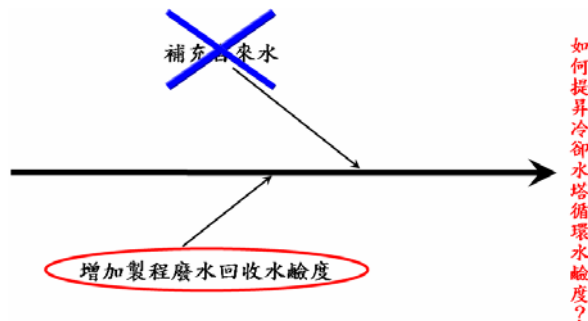


圖 5 提昇冷卻水塔循環水鹼度特性要因圖

3.現況深入討論

(1)廢水回收系統介紹

欲增加製程回收水鹼度就必需了解製程廢水回收系統處理流程，本廠回收系統分為二大系統，分別為軟水回收系統及製程廢水回收系統(如圖6所示)。軟水回收系統水源為機台洗滌塔設備廢水及空調設備冷凝水。製程廢水回收系統來源有低濃度酸性廢水、低濃度鹼性廢水、化學研磨廢水處理系統放流水及酸、鹼排氣管路洗滌塔廢水。

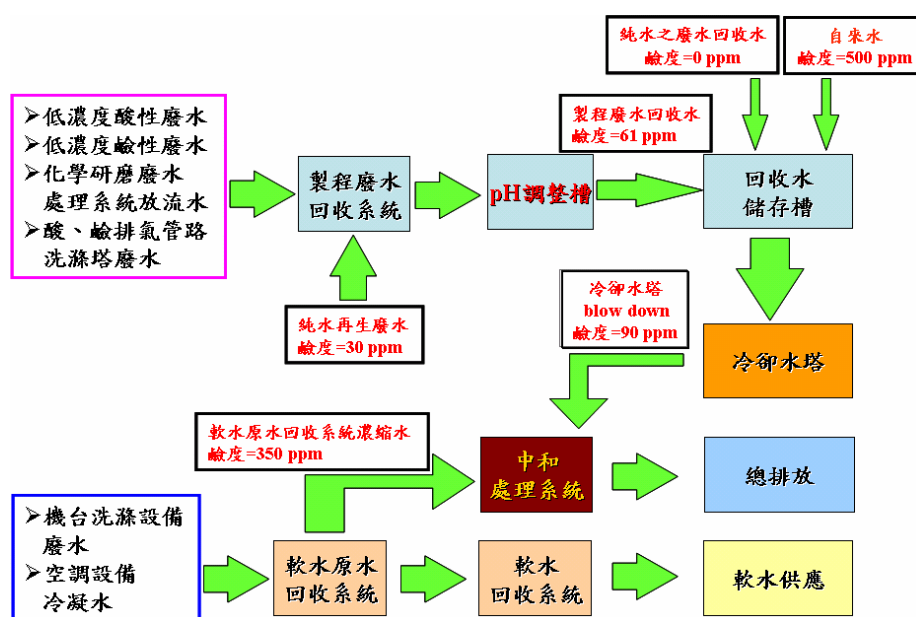


圖 6 廢水回收系統圖

(2)分析及尋找高鹼度且可回收水源

經由本團隊組員，藉著操作經驗及多次的討論，找尋出了其他系統中尚未回收且可能對製程廢水回收水鹼度有貢獻的水源，包括：冷卻水塔blow down廢水、純水再生廢水及軟水原水回收系統濃縮水，平均鹼度分別為90 ppm CaCO₃、300 ppm CaCO₃及350 ppm CaCO₃。另外根據前述鹼度意義，適當的增加製程廢水回收水OH⁻濃度，即提升製程廢水回收水pH值，可有效的增加鹼度。

4.原因再探討

針對如何增加製程廢水回收水鹼度問題，於廢水回收系統圖進行檢視，我們發揮創意從垃圾裡找黃金，將原本排放掉但含有鹼度的濃縮廢水回收再利用，可行的方式如下：

(1)物料：回收冷卻水塔 blow down、回收純水再生廢水及回收軟水原水回收系統濃縮水(原本直接排放廢水)。

(2)方法：提升製程廢水回收水 pH 值(如圖 7)，是否可行將以 DOE 實驗進行驗證。

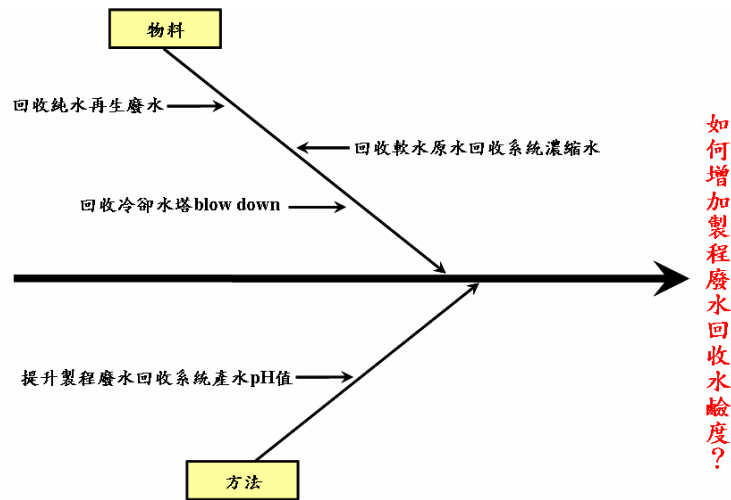


圖 7 增加製程廢水回收水鹼度特性要因圖

5. 案例原因驗證

(1)DOE 實驗因子篩選表

由依據前述要因再分析之特性要因圖，以實驗因子篩選表方式篩選出重要因子(如表 5 所示)，其中冷卻水塔 blow down 直接回收，故不列入 DOE 中。

表 5 各實驗因子分析表

層別	項次	要因	控制力 (母數)*1	技術力 (強)*2	因子代號
方法	1	製程廢水回收 pH	Y	+	A
物料	2	軟水原水回收系統濃縮水回收量	Y	+	B
	3	純水再生廢水近回收系統	Y	+	C
	4	冷卻水塔 blow down	Y	-	
*1.屬於母數之小要因為"Y"其餘為"X"					
*2.技術力篩選符號:+(強)V(中)-(弱)					

(2)DOE 反應變數篩選表

由實驗因子篩選表的結果進行製程因子分析。反應變數為「冷卻水塔循環水 pH」，達成之目標值為 7.5，進而提升回收水質的鹼度，達成冷卻水塔(Cooling Tower)冷卻水質的穩定性，如表 6 反應變數篩選表所示。製程因子分別為『軟水原水回收系統濃縮水回收量、製程廢水回收

水pH及純水再生廢水進回收系統』，且對各因子皆設定二水準進行實驗分析，如表7實驗因子水準設定表所示。

表 6 反應變數篩選表

序號	反應變數名稱	代號	反應變數特性	是否為計量值	是否可精確衡量	是否與製程因子有關係	是否為物理特性	是否為核心之機品質	達成之目標值
1	冷卻水塔循環水pH	pH	望目	v	v	v	v	v	7.5

表 7 實驗因子水準設定表

序號	製程因子	代號	水準	
			一	二
1	軟水原水回收系統濃縮水回收量	A	8	16
2	製程廢水回收水pH	B	7.5	8.5
3	純水再生廢水近回收系統	C	無	有

以三個因子、二個水準進行 2^3 實驗設計配置8組run orders，實驗結果如表8 實驗設計配置直交表所示。

表 8 實驗設計配置直交表

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	製程廢水回收水pH	軟水原水回收系統濃縮水回收量(CMH)	純水再生廢水進回收系統	冷卻水塔循環水pH
5	1	1	1	7.5	8	有	6
8	2	1	1	8.5	16	有	7.3
3	3	1	1	7.5	16	無	6.7
7	4	1	1	7.5	16	有	6.5
6	5	1	1	8.5	8	有	7.1
4	6	1	1	8.5	16	無	7.9
1	7	1	1	7.5	8	無	6.5
2	8	1	1	8.5	8	無	7.6

進一步分析實驗結果數據，由柏拉圖顯示出『軟水原水回收系統濃縮水回收量、製程廢水回收水pH及純水再生廢水進回收系統』皆為主要影響因子，其中影響的程度依序為『製程廢水回收水pH>純水再生廢水進回收系統>軟水原水回收系統濃縮水回收量』；三因子影響顯著，其為真正原因(如圖8所示)。

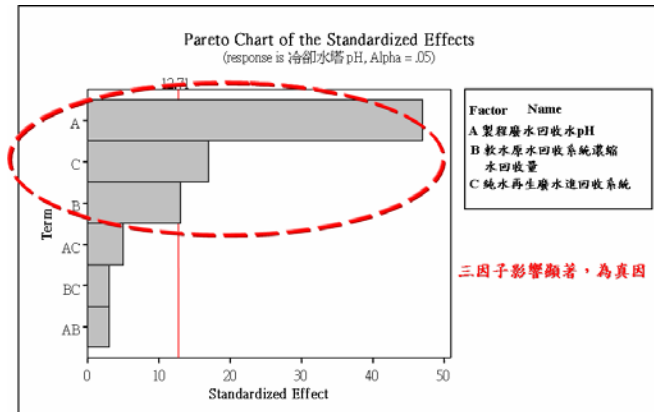


圖 8 DOE-柏拉圖

由因子效應常態機率圖(如圖9所示)突顯出其因子影響重要性依序為「製程廢水回收水pH > 純水再生廢水進回收系統 > 軟水原水回收系統濃縮水回收量」。

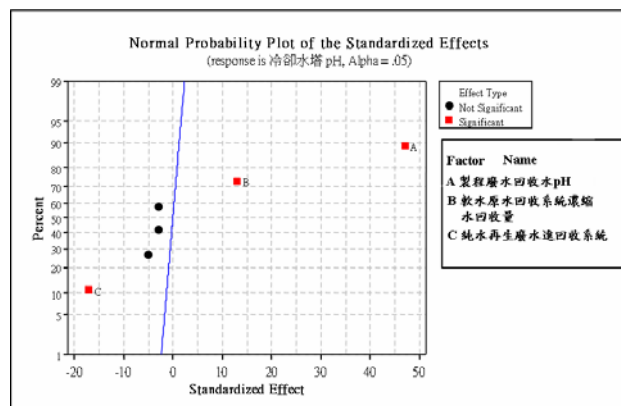


圖 9 DOE-因子效應常態機率圖

6. 建立案例改善模式

由真因驗證中的主效果圖(如圖10所示)結果得知，主要影響冷卻水塔循環水pH(目標值pH=7.5)結果的因子期望值為：軟水原水回收系統濃縮水回收量望大(16 CMH)、製程廢水回收水pH 望大(pH=8.5)、純水再生廢水進回收系統望小。

綜合上述，為維持冷卻水塔循環水pH穩定，純水再生廢水不進回收系統。但①製程廢水回收水pH、②軟水原水回收系統濃縮水回收量，為求最佳化的操作條件，仍需進行第二階段DOE，採反應曲面法之中心混成設計(CCD; Central Composite Design)搜尋最佳化，反應變數為『冷卻水塔循環水 pH』，達成之目標值為7.5，進而提升回收水質的鹼度，達冷卻水塔(Cooling Tower)冷卻水質的穩定性，如表9反應變數篩選表所示。製程因

子分別為「軟水原水回收系統濃縮水回收量、製程廢水回收水pH及」，且對各因子皆設定二水準進行實驗分析，如表10實驗因子水準設定表所示。

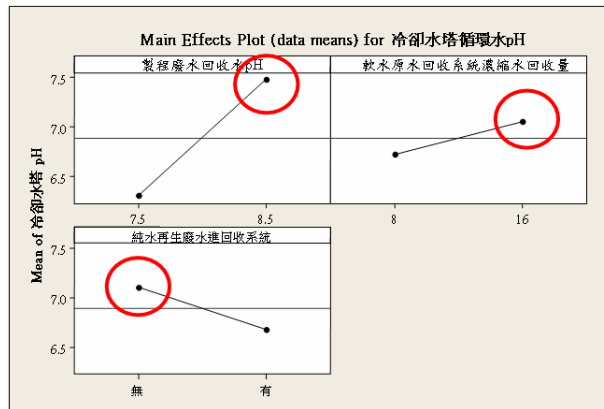


圖 10 DOE-主效果圖

以二個因子、二個水準進行反應曲面法之中心混成設計，配置13組run orders，實驗結果如表11實驗設計配置直交表所示。

表 9 反應變數篩選表

序號	反應變數名稱	代號	反應變數特性	是否為計量值	是否精確衡量	是否與製程因子有關係	是否為物理特性	是否為核心之機能品質	達成之目標值
1	冷卻水塔循環水 pH	pH	望目	v	v	v	v	v	7.5

表 10 實驗因子水準設定表

序號	製程因子	代號	水準	
			一	二
1	軟水原水回收系統濃縮水回收量	A	8	16
2	製程廢水回收水 pH	B	7.5	8.5

表 11 實驗設計配置直交表

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	製程廢水回收水pH	軟水原水回收系統濃縮水回收量(CMH)	冷卻水塔循環水pH
9	1	0	1	8	12	7.5
3	2	1	1	7.5	16	6.3
11	3	0	1	8	12	7.6
1	4	1	1	7.5	8	6.2
10	5	0	1	8	12	7.4
7	6	-1	1	8	6.3431	6.8
4	7	1	1	8.5	16	7.9
5	8	-1	1	7.29289	12	6
12	9	0	1	8	12	7.3
6	10	-1	1	8.70711	12	7.8
2	11	1	1	8.5	8	7.3
13	12	0	1	8	12	7.5
8	13	-1	1	8	17.6569	7.5

由適缺度檢定(如圖 11所示) $p\text{-value}=0.531 > 0.05$ 不顯著，其適配二次曲面模式。再決定最佳因子基準值：依真因再驗證的結果以DOE反應曲面法之中心混成設計(CCD；Central Composite Design)搜尋最佳化的操作條件，並填入Response品質特性規格(望目、LSL=7、USL=8.5)及目標值(Target=7.5)等參數，以minitab求解Response Optimazer。結果如圖 12所示，最佳化的操作條件為製程廢水回收水pH=7.9及軟水原水回收系統濃縮水回收量14CMH。由實驗結果亦可得到等高線圖(如圖 13)及反應曲面圖(如圖 14)所示，可作為日後調整控制參數參。

Analysis of Variance for 冷卻水塔循環水pH						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	4.64528	4.64528	0.92906	76.07	0.000
Linear	2	3.79651	3.79651	1.89826	155.43	0.000
Square	2	0.78627	0.78627	0.39313	32.19	0.000
Interaction	1	0.06250	0.06250	0.06250	5.12	0.058
Residual Error	7	0.08549	0.08549	0.01221		
Lack-of-Fit	3	0.03349	0.03349	0.01116	0.86	0.531
Pure Error	4	0.05200	0.05200	0.01300		
Total	12	4.73077				

圖 11 二次曲面模式適缺度檢定

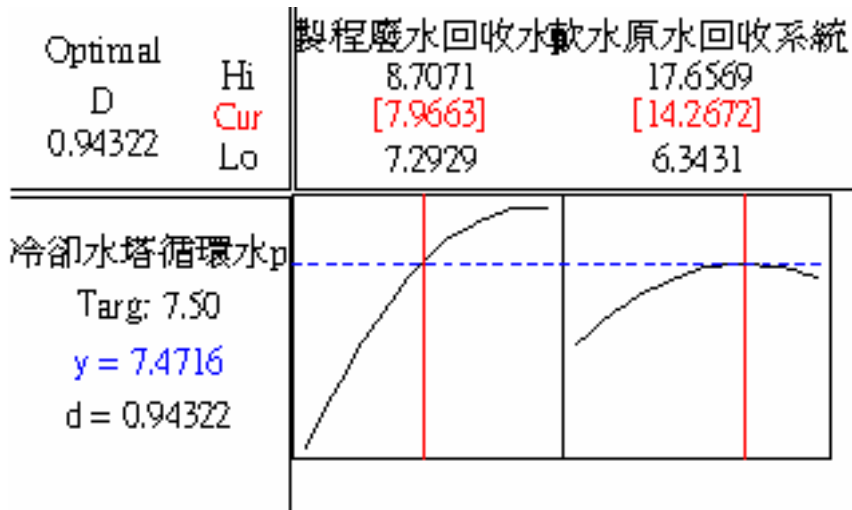


圖 12 實驗次序殘差散佈圖及 CCD 最佳化結果圖

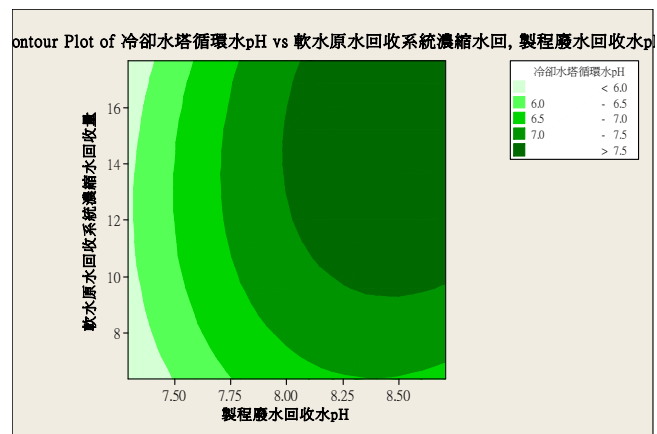


圖 13 CCD 等高線圖

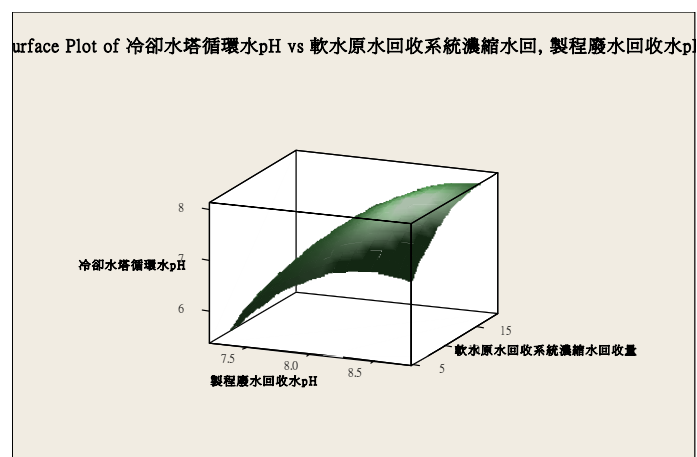


圖 14 CCD 反應曲面圖

依據反應曲面法之中心混成設計分析結果最佳化操作參數如下，以冷卻水塔循環水pH值作為改善效果確認方式。操作參數，如下表12所示：

表 12 操作參數表

項目	改善前	改善後
軟水原水回收系統濃縮水進流量(CMH)	0	14.2
純水再生廢水	回收	不回收
製程廢水回收系統產水 pH	7.5	7.9
冷卻水塔 blow down	不回收	直接回收至製程廢水回收系統原水

7.改善效果確認及維持狀況

(1)冷卻水塔循環水 pH 變化情形

改善期間所蒐集之冷卻循環水pH值的相關資料，如圖15所示。圖中可看出當初冷卻循環水pH值於96年7月開始逐漸異常偏低，改善期間因冷卻循環水pH<6，於是採取緊急應變措施加入片鹼提升pH值，造成pH忽高忽低不穩定，經由改善後冷卻水塔循環水pH值趨於穩定度且提升至符合使用者水質規範需求，效果維持再現性良好。

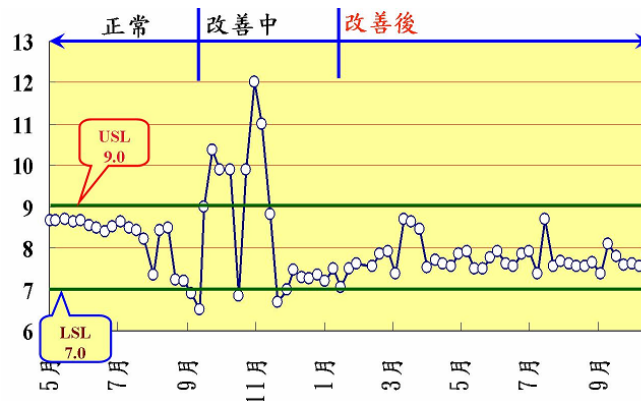


圖 15 改善前後冷卻水塔循環水 pH 變化圖

(2)達到冷卻水塔循環水 pH 值目標

冷卻水塔循環水pH值由平均6.5提升到超過目標值(7.5)到改善後的平均7.77，達成當初設定的目標，如圖16所示。

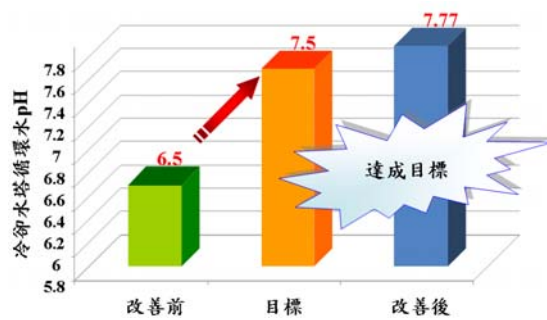


圖 16 改善前後冷卻水塔循環水平均 pH 值比較圖

(3) 達到冷卻水塔不補自來水目標

本案例另一個目標是減少自來水使用量。由圖17可看出，改善前回收水儲存槽補水量525CMD，改善後自來水補水量是0 CMD，達成當初設定的目標，也達到Cost Down 的雙贏效果。

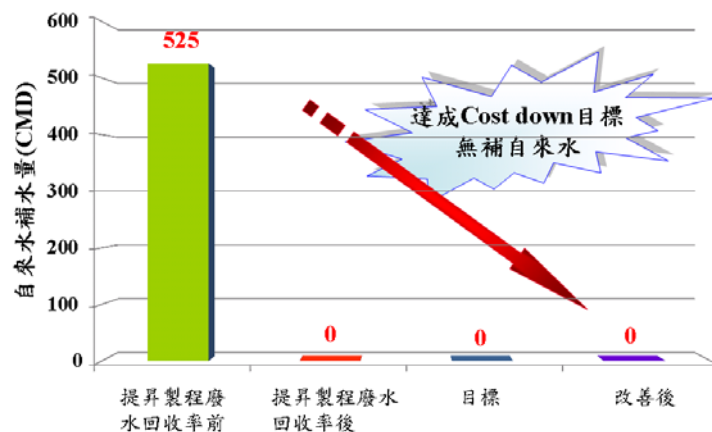


圖 17 改善前後回收水儲存槽自來水補水量比較圖

四、結論與建議

本案例回收水異常時原以自來水取代製程回收水進行補水來增加水質鹼度，增加了自來水用量並降低廢水回收率，在現況分析過程及尋找最佳操作模式過程可說是煞費苦心，最後將軟水原水回收系統濃縮水進流量提升至14.2CMH、開始回收純水再生廢水、製程廢水回收系統產水 pH 由 7.5 調高至 7.9 及冷卻水塔 blow down 開始回收等方法進行改善，經由統計手法找出異常真因並求得回收水源之操作方法與參數(如表 12 所示)。

改善後雖成功的提升 Cooling Tower 水質穩定度，但未來仍有下列三點須持續改善：(1)軟水原水回收系統濃縮水回收量會因季節改變而減少，冬天時較不易控制；(2)純水之廢水回收水 pH 及鹼度偏低，因現行回收會影響回收水儲存槽水質，故暫不予回收，但基於水資源再利用原則，未來預計修改為可調整進回收水儲存槽流量，以維持回收水儲存槽水質；(3)冬天冷卻水塔回收水用量小，所以製程廢水回收量相對減少，影響冷卻水塔循環水 pH 及鹼度都下降。

前述的分析及操作參數，期能提供業界相關冷卻水塔系統的改善及異常處理。地球只有一個，環保問題人人有責，需要每個人共同來維護珍貴之水資源，讓我們一起努力留一個乾淨的生活空間給後代子孫。

五、參考文獻

1. 蔡騰龍，工業水處理，正文書局，2001。
2. 駱尚廉，楊萬發，自來水工程，茂昌圖書有限公司，2000。
3. 顏登通，高科技廠務，全華圖書股份有限公司，2006。
4. 唐麗瑛，實驗設計(DOE)講義，交通大學工業工程與管理學系/唐麗瑛 教授編寫，2008。
5. 王春和，工業實驗設計講義，中正理工學院/王春合 教授編寫，2008。
6. 彭定國、吳鴻錚、鄭大興，MINITAB 統計分析與應用，新文京開發出版(股)公司，2006。

議程二

- 1.降低半導體業處理氫氟酸廢水氯化鈣使用量實例介紹
黃俊評、盧彭潭、蔡漢育、林政紀、劉凱溢、陳奎麟
- 2.國內某加工出口區放流水再處理及回收再利用之可行性探討
楊金鐘、賴志敏
- 3.油墨廢水淤泥循環再生技術與應用成功案例
許家源

降低半導體業處理氫氟酸廢水氯化鈣使用量實例介紹

黃俊評*、盧彭潭**、蔡漢育**、林政紀***、劉凱溢****、陳奎麟*****

摘 要

在半導體製程中，薄膜製程及施蝕刻製程產生的氫氟酸廢水佔廠區廢水量的大宗(三分之一到二分之一)，其處理所需氯化鈣佔廢水廠化學品成本一半以上。傳統以化學混凝加入氯化鈣反應，形成氟化鈣污泥沉澱，來處理氫氟酸廢水；易產生大量污泥且處理後放流水倒電度極高不利回收等缺點。因應傳統化學混凝缺失，目前業界已有：1.前段氫氟酸廢水依濃度分類進行處理回收；2.改善系統操作參數；3.使用新技術如流體化床等處理方式，來降低污泥量及氫氟酸廢水處理成本。

本案例為不考慮原水分流及使用新技術為原則，以現有處理設備僅剔除氯化鈣供應品質不佳的廠商及改變操作參數，達成系統改善及降低處理成本的目標。本研究主要採品管 8D 系統分析方法；經現況分析及 ANOVA(Analysis-of-Variance)統計反應及處理參數後，找出有顯著差異的氯化鈣供應商，排除氯化鈣供應品質問題；再以特性要因圖找出處理效率不佳之可能要因，及實驗計劃法(Design of Experiment, DOE)中之部分實驗法，求得較以往操作條件更佳的操作參數，成功的降低氯化鈣使用量及相關化學品費用；同時也降低污泥量，進而節省污泥處理成本。

【關鍵字】氫氟酸廢水、氯化鈣、ANOVA、實驗計劃法、部分實驗法

*華邦電子中科廠廠務廢水課 工程師

**華邦電子中科廠廠務廢水課 高級工程師

***華邦電子中科廠廠務廢水課 技術副理

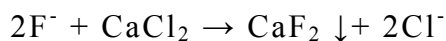
****華邦電子中科廠廠務廢水課 副理

*****華邦電子中科廠廠務水氣化部 經理

一、前言

半導體製程含氟廢水來源，主要為晶圓清洗及濕蝕刻時使用氫氟酸後所產生的廢水。晶圓清洗用來去除不要的雜質，濕蝕刻利用酸槽溶液與晶圓表面薄膜經反應所產生的氣態或是液態的生成物來執行未被光阻覆蓋薄膜分子的移除^[1]。氫氟酸屬無機酸，其氫鍵結合力強力不易解離，低濃度接觸人體時無立即損傷，但時間一久氟離子會侵入組織深部造成危害。自然界中存在氟離子，對環境及人體的影響各有利弊，如飲用水中含適量氟可防蛀牙，但長期過量時會產生黃斑牙並損害骨骼，更會對發育中的兒童造成生長遲緩。河川中高濃度的氟化物時則對水中的生物具有毒性^[2]。

科學工業園區管理局放流水標準氟離子濃度不得大於15 mg/L，地面水及一般河川表面水體調查實際氟離子濃度約0.01~0.3mg/L間^[2]。國內台灣省自來水標準氟離子濃度不得超過0.8mg/L。目前本廠含氟廢水之原水氟離子濃度約為300mg/L~500mg/L之間，在處理上使用傳統的鈣鹽(CaCl₂)將氟化物變成非溶解性之CaF₂沉澱，就理論而言，沉澱仍使氟化物減至CaF₂系統中之溶度極限。之後再添加PAC混凝及Polymer膠凝後形成膠羽沉澱。其反應式如下：



然而，廢水中含有大量的其他陰離子如硫酸根離子，磷酸根離子，硝酸根離子存在，實務操作上氯化鈣的加藥量常遠大於理論加藥量。為使放流水氟離子符合園區納管標準15mg/L以下，在過量加藥的條件下，有增加化學品用量(氯化鈣佔廢水化學藥品費用50%以上居高不下)，且產生大量污泥的缺點。針對傳統鈣鹽加藥法的缺點，目前業界有1.前段氫氟酸廢水依濃度分類進行處理回收^[3]；2.改善系統操作參數^[4,5]；3.使用新技術如流體化床結晶法^[6]等技術，來降低污泥量及氫氟酸廢水處理成本。在本廠，提昇氯化鈣使用效率為本研究的重點。本研究採品管8D系統分析方法；經現況分析及ANOVA(Analysis-of-Variance)統計反應及處理參數後，找出有顯著差異的氯化鈣供應商，排除氯化鈣供應品質問題；再以特性要因圖找出處理效率不佳之可能要因，及實驗計劃法(Design of Experiment, DOE)中之部分實驗法，求得較以往操作條件更佳的操作參數，成功的降低氯化鈣使用量及相關化學品費用；同時也降低污泥量，進而節省污泥處理成本。

『節能，減廢，減少關鍵性化學品使用』是本廠環安衛政策。經本研究之改善後，大幅降低使用量高達20%，成功達到環保與經濟雙贏的目標。

二、廢水處理廠處理現況

1. 本廠氫氟酸廢水來源

氫氟酸水源主要可分為淋洗廢水、製程廢水兩類(如圖 1 所示)。淋洗廢水可再分為 Local Scrubber 和 Central Scrubber 兩種廢水; Local Scrubber 為淋洗含氟氣體溶於水中而致使其水中含有氟的成分而併入含氟廢水處理系統; 另一淋洗廢水 Central Scrubber 的水源使用本廠回收水, 此回收水中已經含有很複雜的化學物質如淋洗機台之含氟廢氣及酸性廢氣, 以及其他化學物質, 使廢水成份複雜且氟離子濃度低不易處理。在半導體製程中濕蝕刻階段利用氫氟酸(HF)將進行矽的蝕刻及二氧化矽的蝕刻, 而純水清洗過程中所排放的廢水含有高濃度的 HF/HNO₃ 及含 NH₄F 的氟化物廢水。最終經由 HF 排水管收集至含氟廢水處理系統中的原水槽。

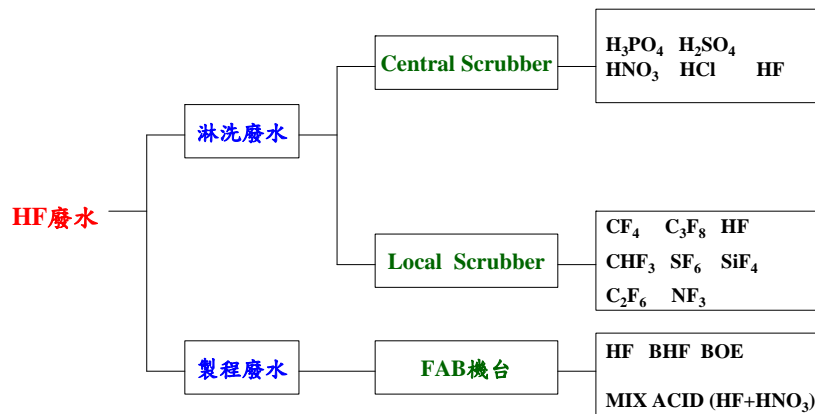


圖 1 氫氟酸廢水來源系統圖

2. 氫氟酸廢水處理流程

本廠仿照本公司竹科廠設計, 採用傳統鈣鹽加藥法, 再以化學沉澱方式處理氫氟酸廢水。氫氟酸廢水處理系統流程圖如圖 2 所示, 氫氟酸廢水經 FAB 機台排放, 依氟離子濃度分流收集至高濃度氫氟酸(CHF, Condense Hydrofluoric)儲槽(濃度 1,000~30,000ppm)及低濃度氫氟酸(DHF, Dilute Hydrofluoric)儲槽, 來提升氫氟酸處理系統原水穩定性; 高濃度氫氟酸依第一槽之氟離子濃度設定, 等量用 PUMP 打至稀氫氟酸儲槽, 並於稀氫氟酸儲槽做氟離子調勻至 300~500ppm 間; 調勻後氫氟酸廢水以 PUMP 打入第一反應槽加入液鹼(NaOH)做 pH 調整, 使水質之 pH 至偏鹼性(pH=7~8.5), 並用 On-line 之氟離子 sensor 測量氟離子濃度, 由測得之氟

離子濃度決定第一反應槽所加入之 CaCl_2 量。氫氟酸和 CaCl_2 生成 $\text{CaF}_2(\text{S})$ 和 HCl ， $\text{CaF}_2(\text{S})$ 流經快混槽在 pH 約 7 與所加入之 PAC(混凝劑)反應，經快混後生成 CaF_2 膠羽，若此時 F-濃度超過 13ppm 系統會自動添加 CaCl_2 直到氟離子濃度降至 13ppm 以下停止，再流經慢混槽與所加入之 Polymer (助凝劑)反應，經慢混後生成更大的 CaF_2 膠羽，再流經沉澱池將 CaF_2 膠羽沉澱去除後上澄液放流；氫氟酸放流氟離子濃度必須小於 15ppm，否則迴流，以符合園區污水下水道管制標準。

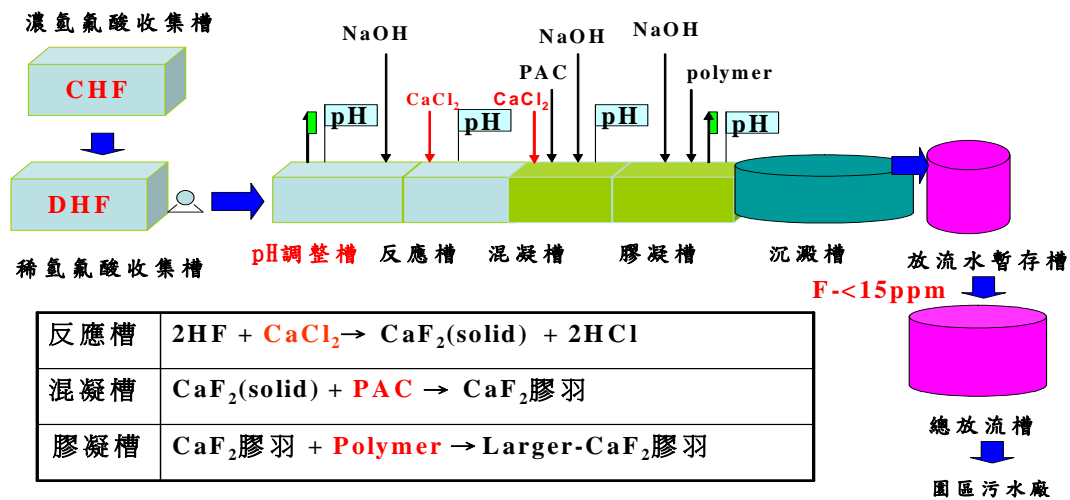


圖 2 氫氟酸廢水處理系統流程圖

為了解每日氫氟酸系統操作的穩定性，本廠以氯化鈣指標 (CaCl_2 index, $\text{kg CaCl}_2/\text{m}^3\text{HF}$ 廢水) 觀察每日氫氟酸使用量在正常運轉條件下，其定義為處理每單位體積的氫氟酸廢水 (m^3HF 廢水) 下須加入的氯化鈣量 (kg CaCl_2)。

由操作 CaCl_2 index 之推移圖(圖 3)以製程分析而言， C_{pk} 值僅 0.05 分類屬於 D 級，需進行改善。

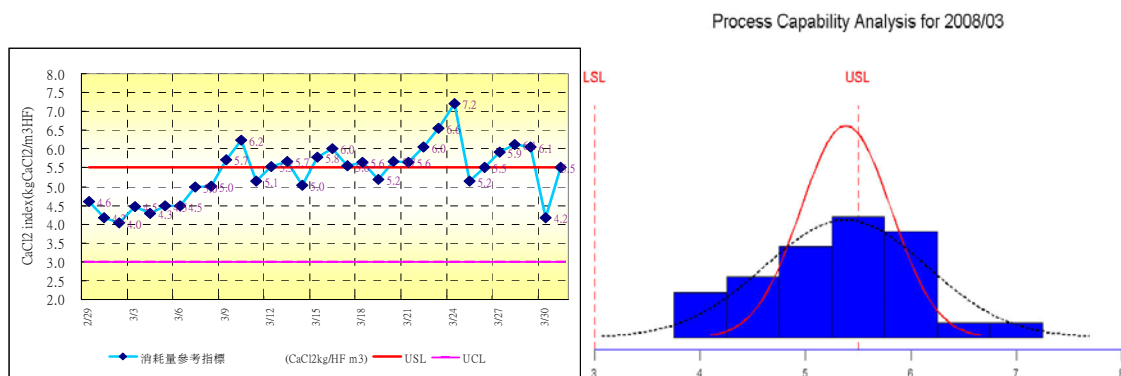


圖 3 每日操作 CaCl_2 index cpk 分析

三、改善方法及效果

1. 現況調查：

針對部門要求 CaCl_2 減量並改善氫氟酸系統操作的變異性，列出可能影響加藥量因子並進行調查，釐清可能原因。在此以人員別，機台別，物料別，方法別四部份進行分類調查。

- (1) 人員別部份，Sensor 定期校正及清洗部份，為了解不同人員間操作習慣對 CaCl_2 使用量之 index 平均值是否有差異，每人值班時當班 CaCl_2 使用量之 index，隨機收集 32 筆數據，經由 ANOVA 分析(變異數分析, Analysis-of-Variance), $p\text{-value} > 0.05$ ，無顯著差異。控制加藥系統的 Sensor 定期 PM 及更換方面，廠商均有紀錄且查證均正常。
- (2) 設備別部份，每次執行 Sensor 定期校正及清洗合約時，廠商會依現場校正之記錄報告，進行 sensor 是否需要更換之判定，sensor 或設備如已老舊需更換，則會進行更換並校正比對，查證正常。
- (3) 物料別部份，目前 CaCl_2 的供應廠商有三家。每次填充時都會進行填充時的點檢，三家的填充量測的比重均在 O.I. 規定範圍內，無異常。但從每日 CaCl_2 使用量之 index 之 ANOVA 分析結果， $p\text{-value} < 0.05$ ，有顯著差異(如圖 4 所示)，B 廠商之平均 CaCl_2 使用量之 index 高於其他兩家，因此經內部評估後 B 廠商停止供貨。

One-way ANOVA: index versus 廠商, index:kgCaCl₂/m³ HF廢水

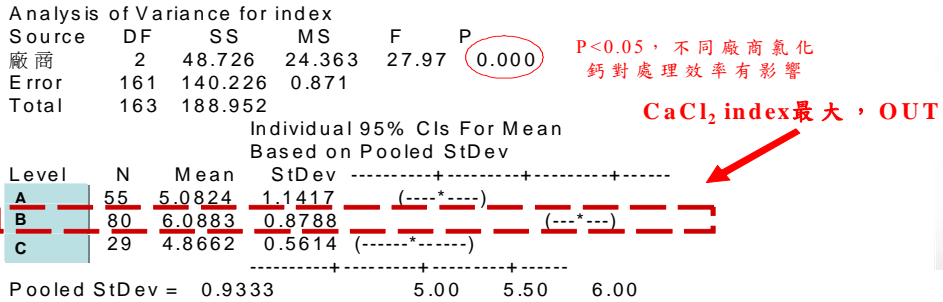


圖 4 氯化鈣來源對 CaCl₂ index 統計分析

物料別的氫氟酸廢水水質資料有助於瞭解並釐清氯化鈣加藥過量原因。調查各陰離子比例，以柏拉圖 (Pareto) 繪製本廠與友廠數據如圖 5 所示，依 80/20 原則，本廠不僅包含氟離子，而且還包含 SO₄²⁻，比起友廠單單氟離子就佔了 85%，而過多的 SO₄²⁻會增加 CaCl₂ 使用量，增加 CaCl₂ 使用量。

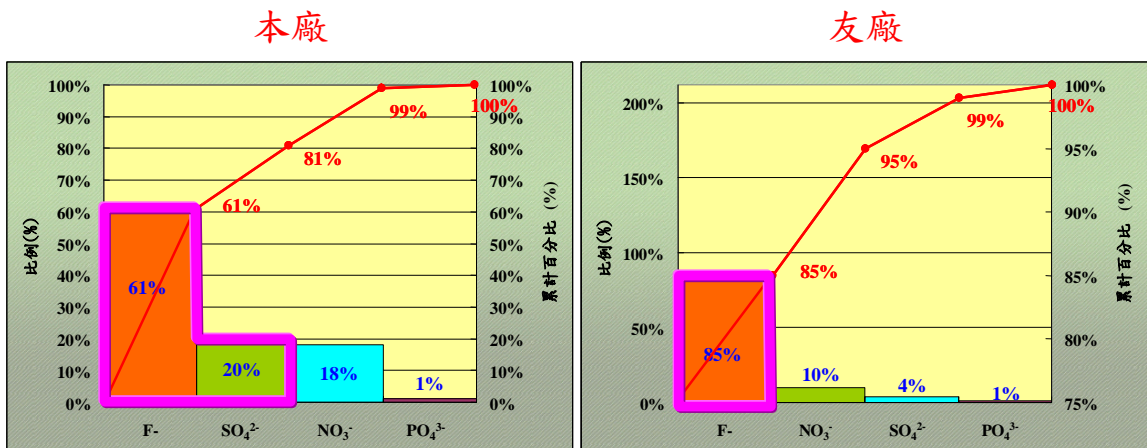
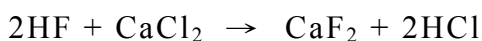
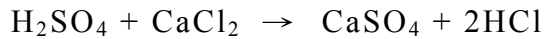
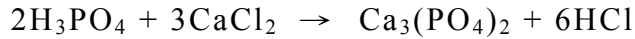


圖 5 原水水質陰離子比例本廠與友廠柏拉圖比較

處理上，廢水其他陰離子會和氯化鈣反應，影響氯化鈣使用率，增加氯化鈣加藥量。

陰離子與氯化鈣反應式：





(4)方法別部份，本廠目前的系統操作參數係參考本公司竹科廠 QIT 的最佳參數進行設定，是否能有進一步改善空間，仍需再驗證，現況未明。

2.改善系統操作條件：

在現況調查分析後，排除種種可能影響加藥量因子，在不增加設備情況下，只有系統操作條件有改善空間。而重大影響系統操作條件有因子有1.化學品加藥量，如PAC， polymer， CaCl_2 加藥量；2.反應槽環境pH值。3.系統運轉流量4.系統運轉氟離子濃度調勻及控制。故以上述影響重大的操作因子進行DOE(Design of Experiment, DOE)實驗，實驗因子如表1，篩選「系統操作流量、膠凝槽pH-207(以下簡稱pH)、PAC加藥量、polymer加藥量、 CaCl_2 加藥量、CHF→DHF廢水調節量」六項因子。在DOE實驗過程中，因子篩選及水準設計需考慮長期操作的可控制性，及成本，水準設計的根據性，及時間成本等因素。

DOE實驗因子成本考量:要因解析的六個因子本身皆無涉及到改管及增加設備，因此六項因子皆不需考量到成本。

DOE實驗因子可控性考量:考慮長期操作的可控制性，其中因子代號F(濃氫氟酸廢水→稀氫氟酸廢水調節量)是影響長期操作可控制因子。在短期實驗過程中，雖可更精確控制CHF→DHF廢水調節量，進一步調節系統氫氟酸運轉濃度。然而就實驗結果提供長期操作而言，受限於CHF PUMP起停次數限制 及CHF tank體積(避免tank overflow或缺乏CHF廢水調節濃度)，如此將導致DOE實驗結果的實際運用空間大幅降低，故決議不將此因子列入實驗項目。

DOE實驗水準依據:實驗規劃的水準依據，主要根據現有的操作現況有反應槽pH-207、PAC加藥量、polymer加藥量、 CaCl_2 加藥量等四項；此外因子代號A，操作流量過高來不及反應處理，流量過低則造成tank overflow。

DOE時間成本考量:DOE實驗為了節省時間成本，採用25-1部分因子完全隨機化實驗。反應變數如表2，考量 CaCl_2 利用率及反應槽氟離子濃度(以下簡稱F-207)這兩個參數，其中 CaCl_2 利用率越大越好，而放流水氟離子濃度一方面考慮避免 CaCl_2 利用率高但加藥不足導致放流水氟離子濃度違規情形，另一方面避免加藥過量浪費成本，故反應特性為望目。在實驗過程中，若氟離子大於15mg/l則迴流到原水槽繼續處理。

表 1 實驗因子反應變數篩選表

序號	製程因子	代號	水準		可 控 性	成 本 考 量	設定水 準依據
			一	二			
1	操作流量	A	65CMH	75CMH	√	×	過大: 無法處理 過小:無法應付 排放量
2	反應槽 pH-207	B	6.0	6.7	√	×	參考操作條件 現有操作條件 微調整
3	PAC	C	200ml/min	360ml/min	√	×	
4	Polymer	D	1350ml/min	2400ml/min	√	×	
5	CaCl ₂ 加藥量	E	55% (3500ml/min)	60% (3800ml/min)	√	×	
6	濃氫氟酸廢水◇ 稀氫氟酸廢水的 調節量	F	-	-	×	×	過去已進行 QIT 改善

表 2 實驗因子反應變數篩選表

序號	反應變數 名稱	代 號	反應變 數特性	是否為 計量值	是否可 精確衡 量	是否與 製程因 子有關係	是否為 物理特 性	是否為 核心之 機能品 質	規 格	達成之目 標值
1	CaCl ₂ 利用率		望大	√	√	√	√			
2	反應槽氟離子 濃度 F-207		望目	√	√	√	√			<15 ppm

3. 實驗結果解析：

以 A(流量 Q)、B(pH)、C(PAC)、D(polymer)及 E(CaCl₂)等參數，針對 F-207 及 CaCl₂ 利用率進行二因子 CRD(Completely Randomized Design) 檢定，結果顯示 F-207 中以 A 及 AB 為顯著因子；CaCl₂ 利用率則以 B 及 BE 為顯著因子(圖 6)。

反應變數顯著因子之柏拉圖

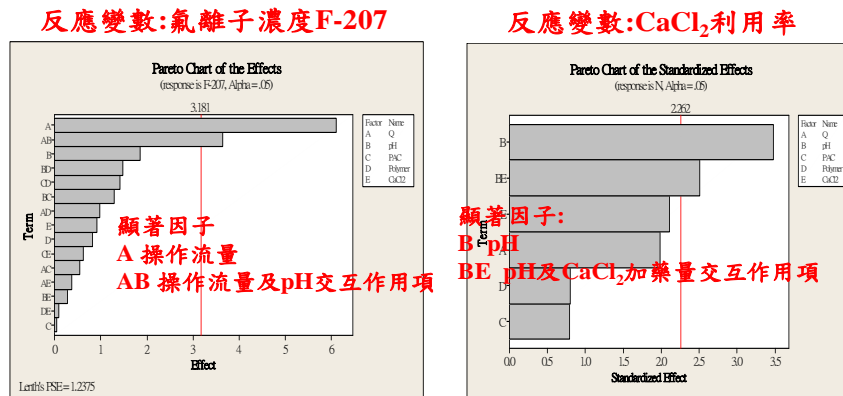
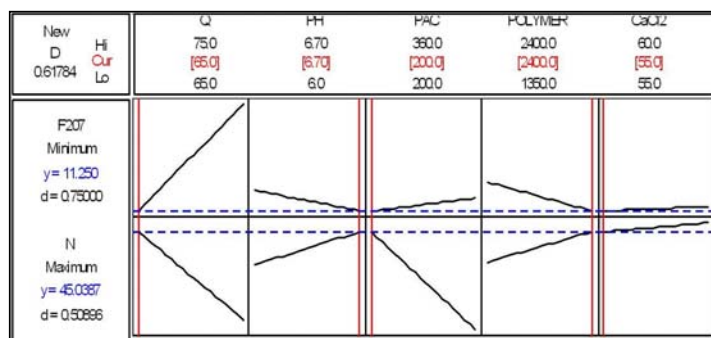


圖 6 反應變數顯著因子之柏拉圖

交互作用項:不同因子間仍有交互作用存在。由於因子間交互作用，兩反應變數顯著因子不同，如F-207的顯著因子為操作流量，操作流量和pH的交互作用項；而CaCl₂利用率顯著因子為pH，pH和CaCl₂加藥量交互作用項，如圖7所示。反應變數間最佳解本身可能互相矛盾，因此使用數學上Response-optimal方法最佳操作參數。

在考量成本及放流水氟離子濃度條件下，雖然Response-optimal結果polymer加藥量需2,400ml/min，且pH控制在6.7，有加藥過量的嫌疑。因此，再度以Response-Optimizer模擬最省藥模式的操作條件(圖3-4)和DOE最佳操作條件(圖8)，兩者差異僅在pH以及polymer加藥量上，模擬結果放流水氟離子濃度相差有限(11.25ppm, 13.71ppm)，且在法規要求濃度範圍內，在實務上都可接受。考慮節省成本，最低加藥成本運轉的版本為優先考量，是以氫氟酸操作的條件以流量為65CMH，pH為6.0，PAC以200ml/min，polymer1,360ml/min，CaCl₂開度以55%(3,800ml/min)運轉應是可行的。

Response-Optimizer模擬結果



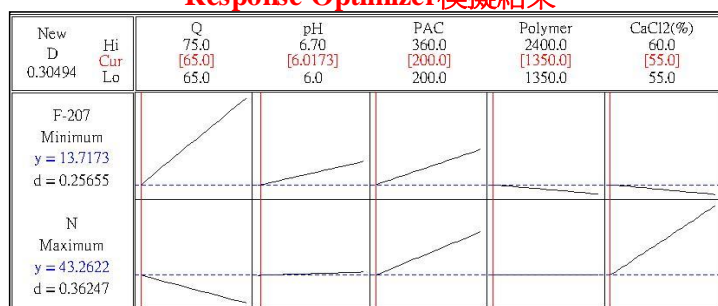
流量(Q)	pH	PAC	Polymer	CaCl ₂ 開度
65CMH	6.7	200ml/min	2400ml/min	55%



✓ Response-Optimizer結果⇒ F-207:11.25ppm

圖 7 Response-Optimizer 模擬最佳結果

Response-Optimizer模擬結果



流量(Q)	pH	PAC	Polymer	CaCl ₂ 開度
65CMH	6.0	200ml/min	1350ml/min	55%



✓ Response-Optimizer結果⇒ F-207:13.71ppm

圖 8 Response-Optimizer 模擬最省藥模式結果

4.效果確認

以此條件(策略2, 最省藥模式)進行實驗及效果確認, 氫氟酸放流水氟離子維持在12-15ppm間, 如圖9, 符合放流水水質標準。另一方面, 考量原水水質變化, 針對氯化鈣加藥開度保留部份彈性以應付原水水質變化, 如表3所示。

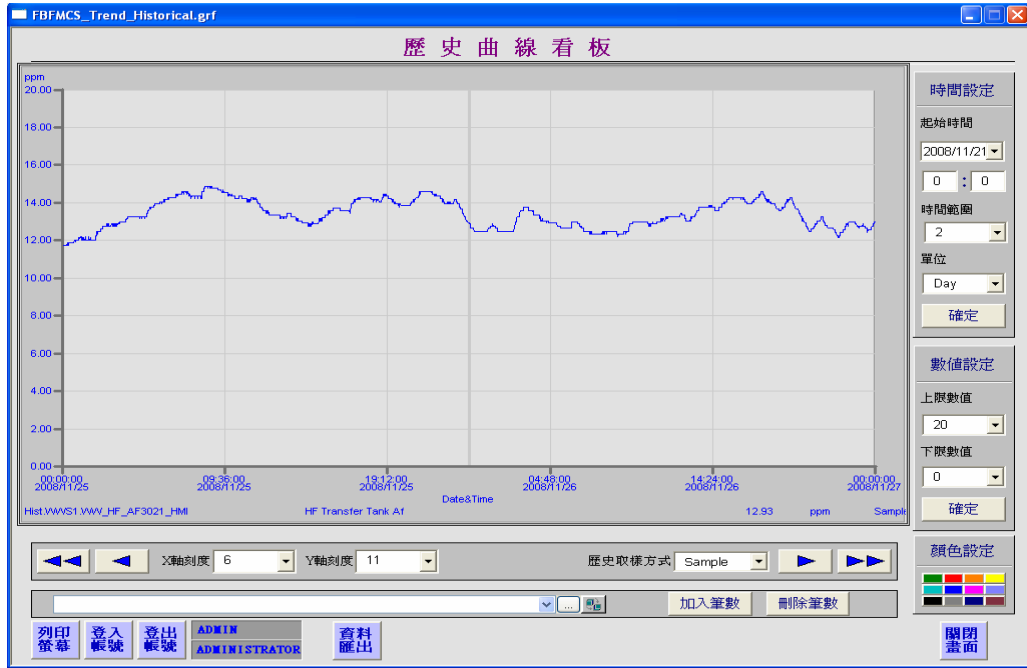


圖 9 改善後氫氟酸放流水質氟離子變化

表 3 改善前後氫氟酸操作參數

項目	改善前	改善後
CaCl ₂ 供給廠商	A、B、C	A、C
HF系統 運轉流量(CMH)	60	65
反應槽pH	7.0	6.0
PAC加藥量	250 ml/min	200 ml/min
Polymer加藥量	2000 ml/min	1350 ml/min
CaCl ₂ 加藥開度	4150ml/min	3500-3800ml/min

CaCl₂ index從改善前5.0到改善後的4.0，由圖10 CaCl₂ index推移圖可知CaCl₂ index 明顯改善且再現性良好。

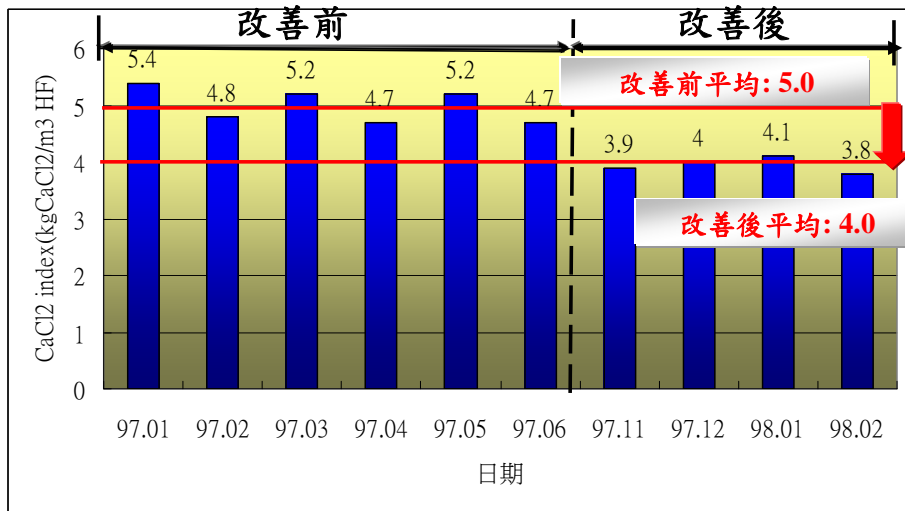


圖 10 改善後氫氟酸放流水質氟離子變化

四、效益分析

經濟效益：如圖11，預估可由 $5.0\text{kgCaCl}_2/\text{HF m}^3$ 廢水 $\rightarrow 4.0\text{kgCaCl}_2/\text{HF m}^3$ 廢水且無工程改善費用計算公式如下： $1.0\text{ kgCaCl}_2/\text{HF m}^3$ 廢水 $\times 1200\text{ HF m}^3$ 廢水/day $\times 2\text{NT/kgCaCl}_2 \times 365\text{ day/年} = 876,000\text{NT/年}$ 。

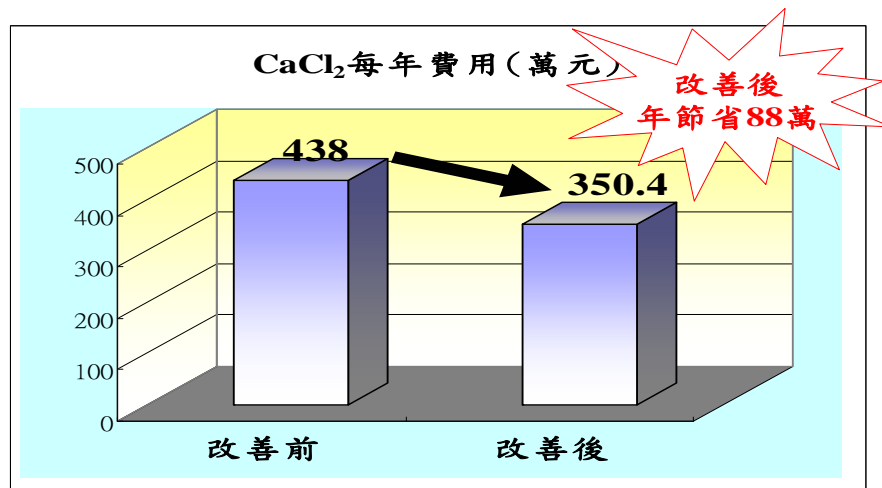


圖 11 改善後年節省費用(萬元)

五、結 論

- 1.對於系統改善而言，學會用統計手法分析是重要的，例如這次以統計手法找出有問題的 CaCl_2 廠商，避免因原物料影響系統操作。
- 2.本研究中，反應槽氟離子 F-207 及 CaCl_2 的利用率，經由 DOE 實驗手法解析出來的重要參數並不一致，但兩反應變數都顯示 pH 是重要的氫氟酸系統重要的控制因子，和以往文獻結果一致。
- 3.氯化鈣利用率是否能提升仍有待研究，操作參數是否能進一步最佳化，仍需進行 DOE 第二階段 CCD 實驗求解。

六、參考文獻

- 1.莊達人，「VLSI 製造技術」，高立圖書，87 年。
- 2.吳憲昌，「河川水中氟離子對於底泥重金屬溶出的影響」。國立交通大學環境工程所碩士論文，94 年。
- 3.楊明宏、褚衍萍、林怡成、廖政一、盧益得、莊永豐，「晶圓製造業低濃度氫氟酸廢水回收再利用實務探討」，2006 產業環保工程實務研討會論文集，pp.291-306。經濟部工業局，95 年 11 月。
- 4.陳奎麟、林政紀、劉凱溢，「降低氟系廢水氯化鈣處理費用實例研究」，半導體廠務技術研討會。92 年。
- 5.謝政宏、黃文達、杜建興，「12 吋晶圓廠氫氟酸廢水加藥模式之探討」2005 年科學園區廠務技術研討會，新竹，pp.119-123。94 年 12 月。
- 6.周珊珊、曹連桂、黃森元、李茂松、彭淑惠，「含氟廢水之流體化床結晶處理技術」，第十九屆廢水處理技術研討會論文集，台中，pp.310-319。93 年。

國內某加工出口區放流水再處理及回收再利用 之可行性探討

楊金鐘*、賴志敏**

摘 要

水資源日趨珍貴，國內加工出口區大量排放處理過之事業廢水誠屬浪費，因此，本研究乃利用自行製備之管狀氧化鈦/氧化鋁無機複合膜結合同步電混凝/電過濾(EC/EF)程序，處理國內某加工出口區內之綜合廢水經處理後排放之放流水，探討其回收再利用之可行性。本研究採集及測試的水樣分別為該加工出口區處理後之海洋放流水及陸地放流水，其水質分別為如下所示：(1)pH：7.18，7.35；(2)導電度($\mu\text{S}/\text{cm}$)：2,290，1,170；(3)濁度(NTU)：27.1，30.5；(4)總固體物(mg/L)：1,535，1,172；(5)懸浮固體物(mg/L)：20.0，15.0；(6)化學需氧量(mg/L)：60，20；(7)氨氮濃度(mg/L)：11.44，3.65；(8)硝酸根離子(mg/L)：6.53，3.75；(9)亞硝酸根離子(mg/L)：2.39，0.63。本研究經實驗室規模測試結果顯示，在濃縮液迴流的最佳操作條件下，可有效提升濾液品質，濁度、懸浮固體物、氨氮、硝酸根離子及亞硝酸根離子的去除率皆可達 95%以上，COD 則有 75%以上的去除效果，氯離子及硫酸根離子亦有約 70%以上的去除率，相關水質項目已經達到自來水水質標準。本研究顯示，利用同步電混凝/電過濾程序再處理加工出口區內之海洋放流水及陸地放流水確實使其可回收再利用，達到水資源節省與保育之目的。

【關鍵字】海洋放流水、陸地放流水、同步電混凝/電過濾程序、回收再利用

*國立中山大學環境工程研究所 教授

**國立中山大學環境工程研究所 碩士班研究生

一、前言

國內某加工出口區內所包含的產業多元，其中以晶圓半導體製造業及印刷電路板製造業為主，從傳統產業以至於高科技產業，其產生的廢水性質亦不盡相同，而加工出口區內依排放標準之不同，處理後的水分別由海洋放流及陸地放流。水的大量使用對於這些產業的水源供應、水費及巨額的廢水處理費用造成很大的負擔。近數年來，環保意識抬頭，加上水資源不足，如何推動工業區廢水回收再利用，已成為國內工業區針對水資源永續利用的重要課題。

本研究以國內某加工出口區內的海洋放流水及陸地放流水為研究對象。放流水經廠區內聯合污水處理廠處理後，已達到放流之標準且予以排放，排放量約為 30,810 CMD，若能回收再利用將可節省相當可觀的水資源。但是，排放水中仍含有晶圓切割研磨之微細粉體顆粒，以及難分解的含氮有機物等污染物質，回收再利用前必須加以去除。

薄膜分離技術由於具有高效率、省能源、佔地小及操作簡單之優勢，其中，無機膜又具有耐高溫、耐高壓、耐化學腐蝕、分離性能佳及使用壽命較長等優點^[1,2]，因此，已逐漸被應用在各種產業製程及廢水處理。

同步電混凝/電過濾(EC/EF)技術相關應用之研究指出^[3-6]，標的廢水經 EC/EF 程序處理後，其回收水除了品質佳有利用的價值外，亦具有設備占地小、污泥產量少及操作成本低廉等優點。因此，本研究嘗試以自製之管狀無機複合膜結合同步電混凝/電過濾程序處理由加工出口區內之海洋放流水及陸地放流水，探討在不同的電場強度之下，對其濾液品質之影響，並且評估其處理後回收再利用之可能性。

二、實驗材料、方法與設備

1. 水樣來源

本研究所使用之海洋放流水及陸地放流水水樣，係採自於台灣南部某加工出口區之放流系統。

2. 管狀 $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 複合膜之製備

本研究以擠出成形法自行製備管狀無機膜支撐體(材料為 Al_2O_3)，長度為 20 cm，內徑及外徑分別為 0.6 及 1.0 cm，經高溫燒結後，其平均孔徑約為 1 μm 。

接著利用溶膠-凝膠(Sol-Gel)法配製鍍膜用之 TiO_2 漿液，然後利用浸漿成膜法(Dip-Coating)將浸鍍液披覆於 Al_2O_3 支撐體上，使形成過濾膜層，

浸鍍後於室溫下自然乾燥後再置入高溫爐進行煅燒(德國Narterbherm製，型號S-19)，即可得到管狀TiO₂/Al₂O₃複合膜管作為後續實驗使用。其膜層厚度約為12 μm，平均孔徑約為3.6 nm。

3. 同步電混凝/電過濾處理系統

本研究所使用之同步電混凝/電過濾模組裝置，其示意圖如圖1所示。此處理模組內為單一管狀外壓式(Outside-In)無機濾膜，其陽極為鋁材質，陰極為不鏽鋼；陰、陽極間距1 cm，有效過濾面積為56.52 cm²。此模組所需施加電場強度由直流電源供應器控制；進流速率以浮子流量計配合流量控制閥調整；過濾壓差則由高壓幫浦的壓力控制閥控制；過濾過程中，濃縮液則迴流至原液槽；而濾液重量則由連接個人電腦之電子天平每隔20秒連續監測記錄。

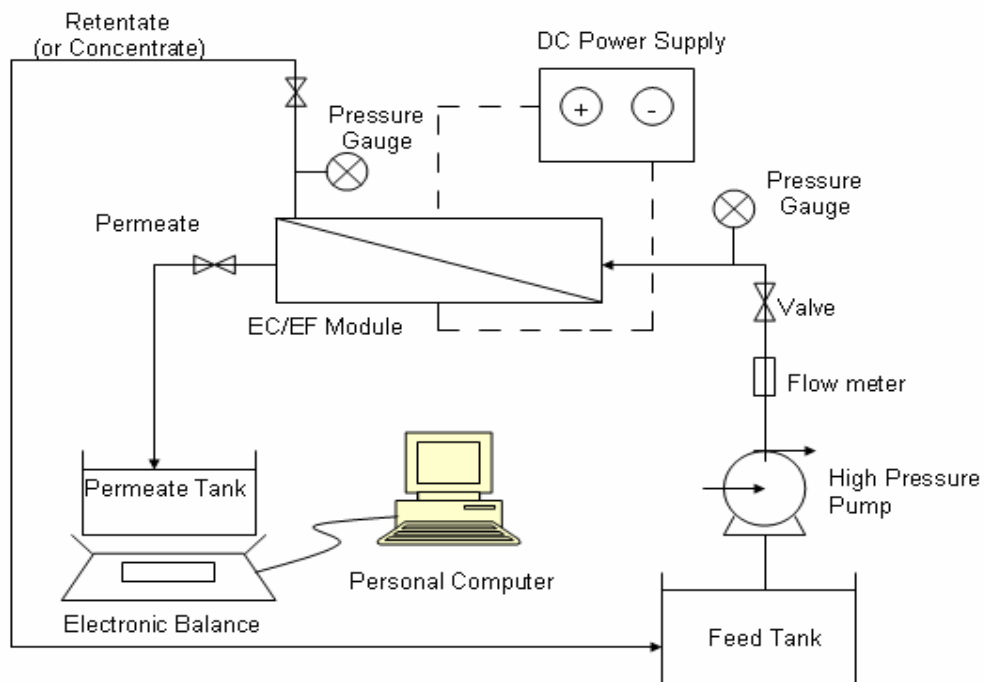


圖 1 同步電混凝/電過濾處理系統示意圖

4. 其他實驗設備

- (1)高濃度奈米、界面電位、分子量量測儀：用以檢測廢水中懸浮固體粒徑大小，英國 Malvern 製，型號 Nano-ZS。
- (2)環境掃描式電子顯微鏡(ESEM)：用以觀測管狀無機複合膜微結構，捷克 FEI，型號 Quanta-200。

三、結果與討論

1. 放流水基本性質分析

本研究所採集之海洋放流水及陸地放流水之水樣分析如表1所示，從表中可觀察出兩種水樣中之pH值約為中性，濁度、懸浮固體物(SS)及化學需氧量(COD)皆不高，但是溶液中總固體物(TS)都大於1,500 mg/L，顯示水樣中之污染物主要為溶解性物質。且其界達電位分別為-13.70及-2.26 mV，顯示此廢水帶有許多顆粒且分散均勻不易沉澱。

水樣中顆粒之粒徑分析利用粒徑分析儀測定，其結果如圖2及圖3所示，平均粒徑分別為2,790及4,640 nm，且含有一部份的奈米級顆粒存在。

表 1 海洋放流水及陸地放流水之水質特性分析

	海洋放流水	陸地放流水
pH	7.18	7.35
Conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2290	1170
Turbidity (NTU)	27.1	30.5
TS (mg/L)	1535	1712
SS (mg/L)	20.0	15.0
COD (mg/L)	60	20
NO_3^- (mg/L)	6.53	3.75
NO_2^- (mg/L)	2.39	0.63
Cl^- (mg/L)	96.57	88.73
SO_4^{2-} (mg/L)	113.65	230.18
$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/L)	11.44	3.65
Mean Particle Size (nm)	2790	4640
Zeta Potential (mV)	-13.70	-2.26

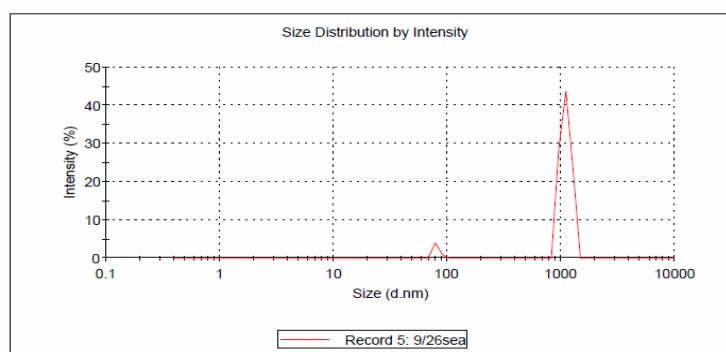


圖 2 海洋放流水之粒徑分佈圖

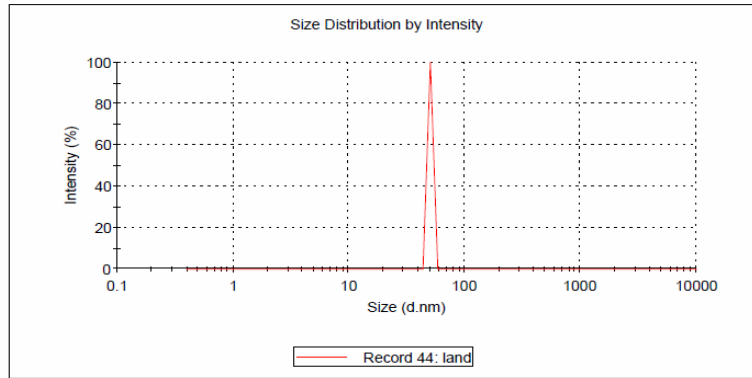


圖 3 陸地放流水之粒徑分佈圖

2. 同步電凝/電過濾模組之操作條件探討

本研究主要探討電場強度對濾液品質及濾液通量之影響，實驗方法為固定處理系統之過濾壓差(294 kPa)及掃流速度(3.33 cm/sec)，而改變電場強度0、10、20、30及40 V/cm，隨著實驗的進行記錄時間與濾液通量之變化，其結果如圖4及圖5所示。

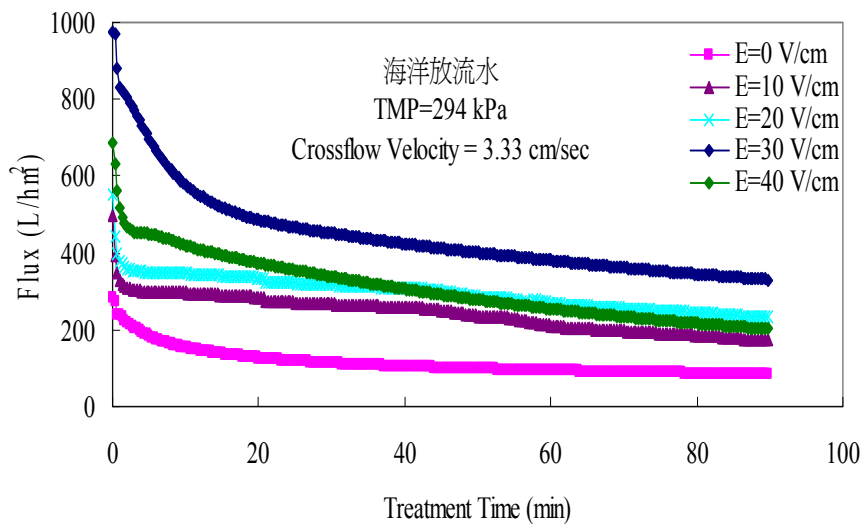


圖 4 海洋放流水經 EC/EF 其濾液通量隨施加電場強度與處理時間之關係圖

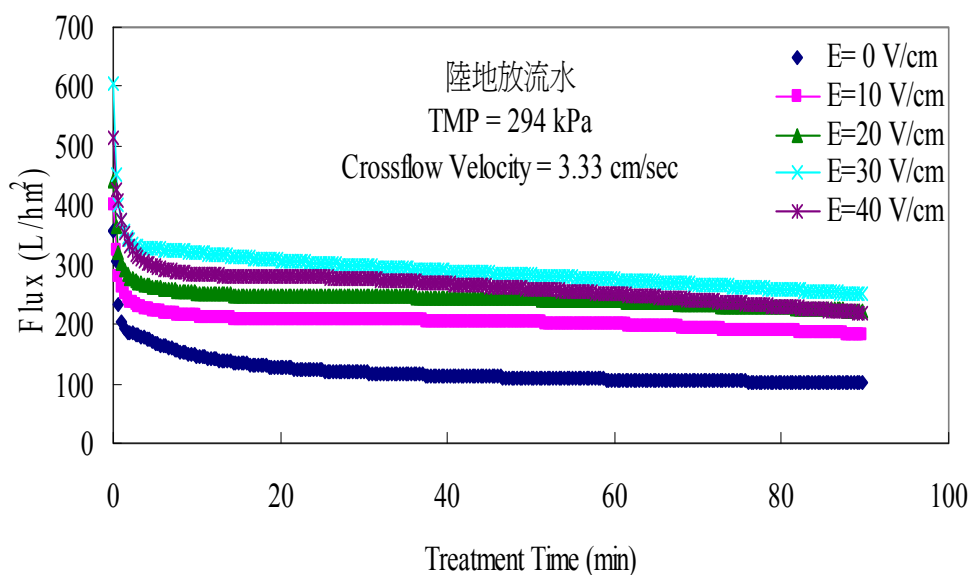


圖 5 陸地放流水經 EC/EF 其濾液通量隨施加電場強度與處理時間之關係圖

根據實驗結果顯示(見圖4及圖5)，提升電場強度對濾液通量的增加有正面效果。由上述2圖中可以觀察出，濾液通量一開始皆具有一極大值，接著會隨處理時間而下降，約在第20~30分鐘處濾液通量會達到穩定。此現象是因為一開始濾餅尚未累積，故濾液通量極大，而隨著時間增加，濾餅會不斷增厚，但進流水在薄膜表面之進流速率，會產生剪應力作用而不利於濾餅之形成，故當濾餅之累積效應與清除效應達到平衡，濾餅厚度及濾液通量即達穩定^[3]。

圖4及圖5顯示，隨著施加電場強度之增加，濾液通量也會增加，當電場強度增加到30 V/cm時，會有最大的濾液通量，此電場強度即為其臨界電場強度，當所施加之電場強度超過其臨界電場強度時，濾液通量將不再增加。

而在濾液品質方面(見表2及表3)，針對COD、濁度、SS等項目，在不施加電場的情況下，僅靠著薄膜過濾就有良好的效果，在施加電場之後，濾液品質更能有效提升。而在硝酸鹽、亞硝酸鹽及氨氮的部份，可以由表2及表3觀察出其去除率明顯會隨著電場的施加而增加。

表 2 海洋放流水經 EC/EF 處理後之濾液水質分析

	S1	S2	S3	S4	S5
pH	7.43	7.85	8.06	8.49	8.63
Conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1603	1806	1823	1854	1953
Turbidity (NTU)	0.80	0.52	0.58	0.90	1.04
TS (mg/L)	1150	1120	1083	1066	1008
SS (mg/L)	<1	<1	<1	<1	<1
COD (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5
NH ₃ -N (mg/L)	8.22	2.54	0.89	0.01	0.01
NO ₃ ⁻ (mg/L)	3.09	1.06	0.84	0.33	0.28
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0.13	0.11	0.08	0.08	0.08
Cl ⁻ (mg/L)	96.40	90.03	88.27	85.22	84.26
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	98.42	96.59	96.33	96.25	95.45

註：S1-S5 操作條件分別為電場強度 0、10、20、30 及 40 V/cm，過濾壓差及掃流速度分別為 294 kPa 與 3.33 cm/sec。

表 3 陸地放流水經 EC/EF 處理後之濾液水質分析

	L1	L2	L3	L4	L5
pH	7.78	8.36	8.75	9.26	9.33
Conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1,226	1,672	1,806	1,866	1,953
Turbidity (NTU)	0.62	0.58	0.36	0.79	0.82
TS (mg/L)	1366	1106	1159	1198	1257
SS (mg/L)	<1	<1	<1	<1	<1
COD (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5
NH ₃ -N (mg/L)	2.31	0.85	0.36	0.01	0.01
NO ₃ ⁻ (mg/L)	2.07	1.95	1.88	1.88	1.56
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0.05	0.02	0.02	0.02	0.01
Cl ⁻ (mg/L)	78.98	72.56	71.23	70.52	68.26
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	201.96	182.45	177.45	176.64	170.35

註：L1-L5 操作條件分別為電場強度 0、10、20、30 及 40 V/cm，過濾壓差及掃流速度分別為 294 kPa 與 3.33 cm/sec。

由表2及表3亦可以觀察出，在氯離子及硫酸根離子的部份，並不如其他水質項目具有高去除率。因此，本研究進一步探討過濾壓差的改變是否會提高氯離子及硫酸根離子之去除率。由圖6及圖7可以觀察出，當電場強度皆為30 V/cm及掃流速度為3.33 cm/sec時，將過濾壓差由294 kPa調降為98 kPa，濾液通量剩下將近原來的一半，其濾液品質如表4所示，顯然在上述操作條件下，其濾液品質均有所提升。尤其在陰離子方面，在減少過濾壓差後，氯離子及硫酸根離子之去除率更提升至70 %左右。

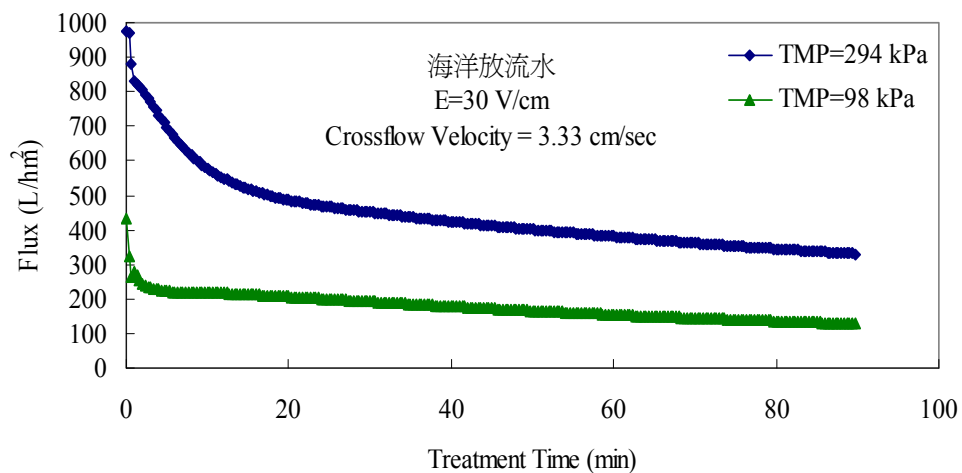


圖 6 海洋放流水經 EC/EF 其濾液通量隨過濾壓差變化與處理時間之關係圖

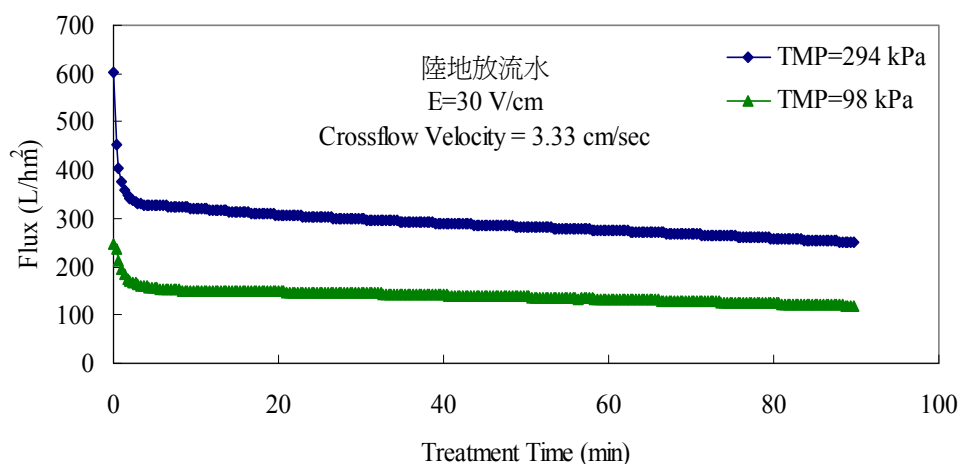


圖 7 陸地放流水經 EC/EF 其濾液通量隨過濾壓差變化與處理時間之關係圖

表 4 海洋放流水及陸地放流水經 EC/EF 處理後之濾液水質分析

	海洋放流水		陸地放流水	
	S4	S4-1	L4	L4-1
pH	8.49	8.76	9.26	8.72
Conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1854	1803	1866	2070
Turbidity (NTU)	0.90	0.31	0.79	0.60
TS (mg/L)	1066	960	1198	1020
SS (mg/L)	<1	<1	<1	<1
COD (mg/L)	<5	<5	<5	<5
NH ₃ -N (mg/L)	0.01	0.01	0.01	0.01
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0.33	0.14	1.88	0.01
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0.08	0.06	0.02	0.01
Cl ⁻ (mg/L)	85.22	27.92	70.52	31.20
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	96.25	35.70	176.64	42.80

註：S4 及 L4 之操作條件皆為電場強度 30 V/cm、掃流速度 3.33 cm/sec 及過濾壓差 294 kPa；S4-1 及 L4-1 之操作條件皆為電場強度 30 V/cm、掃流速度 3.33 cm/sec 及過濾壓差 98 kPa。

綜合以上研究結果顯示，管狀 TiO₂/Al₂O₃ 複合膜結合同步電混凝/電過濾在電場強度 30 V/cm 的操作條件下，可得到不錯的濾液通量及濾液品質，而將過濾壓差減少至 98 kPa 更能提升其濾液品質，在此操作條件下，濾液之品質可達到自來水水質之標準，如表 5 所示。

表 5 海洋放流水及陸地放流水經 EC/EF 處理後其水質與自來水水質標準比較

	自來水水質標準	S4-1	L4-1
Turbidity (NTU)	4.00	0.31	0.60
NH ₃ -N (mg/L)	0.50	0.01	0.01
NO ₃ ⁻ (mg/L)	10.00	0.14	0.01
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0.00	0.06	0.01
Cl ⁻ (mg/L)	250.00	27.92	31.20
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	250.00	35.70	42.80

註：S4-1 及 L4-1 分別代表海洋放流水及陸地放流水經 EC/EF 後之處理水，EC/EF 之操作條件皆為電場強度 30 V/cm、掃流速度 3.33 cm/sec 及過濾壓差 98 kPa。

四、結 論

1. 本研究利用自行製備之管狀 TiO₂/Al₂O₃ 複合膜結合同步電混凝/電過濾程序(EC/EF)處理國內某加工出口區之海洋放流水及陸地放流水，並藉由探

討電場強度及過濾壓差對處理成效上之影響，以整合出適合此兩種水樣之最佳操作條件。綜合以上研究成果可歸納出下列結論：

2. 利用自行製備之管狀 $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 複合膜結合同步電混凝/電過濾程序處理海洋放流水及陸地放流水，皆在臨界電場強度 30 V/cm、掃流速度 3.33 cm/sec 及過濾壓差 294 kPa 的操作環境下，有最大的濾液通量，且其濾液品質佳。濁度、懸浮固體物、氨氮及亞硝酸根離子的去除率皆可達 95% 以上，COD 則有 75% 以上的去除效果，硝酸根離子亦有 50% 以上的去除率。
3. 本研究發現，若減小 EC/EF 系統之過濾壓差至 98 kPa，其濾液通量約減為一半，但卻可進一步提升水質，提高上述污染物之去除率，尤其是可大幅降低氯離子及硫酸根離子之濃度，處理後之濾液水質已低於自來水水質標準，可加以回收再利用。

五、誌 謝

本研究承蒙經濟部水利署補助研究經費(計畫編號：MOEAWRA 0970313)，特此致上謝忱。

六、參考文獻

1. Bhave, R. R., "Inorganic Membranes: Synthesis, Characteristics and Applications," Van Nostrand Reinhold, New York, U.S.A. (1991).
2. 楊金鐘，淺談無機濾膜及其於廢水處理之應用，化工技術，第 16 卷，第 7 期，第 174-185 頁(2008)。
3. 楊金鐘，利用電混凝與電過濾同步處理暨回收含奈米微粒廢水之研究，工程科技通訊，第 86 期，第 001-005 頁(2006)。
4. Yang, G. C. C. and Tsai, C. M., "Performance Evaluation of a Simultaneous Electrocoagulation and Electrofiltration Module for the Treatment of Cu-CMP and Oxide-CMP Wastewaters," Journal of Membrane Science, Vol. 286, Nos. 1-2, pp. 36-44 (2006).
5. 張原豪，自製管狀氧化鈦/氧化鋁複合膜同步電混凝/電過濾處理化學機械研磨廢水之效能評估，國立中山大學碩士論文(2008)。
6. 楊金鐘，顏嘉亨，同步電混凝/電過濾程序處理 TFT-LCD 廠綜合廢水，產業綠色技術研討會論文集，第 181-194 頁(2008)。

油墨廢水淤泥循環再生技術與應用成功案例

許家源*

摘 要

近年來，由於經濟部工業局、環保署等政府部門，大力推動「廢水不外流」、「淤泥減量及資源化利用」相關工作，環保觀念已深植於國內工廠，有心致力於之工廠，紛紛探討廠內廢水設備的實用性與成本，並積極採取各種環保再生措施，降低生產成本，提高產業之競爭力。從台灣產業服務基金會執行工業局「產業清潔生產與綠色技術提升輔導專案」經驗發現，工廠廢水處理設備之工法與處置流程仍有改善空間，例如酸析，沉澱，壓濾，中和等，縱有多槽處理措施，其化學藥劑使用及其電費及維護清運費比例仍是不可忽視；是故國內期待經濟有效的廢水淤泥處理再生技術問世。

本文主要介紹一種新發展的油墨廢水淤泥循環再生技術及成功的應用實例；其技術原理為提高耗氧菌在水中密度，使之產生絮凝作用而將被去除粘性的油墨顆粒被沉澱分離，而可達到不用添加酸、鹼及混凝劑便可將油墨廢水處理至符合放流水標準，並可將其污泥進行資源化利用。此法提供相關產業參考應用，產業若能善用此等清潔生產技術，有效減輕廢水處理之成本並提高資源再利用價值，減少生產製造成本，提高產業競爭力，可說是工廠之福。

【關鍵字】生物處理、油墨廢水、污泥再利用、廢水回收、清潔生產

*環微生物科技公司籌備處 技術總監

一、前言

傳統油墨廢水處理需花費設備費用、2~4種藥劑費用、水費、電費、設備維護費及2~5坪空間擺放設備，且處理出水質依然未達標準。環微生物科技研發數年，開發新型工業用微量元素，其優點為空間小，馬上處理馬上放流，操作簡單，只需每月提供依廢水排放量之環境維護費，即可達到業者要求及放流水標準。

根據行政院主計處統計資料，1996年我國印刷及有關事業(包括印刷業、製版業、裝訂及印刷品加工業及印刷有關服務業)共計9184家，又2000年我國印刷業年產值高達577億元^[1]，因此在印刷品的製造過程中，如原料使用、印刷及加工製程等，會產生包括能資源消耗、空氣污染、廢水污染及廢棄物等許多環境衝擊。本規格標準之擬定，乃冀望透過綠色消費之意識型態發展，逐漸促使包括出版業、印刷業及其上下游相關產業對於印刷品之設計與生產朝向省資源、低污染、可回收之方向發展。

二、油墨廢水淤泥循環再生技術建置及執行現況

使用微生物於水體中之作用以維持水體生態平衡。本工法可使用於空間較小之廠區，處理速度快且不須設置沉澱槽即可直接循環使用，以目前現場執行狀況分析：

- 1.此系統可針對流量小、排放量小及小空間之廠房，可設置20公升簡易式桶槽，利用其高低對流回收再處理(如圖1)。

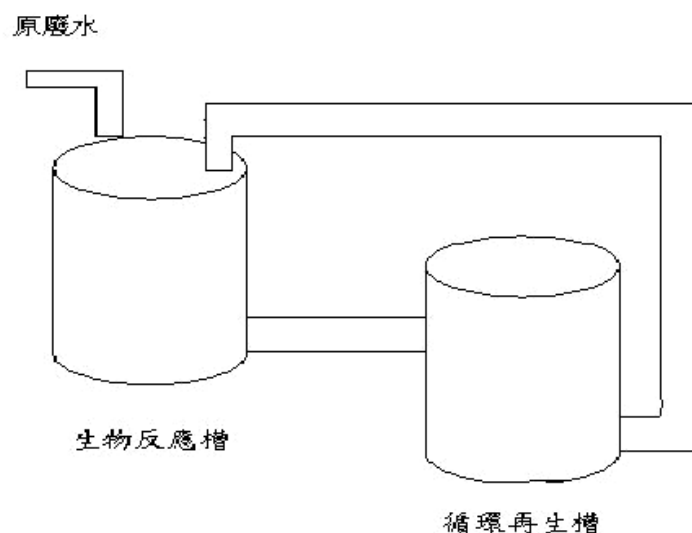


圖1 油墨廢水淤泥循環再生系統操作流程

2.現階段使用廢水排水量 20~30m³，單槽容量 40 m³之廢水處置廠，如不捨棄原有設備可依週期投置菌種至沉澱槽可加速脫水脫色反應。

表 1 油墨廢水淤泥循環再生之維護檢查事項

經常性檢查及維護	操作	異常時之對策
1.生物反應槽應經常檢測維護，使其充分吸附、加速沉降。 2.生物反應須耗氧及繁殖時間應注意曝氣狀況及流量。 3.不使用時，需投專用錠劑。	1.依流量及容量投放菌種。 2.初期需每週現場檢測水體,以建立生物槽之水體狀態。 3.投放時間為 30 天為一週期。	1.當微生物繁殖過快過多時,需投入專用錠劑。 2.應防止閒人擅自進入操作。

四、結 論

現有生物工法排出水質較不易穩定，且大多為批次式操作，而沉澱燥化菌排出水質穩定且可直接循環使用；現有工法成本較高，需有成套設備、藥劑及機器設備維護成本。沉澱燥化菌不需設備，處理後出流水可替代工業水的利用率達可 100%。

油墨廢水淤泥循環再生技術分為以下 3 步驟：

1.循環

沉澱燥化菌在工法中，可依流量推算使用效率，每噸水循環處理可達三 10 次後，因環境調節及繁殖障礙而失去功效。

2.再生

處理後淤泥可再生為經濟產物。如：油墨淤泥可還原成油墨,並且更具防水性及耐磨性，色澤依舊。染整淤泥可做建材原料或防水塗料原料。

3.放流

循環處理達 30 次後，可投藥放流處理。

五、參考文獻

- 1.經濟部工業局網站，<http://proj.moeaidb.gov.tw>
- 2.國科會科資中心，「生物技術之世界趨勢」，民國 89 年。
- 3.廢水處理單元設計及異常對策，經濟部工業局，87 年 10 月。
- 4.廢水處理廠操作管理，經濟部工業局，83 年 6 月。

議程三

1.煉焦廢水中硫氧化物來源與預警監控

沈瑞富、陳文昌、陳丁碩、李銘偉

2.半導體廠房噪音防制及音源頻譜分析案例探討

賴膺仁、林俊伯、王述熙、鄭安杰

3.竹板材製備及其環境性能之研究

楊叢印、黃進修、許順珠、莊鈺賢

煉焦廢水中硫氧化合物來源與預警監控

沈瑞富*、陳文昌**、陳丁碩***、李銘偉***

摘 要

煉焦廢水為中鋼生化廢水場最主要處理對象，上游廢水水質之組成與穩定性會直接影響生化廢水場製程效能。近年曾發生活性污泥酸化而引發排放水水質降低之狀況，追究原因，發現主要源自上游煉焦廢水中硫氧化合物濃度升高；本文目的為探討影響煉焦廢水硫氧化合物濃度高低之原因並發展預警監控方法。

煉焦副產品經煤化學工場一系列化工程序後之水溶液，即稱為煉焦廢水。本案執行上，以長期完整之工場運轉數據為主要依據，配合實驗室試驗、製程模擬計算、現場取樣化驗與統計分析等研究，開發線上監診方案。

結果證明煉焦廢水中硫氧化合物主要源自硫磺場之回流尾氣；硫磺場製程操控上，若高溫觸媒反應器之空氣過量，則將生成較多之硫氧化合物於尾氣中，尾氣與煤化學工場水溶液接觸後，最終造成煉焦廢水硫氧化合物升高；煉焦廢水硫氧化合物以 $S_2O_3=$ 濃度為重要監測項目。基於此機制，發展硫磺場製程監控技術，運用實績證明有效控制煉焦廢水硫氧化合物濃度，提昇排放水水質。

【關鍵字】煉焦廢水、硫磺場、硫氧化合物、線上監診系統

*中鋼公司新材料研究發展處 正研究員

**中鋼公司新材料研究發展處 研究員

***中鋼公司新材料研究發展處 工程師

一、前言

煉焦廢水為中鋼生化廢水場最主要處理對象，其水質組成與穩定性會直接影響生化廢水場製程效能；而煉焦廢水為煉焦副產品經煤化學工場一系列化工程序後之水溶液。

工場運轉實績與實驗室研究結果皆證明：煉焦廢水中硫氧化合物，尤其 $S_2O_3^{2-}/SCN^-$ 等濃度太高會引發排放水活性污泥池製程酸化，對中鋼排放水水質威脅大；所以必須探討引發煉焦廢水中硫氧化合物變動之原因與具體監控策略。研究結果顯示煉焦廢水中硫氧化合物濃度高低，主要受煤化學工場內硫磺場操作效能影響。本文探討煉焦廢水水質與硫磺場間之關係，分析工場運轉實績，分類會引發硫磺場尾氣異常之主要原因，整合研究結果，開發並建立硫磺場異常即時預警監控系統，經工場實際應用，證明方便有效。

二、中鋼製程及硫磺場影響水質原理

硫磺場製程影響中鋼煉焦廢水水質尤其硫氧化合物濃度之原理，利用圖 1 所示之煤化學工場製程流程簡圖說明。

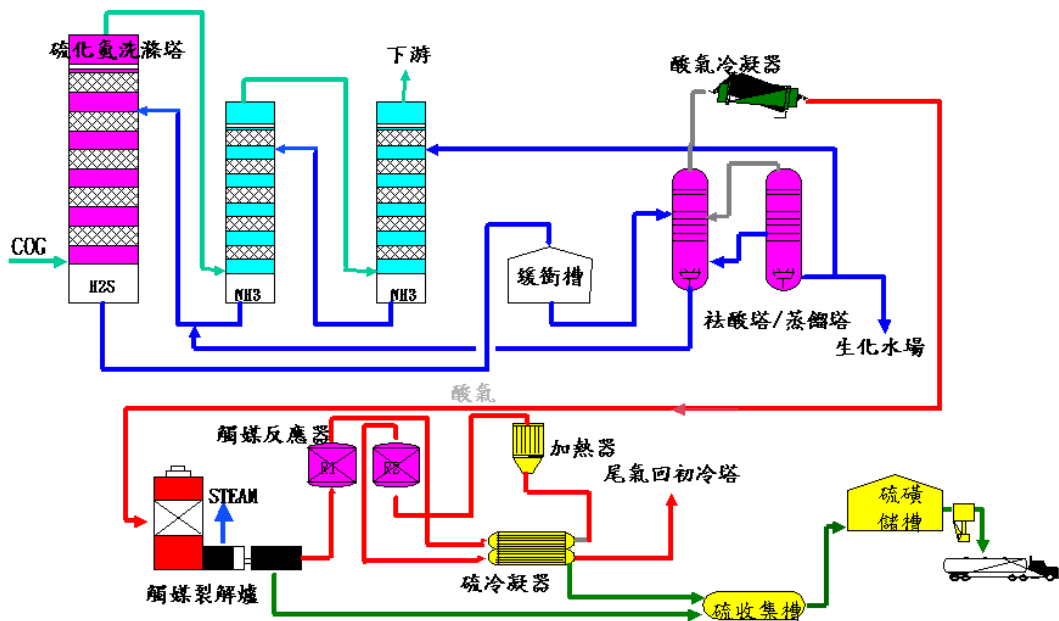


圖 1 煤化學工場製程流程簡圖

1. 製程說明

煤化學工場與硫磺場皆是歷史悠久之工業製程，尤其硫磺場在石化業更是普遍，相關文獻很多；研究上，主要需探討中鋼煤化學工場硫磺場的特點，以及為何硫磺場會影響煉焦廢水水質；執行過程除需進一步探討相關製程原理外，主要需定量研究中鋼煤化學工場實際運轉特性與可行方案。

焦爐氣為中鋼廠內重要自產燃氣，送出使用前須經淨化處理，煤化學工場淨化 COG 過程，將 COG 中 NH_3 、 H_2S 、 HCN 、 CO_2 等雜質經吸收去除並蒸餾濃縮為酸氣，而所脫除之酸氣則導入硫磺場予以氧化與高溫裂解，並產製純硫磺副產品和回收熱能生產水蒸氣，製程原理屬於 Modified Claus Process；工場所需之氧氣由空氣提供，所以「控制適當空氣量」是維持硫磺場效能之一先決條件。實際工場製程設計上，利用分析尾氣 $\text{H}_2\text{S}/\text{SO}_2$ 濃度來判斷空氣流量是否恰當，而執行回饋監控空氣流量之系統，稱為 Air-demand 控制系統。

中鋼硫磺場流程與石化業硫磺場有一大差別，即：尾氣則回流至 COG 源頭一併淨化，此流程之優點為：無尾氣排放汙染問題，然缺點為尾氣中污染物可能溶入排放水中，因此卻會增加煉焦廢水中硫氧化合物濃度；因硫氧化合物濃度升高或不穩定會不利中鋼生化廢水場效能，所以必須建立監控技術。

2. 硫磺場硫化物氧化反應

硫磺場原料酸氣主要組成： NH_3 、 H_2S 、 HCN 、 CO_2 、 H_2O 等，場內反應器發生複雜氧化反應雖多，理想主要反應為： $2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{S}_x + 2\text{H}_2\text{O}$ ，然實際上， H_2S 仍會產生其他硫氧化合物；圖 2 為硫化物氧化反應圖 (Oxidation State Diagram for Sulfur)，由硫化物氧化反應理論 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 屬 H_2S 衍生之氧化物，這可解釋為何硫磺場空氣控制異常期間，廢水中 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 硫氧化合物會竄增。

硫化氫氧化反應圖 (Oxidation State Diagram for Sulfur)



圖 2 硫化氫氧化反應圖

由於硫磺場實際進行之化學反應很多且反應動力更為複雜，如何一方面維持硫磺場製程效率，一方面又能兼顧煉焦廢水水質，須由研究實際工場運轉數據，予以訂定。

W25 硫磺場影響層面很廣，且規模大、高溫、安全性要求高；但工場操作實務顯示尾氣分析儀無法完全避免儀器故障，故障期間，工場操作上如何判斷與監控最適空氣進料流量，必須基於現場各種可測跡象予以判斷。

三、煉焦廢水中硫氧化合物受硫磺場影響之工場證據

長期工場運轉經驗，定性上，顯示煉焦廢水中硫氧化合物高低與硫磺場間息息相關，硫磺場運轉若偏差，眾多負面效應之一為煉焦廢水中硫氧化合物竄高。但要進一步監控及防止異常發生，則須更明確掌握定量性質，確定可量測、可判斷製程狀況與可控制操作變數之具體方法。由於工場變數很多且往往為非線性關係，所以進行一系列長期探討；下列以兩項明確之證據。

試驗期間，利用離子層析儀分析煉焦廢水中硫氧化合物濃度，以增加化驗準確度。

1. 硫磺場運轉與否對煉焦廢水硫氧化合物濃度之影響量

中鋼煤化學工場共有四座硫磺場，其中一座為備用；本案特別研究一座煤化學工場硫磺場歲修前後煉焦廢水中硫氧化合物高低之變化，因該場歲修期間係將酸氣則送至其他硫磺場處理，使得期間煉焦廢水不受硫磺場影響。圖 3 為結果，證明硫磺場尾氣回流與否對水質之影響量非常顯著，廢水中 $S_2O_3^{2-}$ 硫氧化合物濃度差高達 400 ppm 左右，另也顯示若無硫磺場之影響，廢水中 $S_2O_3^{2-}$ 硫氧化合物濃度將可低至 50ppm 以下。

雖正常運轉下因硫磺場製程使煉焦廢水中 $S_2O_3^{2-}$ 硫氧化合物增高，依中鋼長期經驗，只要煉焦廢水中 $S_2O_3^{2-}$ 硫氧化合物穩定且不大幅竄升，中鋼排放水處理系統仍能很有效地淨化煉焦廢水，確保排放水水質。

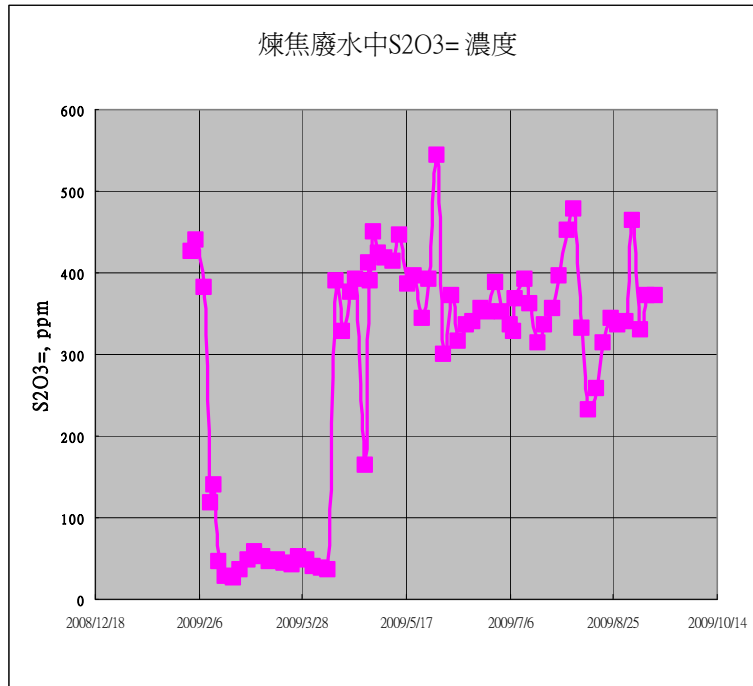


圖 3 硫磺場運轉與否對煉焦廢水 $S_2O_3^{2-}$ 濃度之影響量

2. 硫磺場尾氣 SO_2 濃度與煉焦廢水中 $S_2O_3^{2-}$ 濃度間關係

硫磺場製程原理屬部分氧化法，參考章節二所述之硫化氫氧化反應，可推論尾氣中 SO_2 濃度愈高代表氧化程度愈高；本文第四章圖 6 為模擬計算結果，定量地說明尾氣中 SO_2 濃度和空氣量間關係。

為探討是否廢水中 $S_2O_3^{2-}$ 濃度確實與硫磺場氧化率相關，以尾氣中 SO_2 濃度為氧化程度指標，長期線外取樣分析廢水中 $S_2O_3^{2-}$ 濃度並檢視當時尾氣 SO_2 間關係，結果如圖 4，顯示尾氣 SO_2 濃度愈高，廢水中 $S_2O_3^{2-}$ 濃度就愈高，證明控制硫磺場氧化反應為監控煉焦廢水硫氧化合物高低之基礎。

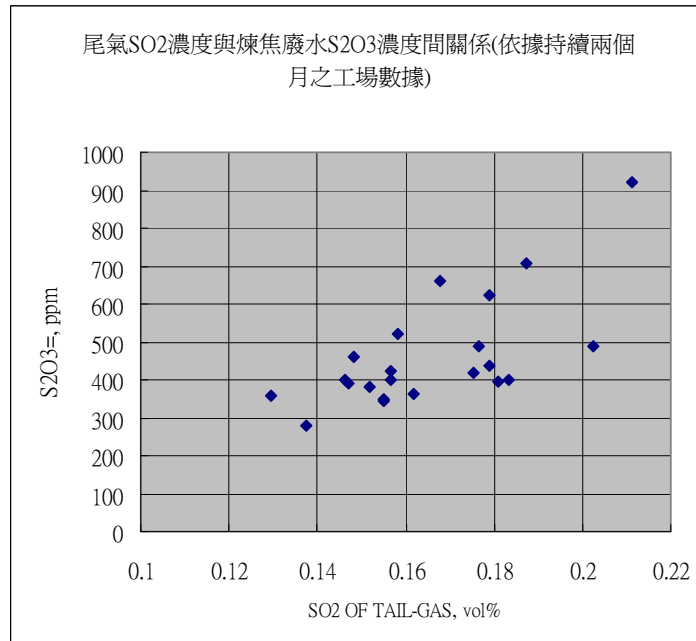


圖 4 尾氣 SO₂ 濃度與廢水中 S₂O₃²⁻濃度間關係

四、硫磺場異常原因與對應工場跡象

長期運轉實績，造成硫磺場異常主要源頭為：「空氣流量不適當」；工場操作實務上，要穩定地達成維持最適空氣量，困難處為：(1)酸氣組成與流量變動，而且酸氣組成無線上直接量測數值；(2)空氣量控制系統之回饋依據為「尾氣分析儀之 H₂S、SO₂ 濃度」，然尾氣分析有容易故障/誤差之問題。

1. 空氣控制影響量之模擬與工場實績

工場反應器內，酸氣中 H₂S/HCN/NH₃/H₂O/CO₂ 皆會消耗空氣中 O₂，Claus process 理論為：最佳空氣量為經氧化後，製程氣流中 H₂S/SO₂ 濃度比值為 2。所以工業製程廣用尾氣分析儀，測量尾氣中 H₂S/SO₂ 濃度以回饋控制空氣量。

圖 5 為變化空氣量之模擬結果，顯示尾氣中 H₂S/SO₂ 濃度變化敏感，確實適合當作回饋控制變數，中鋼較適範圍為 2~15，由於尾氣回流至 COG 源頭一併淨化，若含 SO₂ 會造成硫回收率降低，不利焦爐氣/廢水水質。

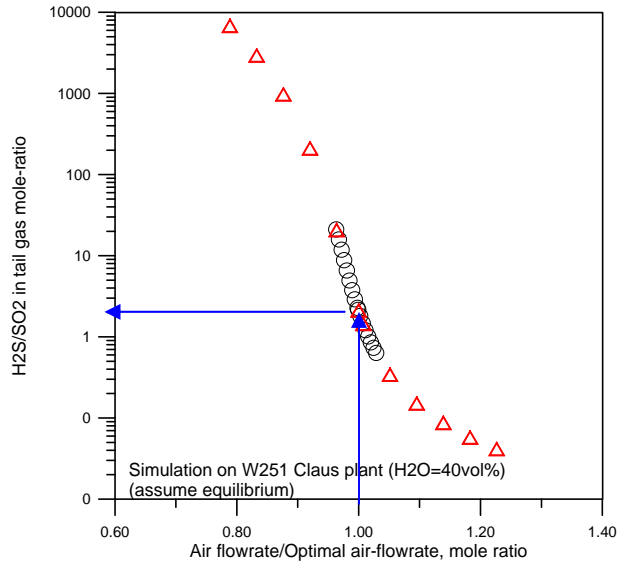


圖 5 變化空氣量對尾氣中 H_2S/SO_2 濃度影響之模擬結果

圖 6 則為變化空氣量對尾氣中 SO_2 濃度影響之模擬結果，顯示空氣量愈高則尾氣中 SO_2 濃度也將增加，由圖 4 之長期線外取樣分析結果顯示，將引發廢水中 $S_2O_3^{2-}$ 濃度升高。

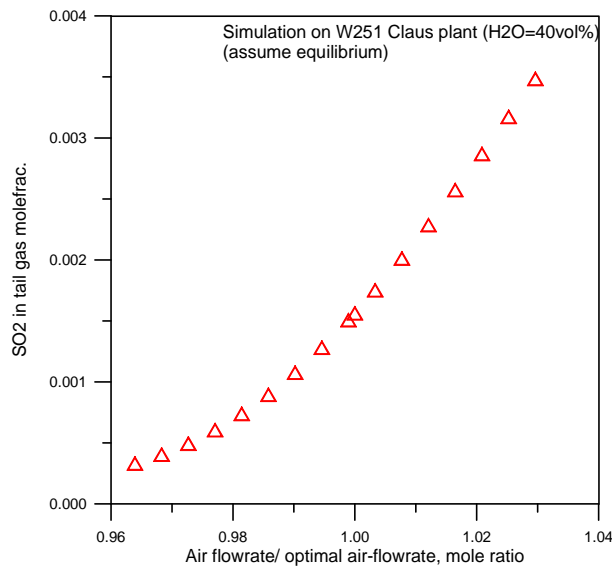


圖 6 變化空氣量對尾氣中 SO_2 濃度影響之模擬結果

另實務上，第一座 Claus reactor 溫差也能當作操作指標，圖 7 之模擬結果也顯示：最適空氣量時第一座 Claus reactor 溫差最大，若溫差降低代表空氣量可能已偏差。

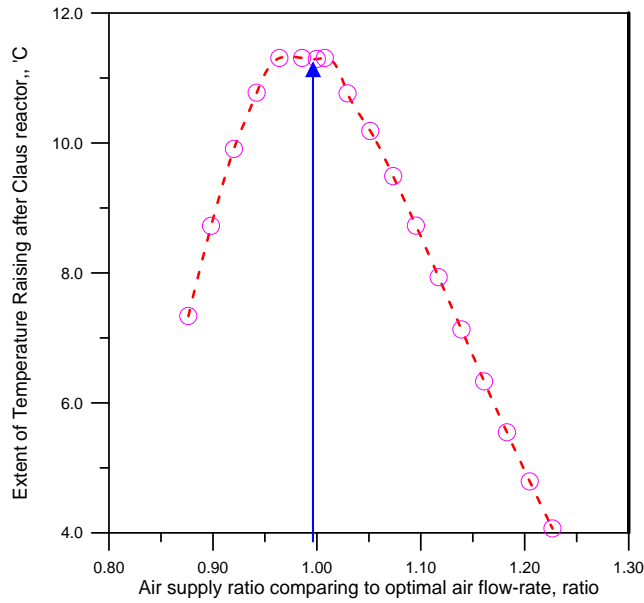


圖 7 變化空氣量對第一座 Claus reactor 溫差影響之模擬結果

工場實績確實證明此推論，圖 8 為工場異常前後第一座 Claus reactor 溫差之現象。

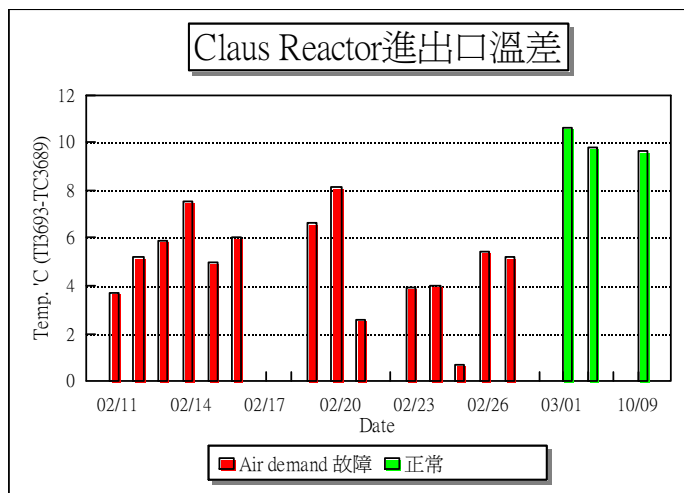


圖 8 工場異常前後第一座 Claus reactor 溫差差距

2. 長期硫磺場運轉數據分析

收集長達一年之硫磺場實際運轉數據，整理硫磺場偏差及不利水質之異常事例，依引發異常的原因予以整理並分類，主要為：

- (1) 尾氣分析儀故障造成空氣量不當。
- (2) 酸氣水分突然變化：引發空氣量不當與第一座硫磺反應器溫差異常變化。

(3)酸氣流量變化頻繁。

檢視異常期間，硫磺場個製程單元及物流所呈現之跡象主要為：

- 尾氣分析儀信號： $H_2S/SO_2 < 2$ 或 $H_2S/SO_2 > 15$ 、 $SO_2 > 0.25 \text{ vol}\%$
- 空氣/酸氣流量比：與平常差異大，主要為超出 1.2~1.6 之範圍。
- 第一座 Claus reactor 之溫差降低。
- 硫磺產率低：但延遲時間長，不易應用於工場即時監控。
- 煉焦廢水水質異常：延遲時間也太長，且對工場威脅大，不易應用於工場即時監控。

五、發展線上即時監診技術

整合應用研究結果，開發硫磺場異常即時線上監診方案，圖面如圖 9，特色為：考慮煤化學工場內物流特性為具腐蝕性與堵塞性，為減低工場偵測信號之量測不準與變異性所引發之負面影響；本案開發之監診系統採用的作法為：①同時診斷多種偵測項目以避免錯失或誤判；②偵測信號取平均值以增加穩定度；③訂定警示項目與警戒值；④自動提示可能原因與建議採行之作法。

硫磺場異常監診系統					
單元	線上分析項目	5分鐘平均值	警示單限	正常否?	可能原因
W251	SO2	0.1189 g/d	> 0.25 g/d		
	H2S/SO2	3.42	< 2 or > 15		
	空氣/酸氣流量比	1.41	< 1.15 or > 1.50		
	△T of R301	9.94 ℃	< 5 ℃		
	酸氣溫度	78.07 ℃	> 85 ℃		
Phase 3	SO2	0.1092 g/d	> 0.25 g/d		
	H2S/SO2	5.82	< 2 or > 15		
	空氣/酸氣流量比	1.43	< 1.15 or > 1.50		
	△T of R301	8.71 ℃	< 5 ℃		
	酸氣溫度	79.77 ℃	> 85 ℃		
Phase 4	SO2	0.1584 g/d	> 0.25 g/d		
	H2S/SO2	4.55	< 2 or > 15		
	空氣/酸氣流量比	1.36	< 1.15 or > 1.50		
	△T of R301	8.22 ℃	< 5 ℃		
	酸氣溫度	74.84 ℃	> 85 ℃		
Phase 4A 煉焦	SO2		> 0.25 g/d		
	H2S/SO2		< 2 or > 15		
	空氣/酸氣流量比		< 1.15 or > 1.50		
	△T of R301		< 5 ℃		
	酸氣溫度		> 85 ℃		

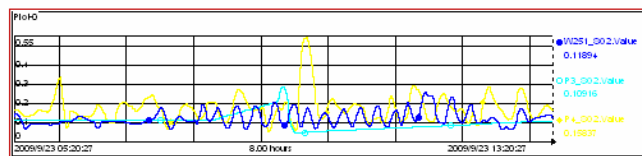


圖 9 硫磺場異常即時線上監診畫面

六、結 論

為避免中鋼排放水水質因煉焦廢水中硫氧化合物竄高所引發異常事件，具體主動方案為於上游之硫磺場建立「硫磺場異常即時線上監診」系統。技術基礎為煉焦廢水水質與硫磺場間之定量關係，以及由硫磺場製程原理與實際工場數據，發展之空氣量適當性線上偵測及對應指引操作方案；判斷硫磺場異常與否之主要依據為：尾氣分析儀數據、空氣/酸氣流量比與第一座 Claus reactor 溫差等。

線上監診方案建構於「製程資訊即時資料庫系統」上，使用很方便；檢視工場運轉實績，已確定能提昇及穩定硫磺場效率與煉焦廢水水質，尤其達成降低煉焦廢水中硫氧化合物濃度。

七、參考文獻

- 1.P. Minak et al. “ Influence of Environmental and Operational Restrictions on the Selection of COG Treatment Processes”, ICSTI/Ironmaking Conference Proceeding,1085-1095(1998).
- 2.沈瑞富，”焦爐氣多成份化學吸收製程模式”，技術與訓練，第 27 卷，第 1 期，第 1~10 頁(2002)。
- 3.A. L.Kohl, and F. C. Riesenfeld, Gas Purification, 4th ed., Gulf Publishing, Houston, TX (1985).
- 4.N. P. Lieberman, Troubleshooting Refinery Process, Chapter 5 : Sulfur Recovery, PennWell Publishing Comp. (1981)
- 5.H. G. Paskall, Capability of the Modified-Claus Process, Western Research, (1979)
- 6.T. Hermonen and J.-L. Ray, S.R.U. Revamp at Neste Oy’s Naantali Refinery to Achieve 98% Recovery, Sulphur 96, (1996)
- 7.Y. M. Chao, I. C. Tseng and J. S. Chang, “Mechanision for sludge acidification in aerobic treatment of coking wastewater”,J.Hazardous Materials,B137 1781-1787(2006)

半導體廠房噪音防制及音源頻譜分析案例探討

賴膺仁*、林俊伯**、王述熙***、鄭安杰****

摘要

工業化迅速發展的現代，為社會大眾帶來便利的生活，也提升了民眾對環境生活品質的重視及安寧舒適環境的期待。在各項環保污染中，以環保署全國陳情案件(空污、水污、噪音、廢棄物環境衛生及其他類)統計分析，噪音陳情案件比例達 28%，僅次於廢棄物環境衛生陳情案件而位居第二名，顯示噪音已成為不可忽視之環保議題。

針對工廠類噪音管制，考量對人體健康及生活品質的影響，環保署訂有噪音管制法及管制標準，但因台灣地狹人稠，都市計畫未盡完善，常見工業區及住宅區混雜之情形，也因如此，如工廠未有良好之噪音防護設備，或因責任區位劃分不清之相鄰區域，將可能直接或間接影響民眾生活。而隨著 97 年工廠低頻噪音管制標準的公告，噪音改善已經不能在著眼於過往全頻噪音防護，對於低頻噪音的研究更是不容忽視。

本文係針對全頻噪音防制，考量現場實際需求，搭配不同改善工法，來達到降低及阻絕音源傳播的目的，另針對低頻噪音部分，利用音源頻譜量測分析廠區週界低頻噪音分布及擴散情形，以實際研究改善案例供與業界切磋參考。

【關鍵字】工業噪音防治、噪音管制標準、噪音頻譜分析

*旺宏電子晶圓一廠風險管理部環保課 Leader

**旺宏電子晶圓一廠廠務部空調課高級工程師

***旺宏電子晶圓一廠廠務部空調課 Leader

**** 旺宏電子晶圓一廠廠務部空調課經理

一、前言

關於噪音管制，最早可推溯至環保署 81 年公告「噪音管制標準」^[1]，標準中依其區域類型劃分為四個管制區，各管制區再依管制時段訂定噪音管制量(如表 1)。

隨著時代的演進及環境品質要求的提升，管制標準於 85 年至 98 年期間共進行五度的修正，而對於工廠而言，又以 95 年修正案中加嚴工廠全頻噪音管制標準(晚間管制標準由 75 dB 降 70 dB，夜間管制標更由 70 dB 降至 65 dB)及工廠低頻噪音納入管制影響最鉅。對許多工業區內工廠事業而言，勢必將需要再投入相關噪音改善工程，才能符合法規之要求。

表 1 噪音管制標準

管制區	81 年公告標準			95 年修正後標準					
	全頻			低頻			全頻		
	日間	早晚	夜間	日間	晚間	夜間	日間	晚間	夜間
第一類、環境亟需安寧之地區	50	45	40	42	42	39	50	45	40
第二類、供住宅使用為主且需要安寧之地區	60	55	50	42	42	39	60	55	50
第三類、以住宅使用為主，但混合商業或工業等使用	70	65	55	47	44	44	70	60	55
第四類、供工業或交通使用為主工業區	80	75	70	47	44	44	80	70	65

單位：dB(A)

二、旺宏公司全頻噪音實例

2.1 改善沿革分析

本公司晶圓一廠(下稱本廠)設立於園區二期研新三路 3 號，為一擁有 19 年的運轉歷史的半導體廠。廠區在民國 79 年設立初期時，該二期區域週界都為綠地退縮帶，僅有高翠路上有少數的住宅(如圖 1)。但隨著經濟的起飛及園區的蓬勃發展，群聚的民宅越來越多，後續的住家幾乎都是沿著園區周界設置。

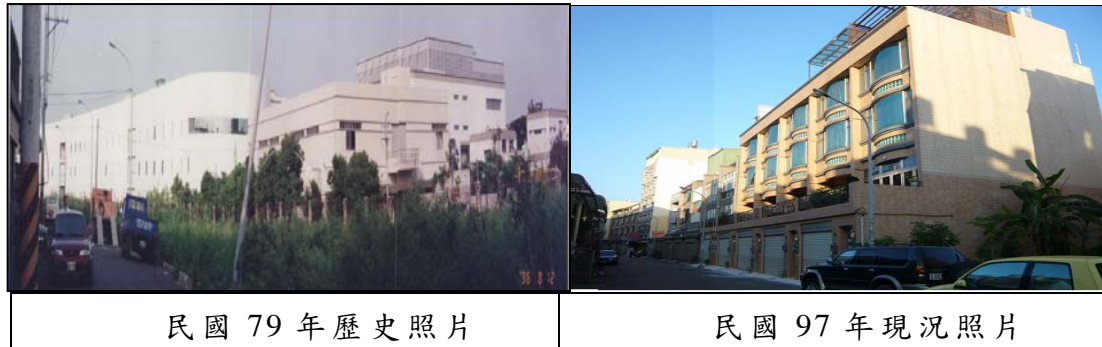


圖 1 園區二期與高翠路交界照片

為避免工廠運轉影響民眾安寧之生活品質及善盡企業社會之環保責任，本廠於 85 年及 91 年分別進行兩次噪音防制工程，改善項目包括戶外冷卻水塔隔音牆、VOCs 設備區加裝室內吸音材及隔音百頁、戶外工程玻璃圍幕等改善工程(如圖 2)，經委託第三合格單位驗證後，皆可達到當年度第四類噪音管制標準。然而噪音具有加乘效果，故即使本廠週界噪音符合法規要求，但與其他工廠之噪音合成傳遞後，仍會對住宅區民眾有相當的影響。



圖 2 廠區歷年噪音防制工程

2.2 96 年改善工程探討及成果

1. 改善目標

因應 95 年工廠噪音管制標準修正，為符合法規要求，本廠於 96 年進行第 3 期噪音改善工程。為達到敦親睦鄰之目的，本次改善工程的目標設定，期望不只是達到第四類管制標準，而是以第三類管制標準為最高目標。本次節錄 VOCs 設備區及變電站工程改善及成果進行說明。

2.改善成效

(1)背景值

因夜間第三類管制標準較為嚴苛(55 dB)，為恐背景值與改善後噪音值過於接近而干擾失真，利用年度歲修期間，協調廠內夜間全廠停機，以量測廠區週遭夜間背景值。背景值量測時間結果顯示背景值約為 56~57 dB，顯示本廠即使無運轉，也有其他噪音來源，另此值與第三類夜間管制標準(55 dB)相當接近，故進行噪音量測時需考量背景音之干擾。

(2)VOCs 設備區

在本次工程改善中，我們採用了阻絕噪音傳播之方式(如圖 3)，在 VOCs 設備外架設一 7.9 米高之鍍鋅板隔音牆，牆內另外填充 PVC 氟化膜及岩綿，利用隔音及吸音兩種效果，使防護發揮功效。



圖 3 VOCs 設備區噪音改善工程

改善後噪音量測結果如圖 4，工程改善後該區運轉噪音可降至 60 dB，顯示隔音牆可有效隔離噪音聲源，減少噪音能量之傳播。在效果上可全時段完全符合第四類管制區標準

在第三類管制區標準的符合度上，該區可完全符合日間時段(AM 07:00~PM 20:00)的標準(70 dB)，而晚夜間時段(PM 20:00~AM 07:00)因背景噪音值達 57 dB，以法規公告之背景修正公式計算，修正值 = $L1(\text{包含背景音量之測定值}) - L2(\text{背景音量}) = 60 - 57 = 3 \text{ dB}$ ，對應其修正值為 3 dB，修正後的噪音為 $60 - 3 = 57 \text{ dB}$ ，可達到第三類晚間(PM 20:00~PM 23:00)管制標準(60 dB)，但無法達到嚴苛的第三類夜間(PM 23:00~AM 07:00)管制標準(55 dB)，顯示尚有努力之空間。

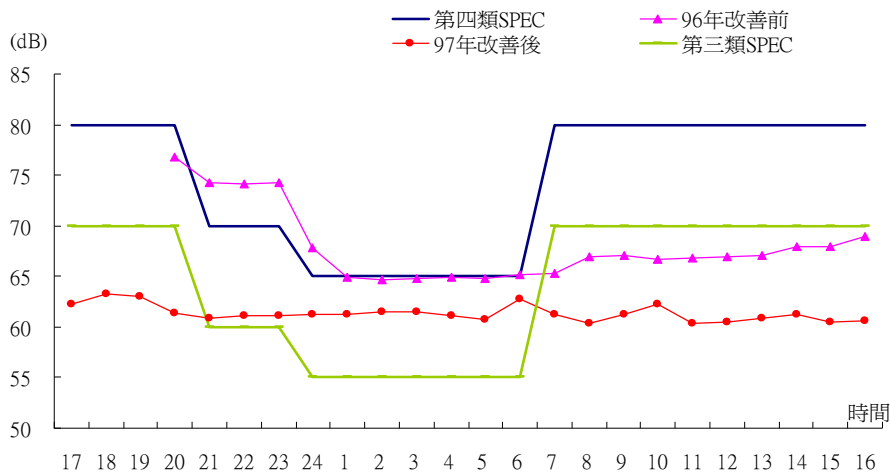


圖 4 VOCs 設備區噪音量測

(3) 變電站

變電站位於興業一路上，距高翠路民宅約 150 公尺，內為置放 69 KV 高壓電器設備，為避免電器設備使用時過熱發燙之情形，該站除於面對馬路處以大面積鐵絲網取代水泥磚牆，另設置 8 具軸流排風扇，以方便其通風散熱。

經討論後，本區域改善將採用兩個步驟，第一步驟為降低高壓電器運轉噪音(如圖 5)，此部份因需考量通風散熱，故捨棄隔音牆而採用消音板形式，板材為鍍鋅沖孔網填充吸音棉，使聲音在傳播時能被吸附，另板材與板材之間留有空氣通道，以達到通風之目的。第二步驟為解決排風扇運轉噪音(如圖 6)，此部份則以低噪音離心式排風系統來取代，將原通風用之軸流風扇則降為備用系統，並將位置移至變電站後方。

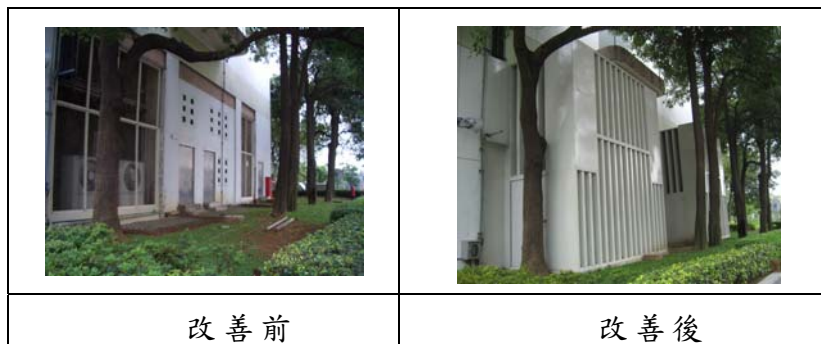


圖 5 變電站改善工程一-降低高壓電器運轉噪音

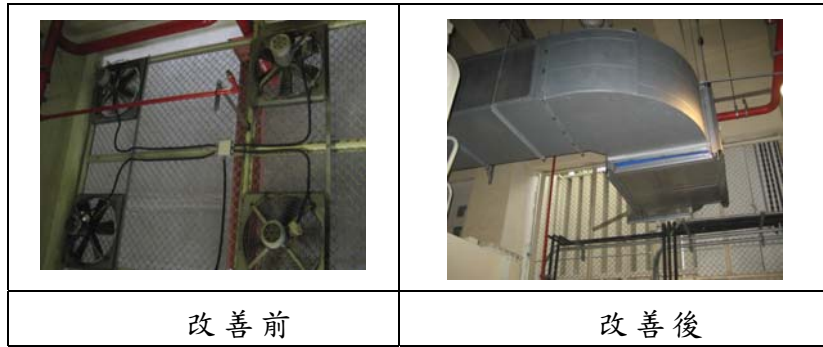


圖 6 變電站改善工程二-降低排風扇運轉噪音

改善後噪音量測結果如圖 7，經由消音設備及新排風系統等工程改善後，該區域全時段運轉噪音值降為 60 dB，工程改善最大降幅達 13 dB，顯示本次工程有效解決此區噪音問題，未來即使夏季夜間開啟風扇運轉，對週遭附近環境影響也不若過去那樣劇烈。

而在全時段噪音值分析，排風系統開啟後噪音為 58~60 dB，可全時段完全符合第四類管制區標準。在第三類管制區標準的符合度上，該區可符合日間時段(AM 07:00~PM 20:00)的標準(70 dB)，而晚間(PM 20:00~PM 23:00)及夜間 (PM 23:00~AM 07:00)兩時段因背景噪音值達 57 dB，以法規公告之背景修正公式計算，修正值 = L_1 (包含背景音量之測定值) - L_2 (背景音量) = 58 dB - 57 dB = 1 dB，對應其修正值為 3 dB，修正後的噪音為 58 - 3 = 55 dB，符合第三類晚間及夜間管制標準(60 dB)，達到當初所設立之改善目標。

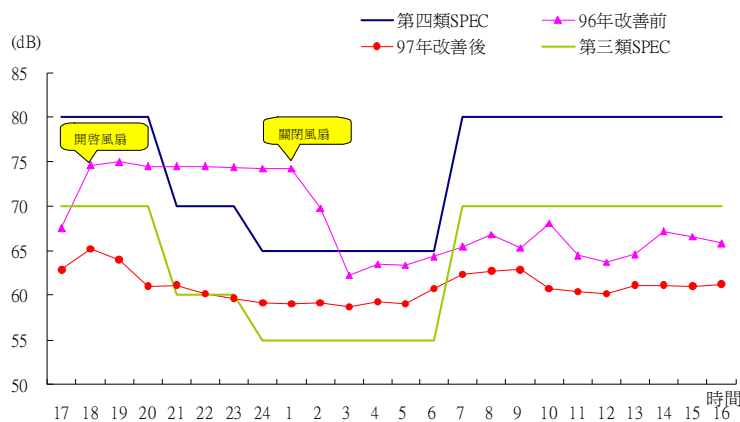


圖 7 變電站噪音量測

三、低頻噪音及頻譜分析研究

1. 低頻噪音管制

工廠低頻噪音管制於 97 年 7 月 1 日開始實施，管制方法為針對不同時段及區域設定單一管制標準，但因低頻噪音具有長距離傳播之特性，且對人體之影響有其主觀性^[2]，故如依照環保署公告之低頻噪音量測方法，在無法找出確切影響之設備或其他干擾因子，常發生整體環境低頻噪音量符合管制標準，但民眾卻仍感覺有不知名之音頻干擾。有鑑於此，利用濾波器將某一特定範圍頻率成分的信號通過，同時遮斷其他頻率成份的訊號，以提高音位準變化分析精度之頻譜分析法，則可有效解決上述問題。

2. 頻譜分析於噪音上應用研究

噪音源常因振動或機械碰撞產生干擾噪音，以致影響主音量之分佈方式，利用頻譜分析可顯示在特定範圍頻率下噪音值之升高降低等變化，再以這變化回推至來源點，探討是否有相同的趨勢，以達到解析傳遞路徑及來源鑑定，除可有效節省尋找噪音源之工作時間，另針對主要發出可疑噪音源之儀器設備進行工程改善，也可以大幅減少不必要之成本支出。

3. 量測結果

(1) 採樣地點

本廠區於 97 年與工研院合作，利用頻譜噪音分析方法，分析廠區週界及附近民宅低頻噪音分布，以了解廠區整體噪音防護計畫之完善性。

此次量測地點是鄰近於民宅處(高翠路 173 巷路段)延伸至本廠外週界，經與工研院討論量測手法後至現場勘查，並模擬佈點量測紀錄，經由比測數據結果，最後選擇出較敏感的 10 個測點作為本次初步實驗取樣點(如圖 8 所示)。

利用頻譜分析手法，針對噪音分佈趨勢分析可能低頻噪音所產生的傳遞路徑，由民宅處規劃路線回推至廠區週界處，分別以噪音敏感處(測點 5,6,7)、路徑 A(測點 7,9,10)、路徑 B(測點 6,8,10)、路徑 C(測點 2,3,4,5)等 4 條路徑做比較，並將頻譜圖中分佈整理成折線圖各別探討。

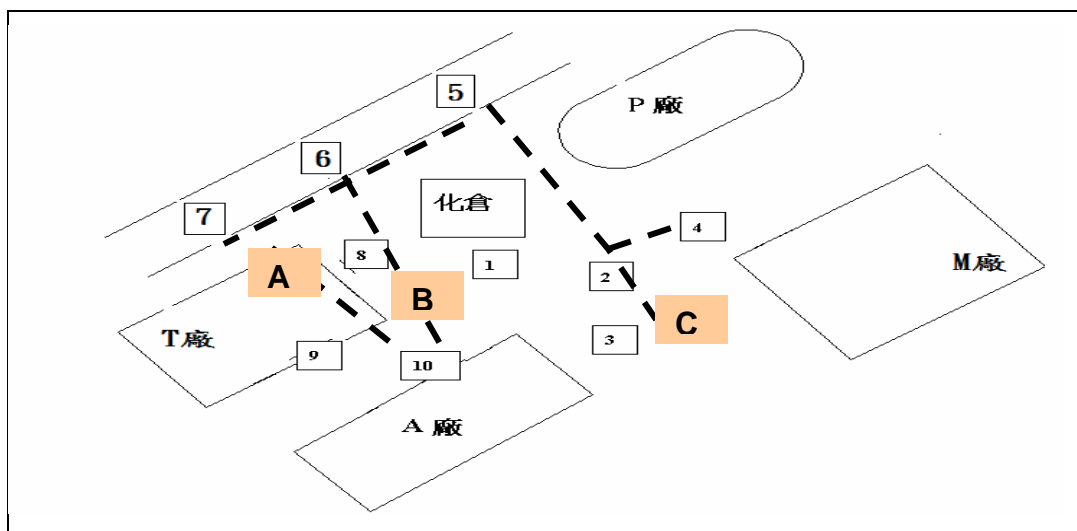


圖 8 廠區各測點示意圖

(2) 噪音敏感處分析(測點 5,6,7)

測點 5,6,7 位於民宅旁，於本次實驗中作為噪音敏感地帶，圖譜分析如圖 9 所示，經由較大音量比較，可發現 30 Hz、353 Hz 及 420 Hz 等 3 個特徵頻率，但此圖譜為無 A 加權，透過 A 加權處理後，30 Hz 噪音值相對小很多，再配合主觀人耳判斷，認定以 353 Hz 及 420 Hz 2 個特徵頻率作為追查噪音傳播之來源。

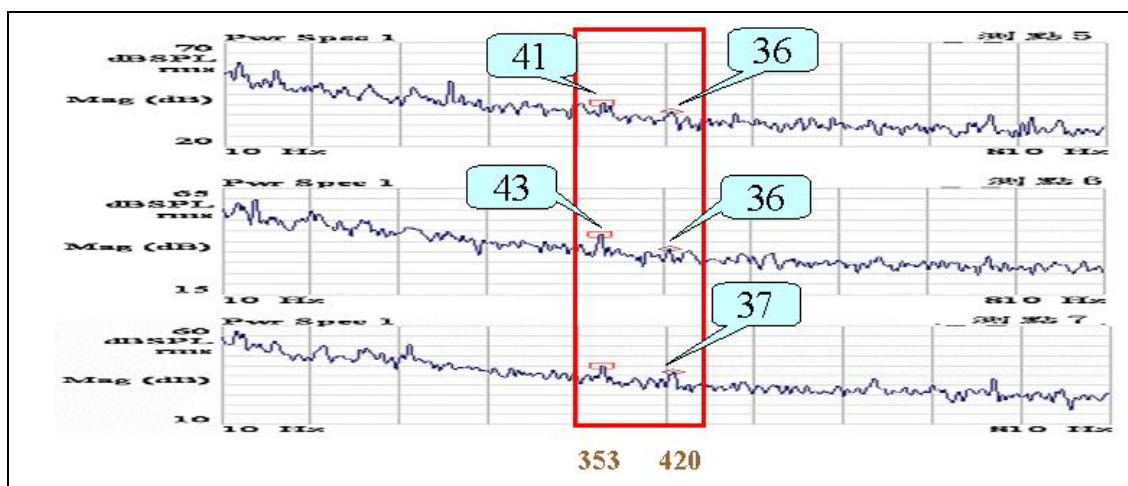


圖 9 噪音敏感處(測點 5,6,7)圖譜分析

(3) 路徑 A 分析(測點 7,9,10)

分析圖譜如圖 10 所示，於此三點中均可發現 420 Hz 此一特徵頻率，其中測點 9 量測值(52 dB)高於測點 10(46 dB)，故屏除測點 10 為

420 Hz 主要貢獻者。另測點 9 位在 T 廠馬路旁，噪音來源可能來自廠內機械設備所產生，故針對 T 廠區再佈測點路徑 A'(測點 16 軸流風車、測點 17 冷卻水塔及測點 18 隔音牆後)量測分析。

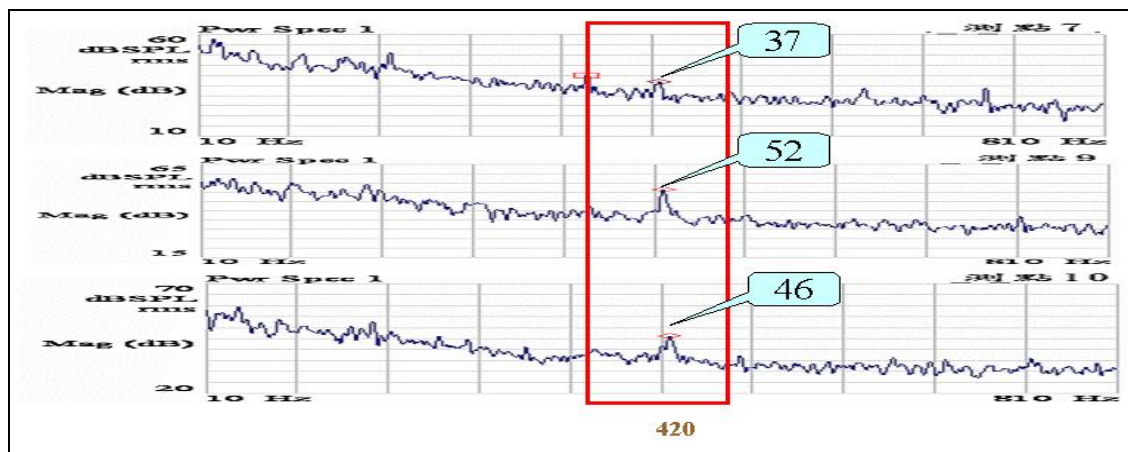


圖 10 路徑 A(測點 7,9,10)圖譜分析

路徑 A'(測點 16,17,18)分布及圖譜分析如圖 11 所示，從分析圖中此三個測皆可發現 420 Hz 此一特徵頻率，其中尤以測點 16(軸流風車)量測值最高，故測點 7 之 420 Hz 來源可能為測點 16 軸流風車運轉時所產生聲源。

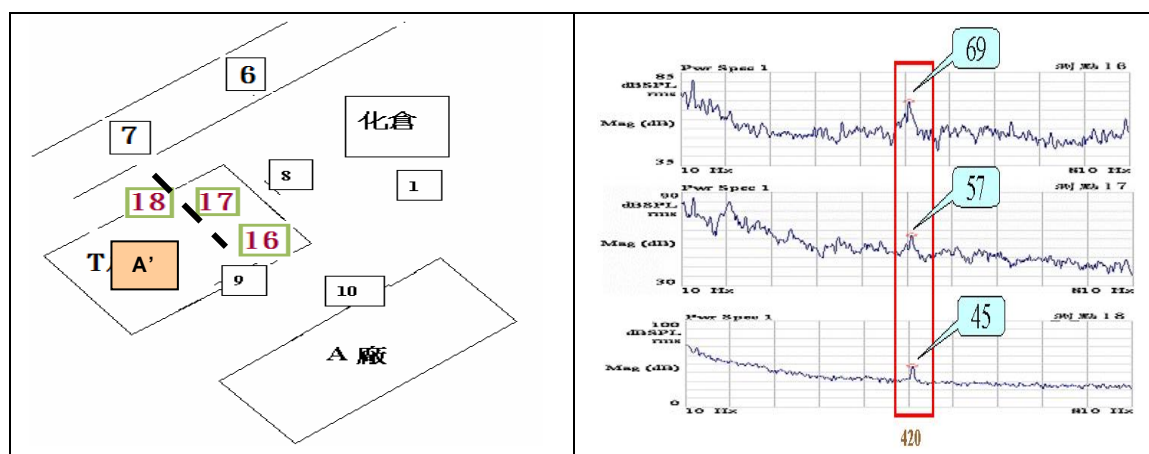


圖 11 路徑 A'(測點 16,17,18)分布及圖譜分析

(4)路徑 B (測點 6,8,10)分析

分析圖譜如圖 12 所示，於測點 6 可發現有 353 Hz 及 420 Hz 兩特徵來源，比對測點 8 及測點 10，測點 10 並無此兩特徵頻率，僅測點 8

量測 353 Hz，故可推斷測點 6 353 Hz 主要聲源貢獻應為測點 8，另因測點 8 位於 T 廠門口，附近並無機械設備，故推測其聲源應可能為本廠週邊，故重新規劃量測路徑 B'(測點 8,15,16)。

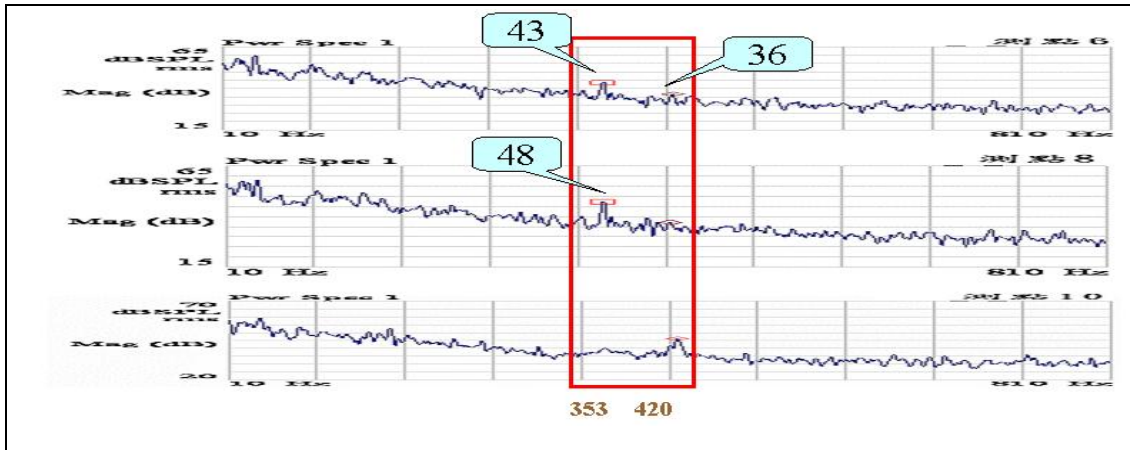


圖 12 路徑 B(測點 6,8,10)圖譜分析

路徑 B'(測點 8,15,16)圖譜分析如圖 13 所示，從結果中顯示於測點 15 (M 廠區廢水泵站)之 353 Hz 音源為 56 dB，測點 16 (T 廠軸流風車)之 420 Hz 音源為 69 dB，故判斷測點 6 之 353 Hz 來源可能為測點 15，而測點 6 之 420 Hz 來源則可能為測點 16。

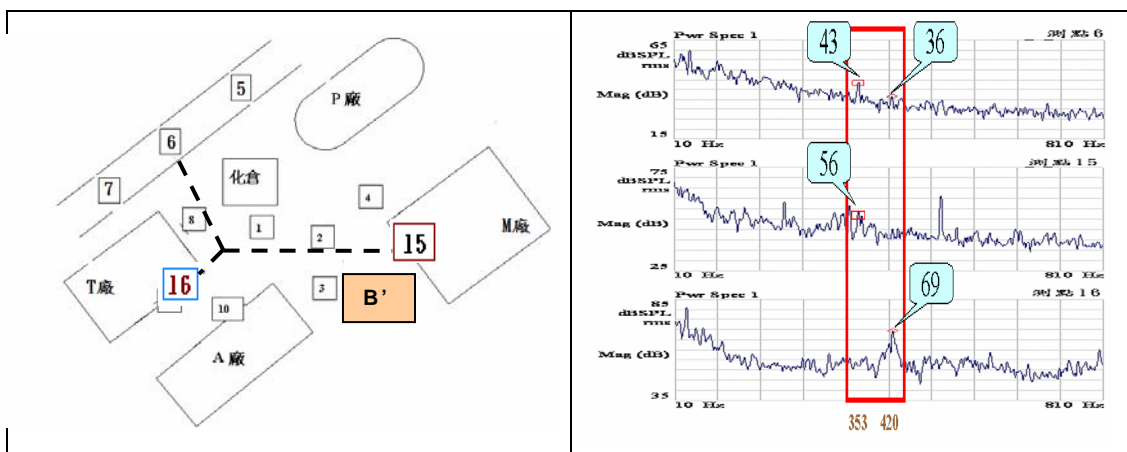


圖 13 路徑 B'(測點 6,15,16)圖譜分析

(5)路徑 C(測點 5,2,3,4)分析

分析圖譜如圖 14 所示，路徑 C 中測點 2,3,4 均可發現 353 Hz 及 420 Hz 兩特徵頻率，若以音值表現作為音源推斷，則測點 5 之 353 Hz

及 420 Hz 來源應可能為測點 3，但由於此測點位置鄰近交通處本身未有產音設備，所以非真實噪音源，故修正量測方向並將可疑測點(測點 5,13,15,16)歸納比較，結果如圖 15 所示，比對各特徵頻率再依音量表現大小，結果顯示測點 3 及測點 5 在 353 Hz 中均受到測點 15 (M 廠廢水泵站)所影響。此外，由頻譜分佈顯示在測點 5,6,7 在 420Hz 中是受到測點 16(T 廠軸流風車)方向所傳遞。

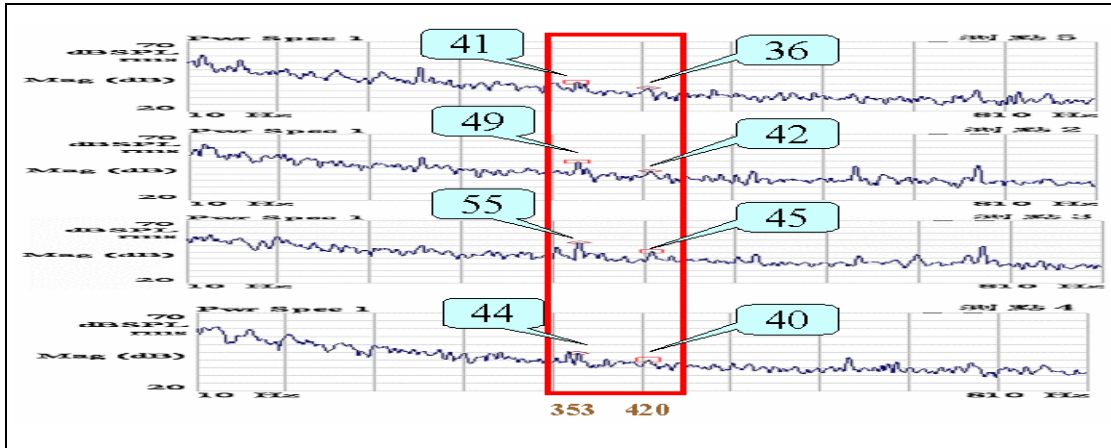


圖 14 路徑 C(測點 5,2,3,4)圖譜分析

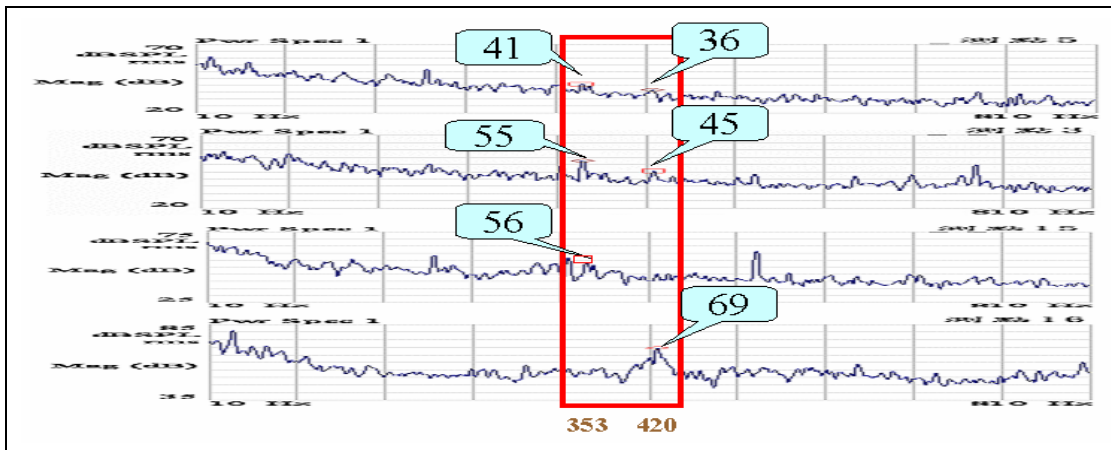


圖 15 測點 5,13,15,16 圖譜分析

4.初步結果探討

(1)利用特徵頻率分布趨勢找出音源傳遞路徑

針對鄰近民宅處之噪音敏感處(測點 5,6,7)使用頻譜量測分析手法，由規劃路徑 A、B 及 C 上找尋特徵頻率 353 Hz 及 420 Hz，經追查分布趨勢，特徵頻率 353 Hz 主要貢獻來源為 M 廠廢水泵浦區運轉之聲響，特徵頻率 420 Hz 為受到 T 廠區運轉設備冷卻水塔及軸流風車，綜

合其分析結果表現出聲音傳遞具有繞射之特性^[3]，也可證實利用特徵頻率分布趨勢可判斷出音源傳遞路徑及來源方向。

(2)不同機械設備運轉皆有不同噪音頻率產生

針對廠區內機械元件冷卻水塔、軸流風車、泵浦設備做頻譜分析，根據分佈趨勢可得知在 420 Hz 及 353 Hz 中均有較高音量，這也符合在不同設備下會有不同噪音頻率產生。

四、結 論

1.建廠階段導入噪音防制可精簡人力及物力

如在建廠階段即導入聲學管控設計，可達到最好的噪音防制效能，其成本支出也可較節省。如已為既有設備及建築，將需逐一分析噪音來源，並依序挑選適合之噪音改善方法。

2.噪音改善工程的選擇

眾多噪音改善工程中，以「直接降低聲源音量」(減音)為最直接有效之方式，另可再搭配遮斷(隔音牆)及吸附(包覆吸音材料)等輔助方式，可達到事半功倍之有效防制效果。

以本廠改善之經驗，針對高音能之設備(如泵浦、鼓風機、馬達、壓縮機)，推動嚴格之設備音量採購規範，設備需挑選符合音量標準或較小聲響之設備，另針對高頻噪音及震動之管線閥件，則予以防音包覆或是工程改善，使音量能源之散播能降到最低，設備外圍再以隔音牆及吸音棉來遮斷噪音源之傳播。

3.利用特徵頻率分布趨勢找出音源傳遞路徑

藉由頻譜分析手法，可以解析噪音頻率，利用特徵頻率分佈趨勢解析傳遞路徑及可疑設備，此手法不但具有來源鑑定的功能，對實際改善效果及成本考量上皆會有相當大的助益。

4.以符合法規及敦親睦鄰為考量的噪音改善思維

噪音具有合成加乘效果，針對工業區與住宅區混雜之區域，工廠事業如要進行噪音工程改善，除了符合法規之要求，更應該導入民眾觀感之考量，始可減少環保紛爭，進而為環境及生活品質善盡一份心力。

五、參考文獻

- 1.環保署「噪音管制標準」(2008)。
- 2.林銘駿「環境中低頻噪音之量測及管制策略研究」，國立中央大學，碩士論文 2008。
- 3.蘇德勝編著，陳秀卿、張添晉、蔡朋枝合編「噪音原理及控制」，臺隆書店出版第四版 1995。

竹板材製備及其環境性能之研究

楊叢印*、黃進修*、許順珠*、莊鈺賢**

摘要

竹材為台灣本土植物，乃近年來綠色產品設計及綠色建築材料之重要原料，本研究嘗試以竹纖維及竹絲為原料，產製輕質竹板材供建築裝潢使用。竹子為短期生之植物，取得容易且竹纖維為纖維強度相當大之生態纖維，相當適合發展性能優越之建材，竹材經過自行設計開發之解纖設備解纖，該設備有別於傳統較不環保之化學解纖方式，採用機械式解纖，藉由條件控制可產製不同規格之竹纖維，解纖時間短且纖維取得率高，為一高效率解纖設備，解纖完之樣品供後續製備輕質竹板材使用，利用竹纖維開發之板材為竹纖膠合板及竹纖水泥板。另外，竹材經刨絲機刨成長度 30~40 cm、寬度 0.2~0.4 cm 之竹絲，以製備具天然紋路之竹絲水泥板。

本研究開發之竹纖膠合板、竹纖水泥板及竹絲水泥板具有質輕及調濕等性能，板材抗彎強度可達 50 kgf/cm^2 以上，且竹絲水泥板容積比重可達 0.9 以下，此外，利用仿 ISO 24353 和 JIS A 1470-1 的方法，自行建立建材之調濕性能測試設備，以檢測本研究開發之各種竹板材，經檢驗證實具優越環境調濕之能力，可應用於室內建築裝潢使用，預估未來此類板材之用途可謂相當廣泛。

【關鍵字】竹材、板材、環境調濕性能

*工業技術研究院能環所 研究員

**工業技術研究院能環所 副研究員

一、前言

生態材料是自然界中無虞匱乏，容易取得的資源，在其使用生命週期中，可以降低對資源之依賴、減少資源消耗、無需開發新種資源之使用，加上能源消耗減少，因此逐漸受到重視。從植物中取得生態材料加以利用，並將其轉化成新型態的工業產品，已成為重要趨勢，生態纖維為其中相當重要的項目之一。天然植物纖維過去一直被使用於造紙，在紡織相關工業上應用十分廣泛，早期如棉、麻...等，近年來亦開發了多項商品應用，包括玉米纖維、竹纖維、牛奶纖維...等新纖維的應用。營造、建築、裝潢也多需要大量之纖維，國內應用於建築方面之纖維需求超過 20 萬噸/年，主要以木纖維為主。但如今因原木砍伐以及全球溫室效應氣體減量壓力與時俱增，若將這些植物纖維的需求，轉以國內豐富的植物(竹、稻...)纖維作取代，將可創造更高之效益。

台灣地區位屬熱帶與亞熱帶之海島型氣候，生活環境高溫多濕，依據中央氣象局的統計資料顯示，平均濕度約為 77%~89%之間，而最舒適的環境為溼度 60%~70%，因此對環境舒適度及人體健康產生不良的影響，若能有效調節溼度，將可帶給人民舒適健康的生活環境，而現在住家多使用不易調濕的建築材料，因此，本研究研發由天然生態材料產製之建築板材，期望其具備良好之環境調濕能力。

二、生態纖維製取

全世界竹的種類約有 1,200 多種，主要分布在亞洲的熱帶區域，尤以東南亞季風區域分布最廣，溫帶的歐美國家極少。台灣竹的種類約有 170 餘種，而常見的竹子有孟宗竹、桂竹、長枝竹、麻竹、刺竹、綠竹等六種。竹類屬禾木科是多年生常綠植物，台灣竹林分布面積甚廣，而目前國內竹產業的發展多以竹炭為重點，其他應用甚少，通常生長 3~5 年的竹子即適合用來取得生態纖維使用，本研究嘗試使用纖維性質頗佳之孟宗竹及桂竹二類作為生態纖維取得之原料，利用本研究自行研發之機械式解纖機將竹纖維在快速中完成解纖，該解纖機目前申請專利中(中華民國及中國大陸等)，由於世界上取得植物纖維的工業製程，幾乎全部採用化學方式，將植物以化學藥劑(酸/鹼)蒸煮之方式取得纖維，時間較冗長且植物纖維利用率在 50~60%，效率不高，過程中尚使用化學藥劑會衍生大量污染物，使得原本屬於“生態材料”的植物纖維變的不太環保，相對而言，本研究之非

化學解纖方式具備快速且符合綠色化學技術要求。

竹纖維若使用於紡織業，必須仔細剔除木質素、竹粉...等物質，篩選出純的竹纖維使用，相對而言，本研究將竹纖維使用於生態纖維板材之應用，對於其中的木質素、雜質等並不需要去除，但解纖均勻度的要求仍然需要，本研究之相關生態纖維技術開發如圖 1 所示，本年度以開發生態纖維板材為主，重點在解纖、材料混拌及板材壓製成型技術，解纖採機械解纖方式，板材試做採用膠結劑(無甲醛澱粉膠)熱壓或水泥冷壓成型方式，符合綠色化學技術(解纖、製板)及節能生產目標(製板)。而解纖之詳細程序如圖 2 所示，取適當竹齡(3~5 年)之竹材(孟宗及桂竹)，經裁切成 5 公分左右之竹片及 30~40 公分之竹條，如圖 3 所示，竹片浸泡使竹材軟化後再以解纖機進行解纖，解完後烘乾並以梳纖機(見圖 4)進行梳纖以取得分散均勻之竹纖維樣品(見圖 5)供後續使用，竹絲則委託中菱建材公司以刨絲機刨成如圖 5 之竹絲。

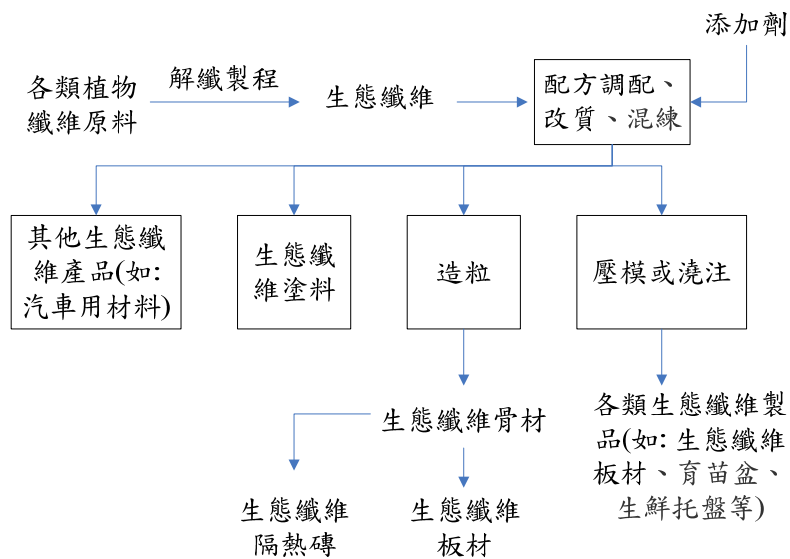


圖 1 生態纖維技術開發系統

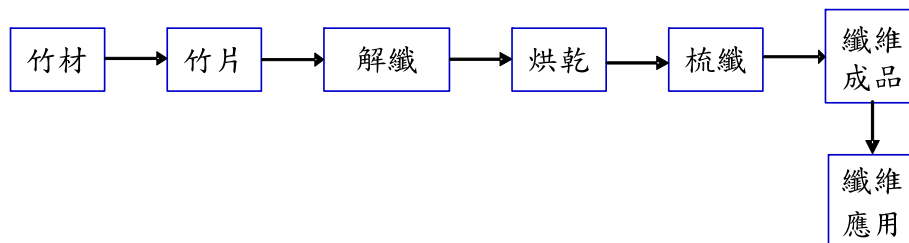


圖 2 竹纖維產製流程



竹片

竹條

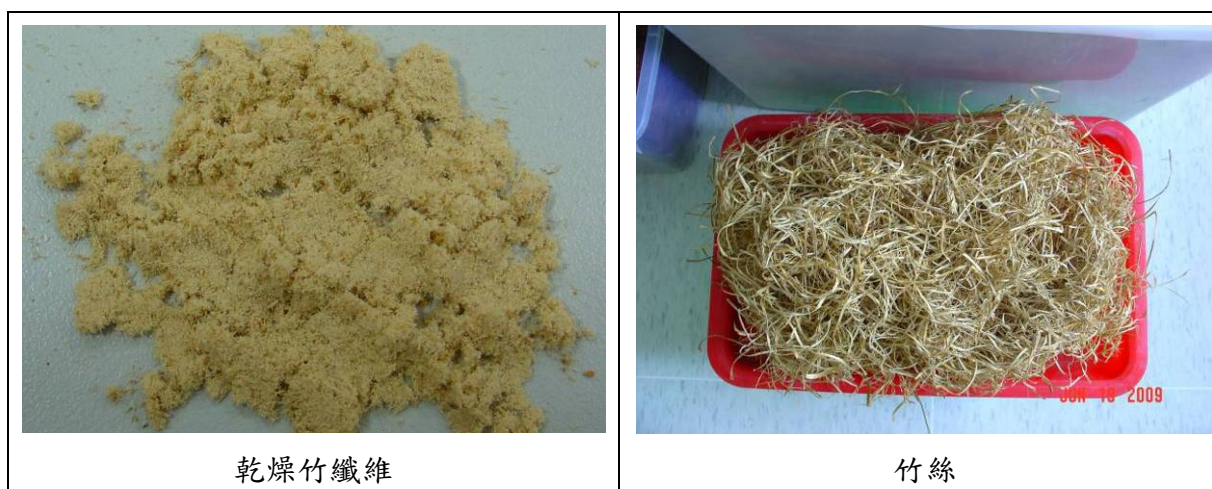
圖 3 裁切成一定大小之竹條及竹片



未梳纖之纖維

梳纖機

圖 4 未梳纖之纖維及梳纖機



乾燥竹纖維

竹絲

圖 5 解纖或刨絲之纖維樣品

取得之纖維分析其特性如表 1 所示，游離度介於 28~36 sec 之間，游離度可以藉此表示纖維在抄網上的脫水程度，影響此數值大小的主要因子包括纖維種類、性質、梳纖程度或狀態等，對於纖維應用(如纖維板材等)為一指標，本研究桂竹之游離度略大於孟宗竹，對於未來應用，交織程度越高者，成品的機械強度(例如：抗彎、抗壓...等)可能會越強。纖維材料的吸濕性通常用回潮率來表示，纖維回潮率通常有一定的數值，隨纖維種類而異，本研究使用之二種竹材回潮率介於 5.7~6.7 %之間，屬常見纖維的回潮率數值中間左右；相對密度二者差異不大，介於 1.35~1.46 g/cm³之間，屬輕質特性；纖維長度與纖維細度方面，由電子顯微鏡底下丈量結果，長度介於 0.7~1.6 mm 之間，細度介於 11.3~22.6 μm 之間，受解纖程度、竹材特性影響，長度差異可能會頗大。國際木材解剖家學會將纖維按長度分為 3 類：小於 0.9 mm 的纖維屬於短纖維，長度在 0.90~1.60 mm 的纖維屬於中纖維，長度大於 1.60 mm 的為長纖維。郝培應等人研究大陸湖北地區 10 種竹材的纖維長為 1.98~2.89 mm，寬為 15.30~21.48 μm。

纖維在電子顯微鏡觀察結果如圖 6 所示，可知纖維斷面為圓柱狀，有別於針葉樹纖維之平板狀，纖維多為彎曲且表面雜質附著狀況，NaOH 可以去除此雜質，少部分纖維仍沒有完全解開，而纖維表面沒有因為解纖之機械外力而破壞，顯見機械解纖較化學解纖能維持纖維完整性。

在解纖成本估算方面，本研究解纖馬達為 7.5 hp*0.75(效率)=5.6 kw，以解纖時間為 6 min，消耗 0.56 kwhr，1 度電以 2 元計算，操作壓力為 8 kgf/cm²=7.7 atm，解纖室尺寸為 33L，操作溫度為 160℃，依 PV=nRT，所需水蒸氣為 0.13kg，經查 1L 柴油可產生 1.1kg 水蒸氣估算，柴油價格以 27 元/L 計算，批次獲得纖維量為 400~500 g，則操作成本為 8.6~10.8 元/kg bamboo fiber。

表 1 竹纖維特性檢測結果

竹種	游離度範圍 (sec)	游離度 平均值(sec)	回潮率 (%)	相對密度 (g/cm ³)	纖維長度 (mm)	纖維細度 (μm)
桂竹	35.43~35.87	35.64	6.67	1.35	0.7~1.4	11.3~13.6
孟宗竹	28.35~28.56	28.46	5.69	1.46	0.9~1.6	12.5~22.6

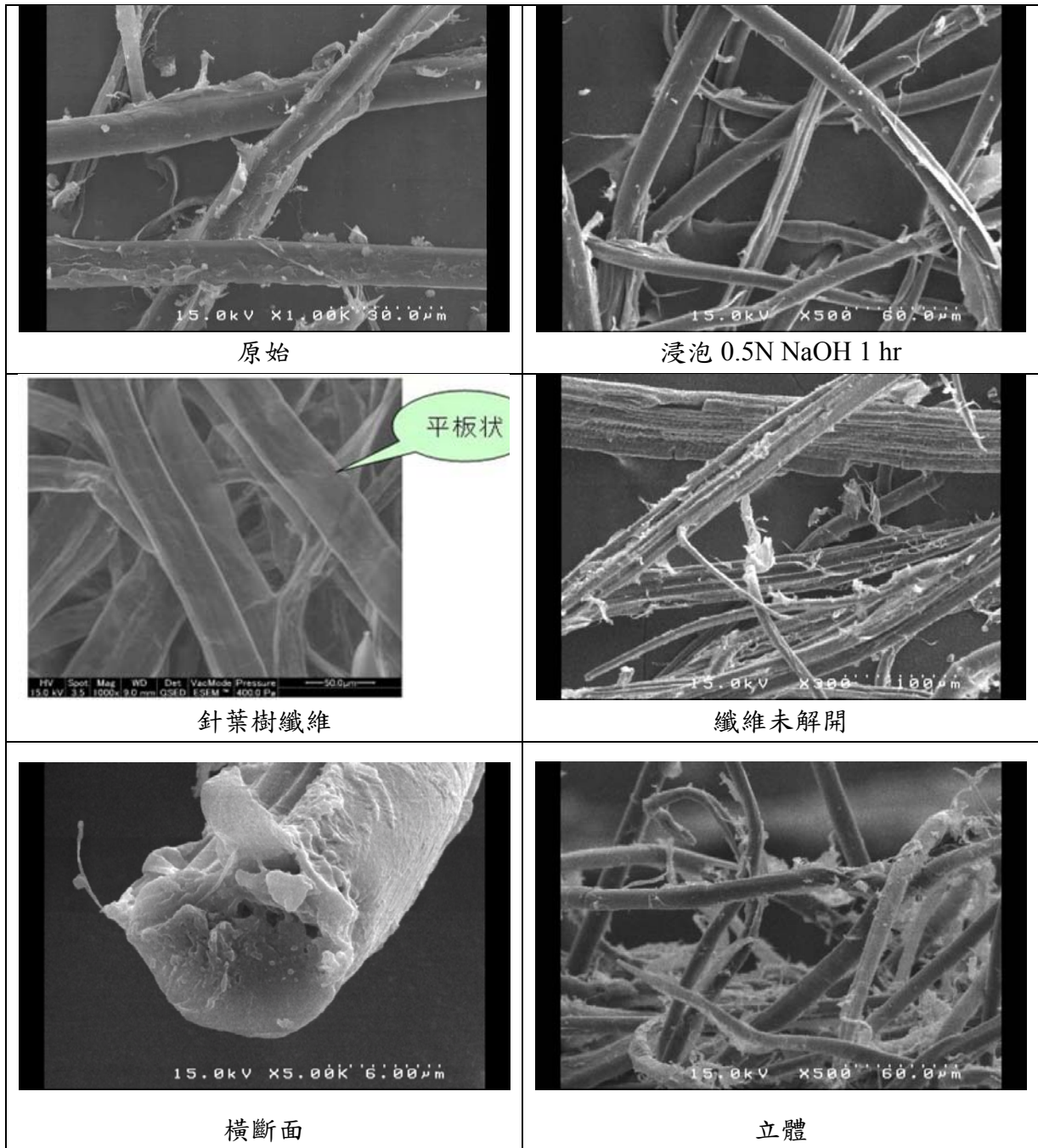


圖 6 電子顯微鏡底下之纖維狀況

三、竹纖及竹絲板材試作

竹纖膠合板為竹纖維經過風乾、篩除異物等處理，約取 0.5~2 公分之竹纖維為主要原料，在混練機中添加工研院開發之無甲醛環保澱粉膠膠結劑，經過充分混拌後，經過鋪裝與熱壓塑合成型，條件之一為膠料比 1:4，熱壓設定 160°C，最高加壓 50kg/cm²，維持約 30kg/cm²，持續 3~4 分

鐘。竹纖水泥板主要參考 CNS 3802 製作，竹纖水泥板的製作原料主要包括：有機纖維(竹纖維)、無機質混合材料(矽砂、高嶺土)及水泥，擬定配比為竹纖維：矽砂：水泥：高嶺土=10%：50%：35%：5%。外加 30%水份調配，壓製條件為：最高加壓至 60kg/cm^2 ，維持約 40kg/cm^2 ，持續約 2 分鐘。竹絲水泥板製作過程為竹材經由切條，利用竹絲機製成長約 40cm 寬約 0.4cm 厚約 0.1mm 之竹絲，進行改質，再將竹絲浸水潤濕，加入水泥調配，置於模具，採用冷壓機至少 25kg/cm^2 成型，常溫下養生。各種板材之製作成品如圖 7 所示。

竹纖維板材抗彎強度及容積密度檢測結果如表 2 所示，竹纖膠合板特色為不含甲醛及無缺損、龜裂、剝離情形，實際使用上可像粒片板一樣貼皮處理，但抗彎強度宜再增強，可朝混拌情形改善及調整膠料比等操作條件來提升性能。竹纖水泥板抗彎強度可達 50kgf/cm^2 以上，符合 CNS 3802 基本要求。竹絲水泥板容積密度達 0.6g/cm^3 ，具輕質板材功能。本研究各種板材擬具環境調濕能力，因此，進行國內第一套建材調濕設備建置及測試，成果如后。

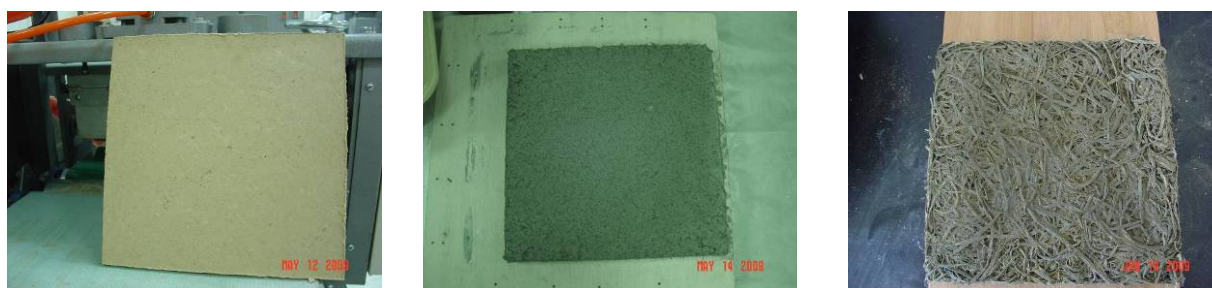


圖 7 竹纖維板材(由左至右分別為竹纖膠合板、竹纖水泥板、竹絲水泥板)

表 2 竹纖維板材抗彎強度及容積密度

產品	抗彎強度 kgf/cm^2	容積密度 (g/cm^3)
竹纖膠合板	36.0	0.7
竹纖水泥板-1	40.3	1.5
竹纖水泥板-2	52.6	1.6
竹纖水泥板-3	84.0	1.5
竹絲水泥板-1	19.8	0.6
竹絲水泥板-2	26.7	0.8
竹絲水泥板-3	63.3	0.8

註：抗彎強度及容積密度係依照 CNS 13777 規定測得。

四、板材調濕性能測試

調濕建材是一種利用調濕材料對水蒸氣的自動吸放作用調節室內空氣濕度的建築材料，主要成分是調濕材料、膠結料等，調濕建材對水蒸氣的吸收與釋放取決於其表面的水蒸氣分壓力及周圍環境空氣的水蒸氣分壓力。只要將調濕建材應用於高溫多濕或低溫乾燥環境等，它便能自動調節室內濕度，調濕過程連續且無能耗。對於一些夏季要求除濕，冬季要求加濕的房間，傳統的空調濕處理方式是在除濕階段將室內餘濕排出；而在加濕階段，再向室內補充所需的濕量。事實上，對於那些全年需除濕量與加濕量相當的空間，如果空間內部能把除濕階段的餘濕儲存起來，到需要加濕時再釋放出去，那麼該空間將不需要其他的除濕、加濕設備，調濕建築材料能發揮這種功能性吸放濕的作用。

本研究之建材調濕設備建置如圖 8 所示，檢測係準備長寬大小 250 x 250 x 25(mm)之樣品，以鋁箔或其他類似材質進行隔濕，將恆溫恆濕機內部溫度設定為適當溫度，本次研究測定設為 $23 \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ ，保持恆溫恆濕機內部的相對溼度於所選擇之第一階段相對溼度值的 $\pm 1\%$ 以內(如 $75 \pm 1\%$)，將上述處理後之測試樣品放進試驗裝置中，選擇吸放濕試驗之濕度領域，並將槽內相對濕度維持在第一階段設定的濕度條件 12 小時，開始進行時天平的質量定為 0 g，每隔 10 分鐘測量樣品的質量；量測 12 小時結束後的質量(m_a)，調整溼度，儘速將槽內的相對溼度改為第二階段的溼度條件(如 $50 \pm 1\%$)，並維持 12 小時，每隔 10 分鐘測量樣品的質量；量測結束後的樣品質量(m_d)。吸濕量($\rho_{A,a}$)及放濕量($\rho_{A,d}$)之計算如下：

$$\rho_{A,a} = \frac{m_a - m_0}{A} \quad \rho_{A,d} = \frac{m_a - m_d}{A}$$

其中， m_a =吸濕程序結束時之樣品重量

m_0 =樣品進行吸放濕試驗前之前處理恆重

m_d =放濕程序結束時之樣品重

A =吸放濕面之表面積

調濕性能檢測亦可進行多循環檢測(如四循環)，以檢驗調濕建材之調濕耐受度(建材呼吸能力)，本研究僅檢測竹絲水泥板的單一循環吸濕量為 $85.3\text{g}/\text{cm}^2$ 、放濕量為 $55.3\text{g}/\text{m}^2$ ，吸放濕曲線圖如圖 9 所示，另外，為比較其他產品之調濕性能，經檢測某公司之市售高性能矽酸鈣板，發現其吸濕

量為 $25.6\text{g}/\text{cm}^2$ 、放濕量為 $11.8\text{g}/\text{m}^2$ ；而本研究團隊另一研發產品(無機聚合發泡板材)，其吸濕量為 $51.7\text{g}/\text{cm}^2$ ，放濕量為 $49.4\text{g}/\text{m}^2$ ；中華民國專利(425380)描述其調濕建材之吸放濕性能為 $80\text{g}/\text{m}^2$ 。顯示本研究之竹絲水泥板調濕性能與上述專利相當，而優於無機聚合發泡板材及市售高性能矽酸鈣板。

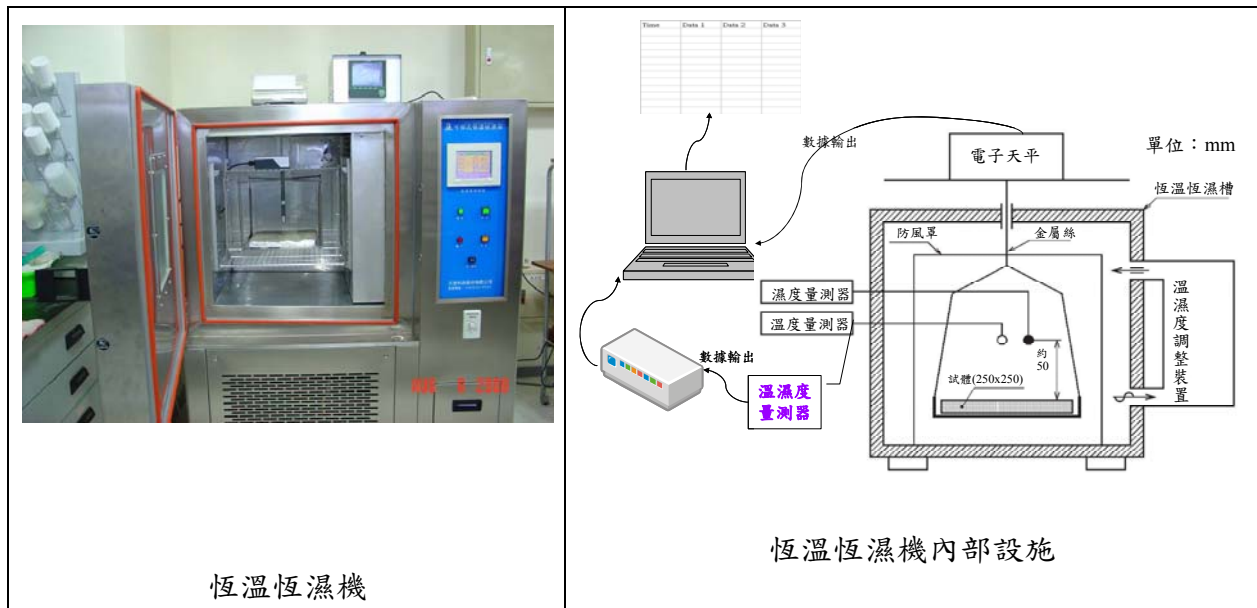


圖 8 建材調濕設備

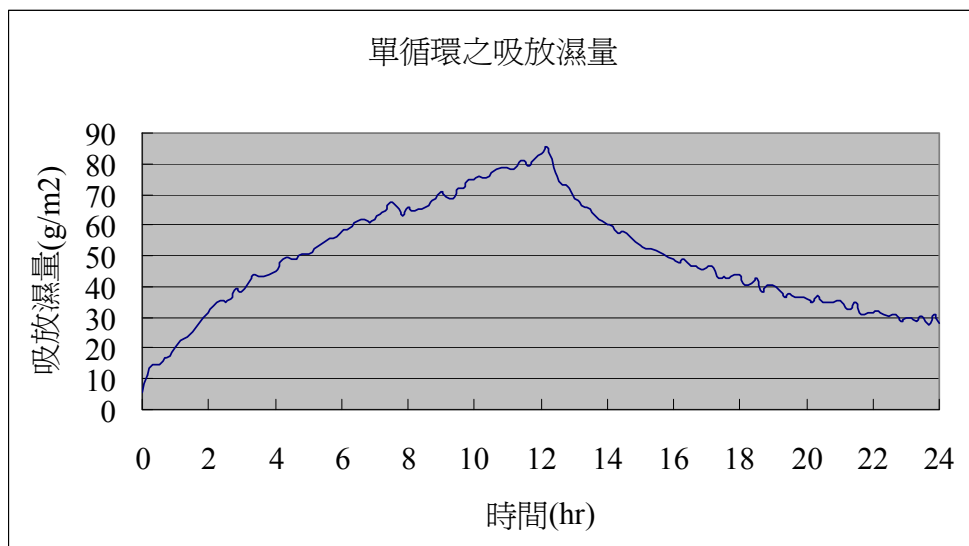


圖 9 竹絲水泥板之吸放濕試驗結果

五、結 論

本研究跳脫傳統解纖方式，成功採用機械解纖方法，大大減少纖維被破壞之機會，解完纖之纖維製造成竹纖維或竹絲板材亦不多見，初步證實可產製優質之生態纖維板材，其具備良好之抗彎性能、竹絲水泥板具輕質板材特性及環境調濕能力。整體而言，除建立高效率解纖方式及後續纖維應用外，將開啟國內生態纖維應用之廣度，帶動國內生態纖維工業發展，促成生態纖維相關產品製造。

六、參考文獻

- 1.黃耀富、藍浩繁，中密度纖維板之研製(一)：相思樹、木油桐為原料之纖維板製造，林產工業，9(4)，23-36，1990。
- 2.劉玉雯，輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第一年)，內政部建研所委託研究報告，2006。
- 3.劉玉雯，輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)，內政部建研所委託研究報告，2007。
- 4.竹纖維的探討和研究，<http://www.bmlink.com/news/message/64582.html>。
- 5.張蔚、李文彬、姚文斌，天然長竹纖維的分離機理及其製備方法初探，北京林業大學學報，29(4)，63-66，2007。
- 6.竹原纖維的性能及產品開發，<http://php.weaving.org.tw/fashionstatistic/datafile/940301-03.doc>。
- 7.陳宇俊，竹子的介紹，www2.wres.tpc.edu.tw/information/609.ppt。
- 8.李吉祥 蔡金英 鄭旭軒 許順珠 楊奉儒，綠色化學技術於工研院研發現況，<http://gc.chem.sinica.edu.tw/file/ITRI9610.pdf>，2007。
- 9.郝培應、徐有明、陸才瑞、劉紀紅、劉金英，湖北主要竹種纖維形態與造紙適用性評價，中國林學會木材科學學會第九次學術研討會論文集，2003。

議程四

1. 建構高暖化潛勢溫室氣體SF₆排放減量技術

鄭如琇、呂慶慧、洪子欣、吳易儒

2. 光電業有機酸及無機酸共排淨化效能提升技術

張豐堂、粘愷峻、王秉才、吳珮如

建構高暖化潛勢溫室氣體 SF₆ 排放減量技術

鄭如琇*、呂慶慧**、洪子欣***、吳易儒****

摘 要

SF₆ 在自然狀態下為無嗅、無味、無毒害、無侵蝕、不易燃且化學不活潑之氣體。其物理特性為比空氣重許多，在相同條件下其密度約為空氣的 5 倍，且為極佳的絕緣體，故被廣泛用在電力事業與 TFT-LCD 產業。然因 SF₆ 之溫暖化潛勢(Global Warming Potential)位居所有溫室氣體最高，達 CO₂ 的 22,800 倍(根據 2007 IPCC 第四次評估報告)，而其殘存於大氣中之生命週期估計可達 3,200 年，故 SF₆ 已被聯合國氣候變化綱要公約列為管制的溫室氣體。許多國家的電力業者，皆已開始進行清查及減量工作。另在 TFT-LCD 產業中含氟氣體之直接溫室氣體排放量約佔總排放量的 30%，歷年主要使用的含氟溫室氣體約有 80% 之 SF₆ 用於蝕刻，20% 用於 CVD 製程，故如何建構相關 SF₆ 減量技術與管理排放，為我國產業溫室氣體減量的重要工作。

本文為介紹工研院歷年協助環保署進行高科技產業溫室氣體減量排放之推動成果，並介紹二項的 SF₆ 排放減量技術之工程運用說明，一是電力業 SF₆ 回收技術，藉由加強回收機使用與安裝，及提昇日常維修作業，改善 SF₆ 區域性回收效能管理機制。二是說明 TFT-LCD 產業在 CVD 製程以 NF₃ 替代 SF₆ 的使用，及遠距(Remote)的氟氣體解離器，提高 NF₃ 在製程的使用效益、並減少清潔的所耗時間，降低含氟溫室氣體的排放。

【關鍵字】溫室氣體、全球暖化潛勢、六氟化硫

*工業技術研究院能源與環境研究所 副研究員

**工業技術研究院能源與環境研究所 研究員

***奇美電子薄膜部 主任工程師

****奇美電子環安處 工程師

一、前言

PFCs排放減量一直是全球高科技產業所關注的議題，隨著近年來 TFT-LCD 產業快速發展，其 PFCs 中的 SF₆ 使用量及排放量也日益增加。在光電半導體產業中，SF₆ 主要應用在蝕刻 (Etching) 及化學氣相沉積 (Chemical Vapor Deposition, CVD) 作為反應腔的清洗氣體。在相同質量下，SF₆ 的溫室效應潛勢 (Global Warming Potential) 為主要溫室氣體 CO₂ 的 22,800 倍 (根據 2007 IPCC 第四次評估報告)，而其殘存於大氣中之生命週期估計可達 3,200 年。歐洲議會在 2006 年公告含氟溫室氣體法 (編號為 842/2006)，管制的含氟氣體包括 PFCs、HFCs 及 SF₆，其減量目標為 2008 年至 2012 年的排放量比 1990 年降低 8%，估計 2012 年全球含氟溫室氣體排放量將比 1990 年減少 70%^[2]。主要管制措施包含回收再利用、員工訓練和認證、申報和標籤等。為達到含氟氣體減量目標，委員會要求製造商和進出口商每年排放 1 公噸以上者，需提報市場總生產量和回收破壞量^[3]。

行政院為減少高暖化潛勢氣體的排放，在 2000 年開始輔導產業進行相關工作。環保署並於 2004 年率先和 TTLA (台灣薄膜電晶體液晶顯示器產業協會) 簽署全氟化物自願排放減量合作備忘錄 (Memorandum of Understanding; MOU)，TTLA 承諾在 2003 年以後之新廠皆加裝 90% 以上之局部破壞去除設備 (Local Scrubber, LS)，並以 2002 年作為全氟化物排放減量之基準年，當年度全氟化物排放強度 0.0335 噸碳當量/平方米基板使用面積 (係指 PFCs 排放量與玻璃基板使用面積之比值) 作為減量之基準值，將致力全氟化物排放減量工作，並於 2010 年將全氟化物排放強度降至基準值以下。TTLA 估計自 2005 至 2008 年共計投入約 30 億元進行 PFCs 的排放減量，減量成果自 2005 年起約減量 1,667 萬噸二氧化碳當量，歷年排放強度之執行成效，如圖 1。其中 SF₆ 的使用排放約佔該產業全部 PFCs 排放量的 95% 以上。

除了光電半導體產業在製程上大量使用 SF₆ 外，國內電力事業和鋁鎂合金產業也會使用到 SF₆。一般電力事業 SF₆ 使用濃度為 99% 以上，依據 IPCC 之排放係數第 3 冊第 8 章表 8.3 日本之排放係數 0.007 計算推估其排放量。根據環保署研究報告調查，電力事業 2007 年排放量約為 95 萬噸 CO₂e，其中主要來自於電力維修商與產品製造商的測試排放。行政院環境保護署自 2004 年起，每年皆辦理電力事業 SF₆ 回收管理相關訓練與觀摩，希望由電力事業的基層員工開始進行 SF₆ 的自主管理與減量排放工作，藉以推動高 GWP 的 SF₆ 之自主管理，以減少其排放。為促進各產業的 SF₆ 減量排放，環保署於 2009 年 4 月 2 日舉辦電力事業 SF₆ 排放減量研商會議，邀請鎂合金產業及台電公司進行

產業合作降研商會議。會中各代表對此 SF₆再利用管道，均有強烈的合作意願。故推動電力事業與鎂合金產業再利用為環保署近期主要的管理策略。

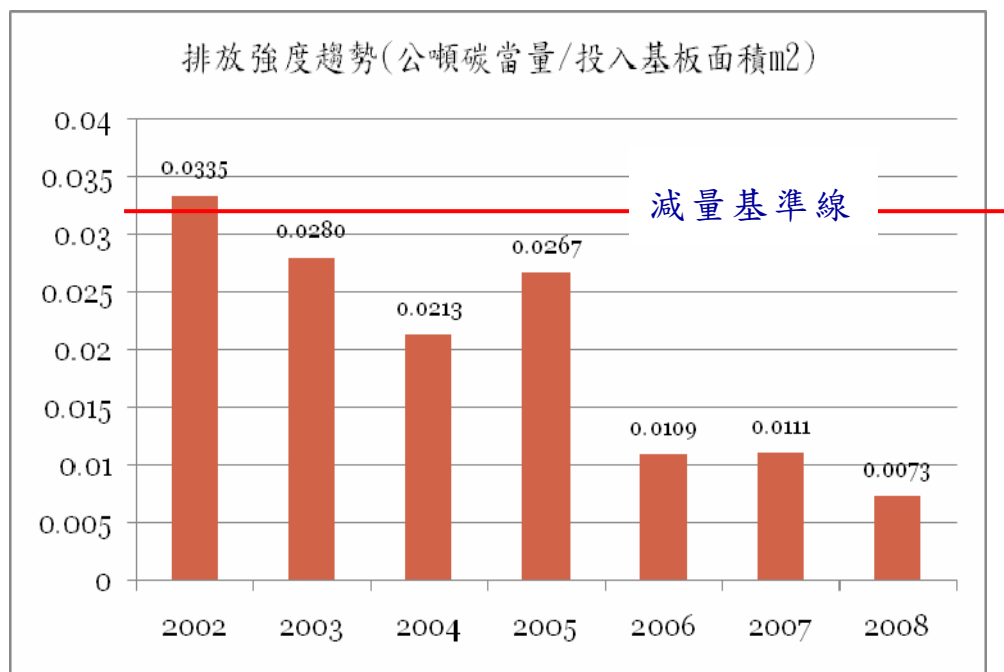


圖1 TTLA之PFCs排放與基準線比較

二、高暖化潛勢溫室氣體(NF₃和SF₆)之特性

1.物理和化學特性

三氟化氮(Nitrogen trifluoride, NF₃)是近年來行政院理會推動PFCs排放減量的替代性氣體。該氣體在常溫常壓下安定無色、且具些微霉味的氣體，微溶於水。關於毒性資料，可分為急毒性和慢毒性，急毒性方面，由動物實驗顯示會形成變性血紅素，造成皮膚青斑、困倦慾睡、頭昏、噁心、心跳加快、頭痛、呼吸短促、失去知覺；慢毒性方面，長期暴露牙齒會生斑紋且骨骼改變。當使用NF₃時應該要特別小心，需要一些防護設施以保護作業人員，還有意外的急救訓練，以減少傷害的發生^[4]。

六氟化硫(Sulfur hexafluoride, SF₆)在常溫常壓下為無色無臭無毒的氣體，不易燃燒且對熱穩定，化學性質不活潑且不具腐蝕性。在500°C以上赤熱狀態下也不會分解，在800°C以下依然很穩定，又因其耐熱性好，是一種穩定的高溫熱載體。SF₆具有高介電強度(介電常數)，所以常被使用為絕緣氣體。當高壓電變壓器設備操作頻率於低頻(Hz)或高頻(GHz)的狀況

下都可以維持穩定的狀況，並且抑制arc所產生的火花現象；當arc發生時，雖然SF₆解離為fragments，不過其再結合為SF₆的反應速率是相當快的，這也是SF₆的特性之一。近年來SF₆也大量用於光電半導體產業之蝕刻製程，由於SF₆氣體可提供較多具蝕刻能力之氟原子，且不像四氟化碳會在蝕刻表面形成積碳現象；另外，SF₆蝕刻速度為CF₄的四倍，因此常被半導體工業當作電漿蝕刻或蝕刻助劑氣體^[5]。

2. 光電半導體產業製程應用之特性

NF₃在半導體及TFT-LCD製造的薄膜製程中扮演「清潔劑」的角色。行政院環境保護署與半導體產業協會，推動以NF₃替代PFCs氣體成果顯著。過去半導體廠多半採用CF₄、C₂F₆、C₃F₈等以氟及碳結合的氣體清潔CVD，讓氟離子「吃掉」矽，變成氟矽烷氣體排出，但是其清潔效果卻不如NF₃，內壁上容易殘留形成高分子物質，相對而言NF₃之清潔效果高出很多。光電半導體廠為了降低含氟溫室氣體排放對溫室效應的影響，在排放含氟廢氣前，會以高溫方式將氣體裂解後才排入大氣中，如此可減少對環境的衝擊。這道高溫的手續若要分解CF_x系列的氣體，必需達到攝氏一千二百度高溫，但是要分解NF₃氣體，只要攝氏七、八百度即足夠。對晶圓廠而言，處理NF₃氣體的成本比處理CF_x要節省許多，故許多製程設備大廠近二年推出的CVD設備，都改採NF₃為主要清潔氣體。

LCD Array製程蝕刻主要可分為非金屬及金屬蝕刻，非金屬蝕刻有a-Si/n+ Si/SiN_x蝕刻，可概括性的視為Si蝕刻，其蝕刻氣體可選用的有SF₆及CF_x系，一般在LCD製程選用SF₆，因為其解離之F radical較多，反應速率較快，且製程較為潔淨；CF_x系由於在反應過程中，容易有CH化合物產生，較不被選用，但CF_x系可通入O₂，由F/C ratio及藉由O與C的結合，減少CF_x與F的再結合(recombination)增加F radical來加快蝕刻速率，並可調整Si/Oxide之選擇比，製程控制的彈性較SF₆為高^[6]。

2006年IPCC指引指出LCD製程中CVD製程解離率之預設值NF₃為0.97，SF₆為0.1^[7]，由圖2顯示在相同功率下以NF₃氣體蝕刻速率最高，因此NF₃相較於SF₆不僅製程上解離率較高，且蝕刻速率也較高，不僅可減少蝕刻時間也可間接降低氣體使用量^[8]。

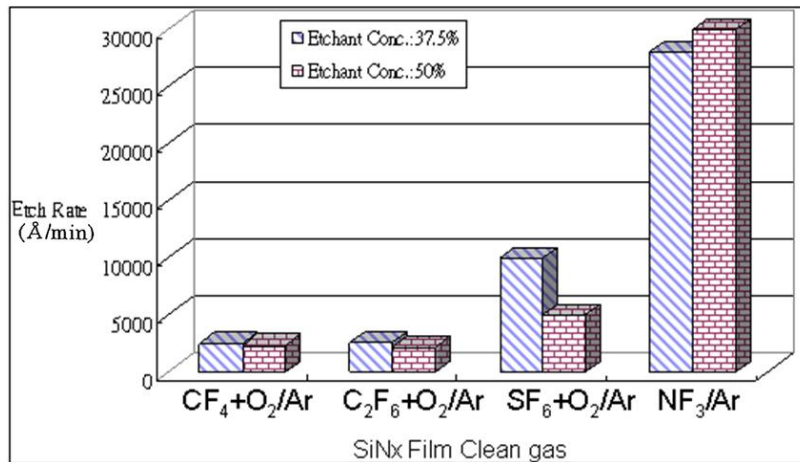
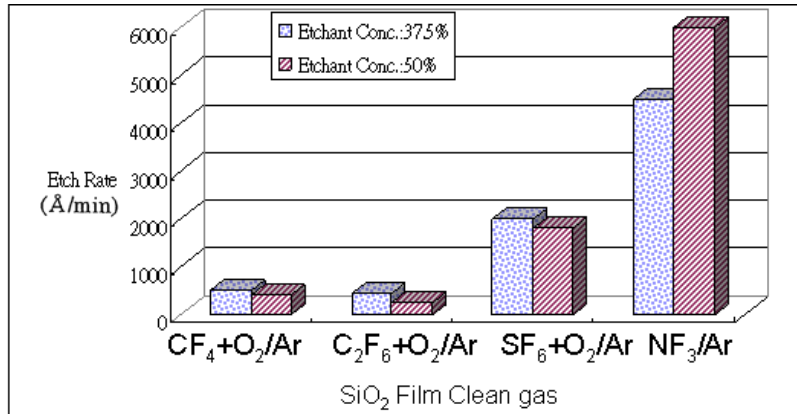


圖 2 電漿蝕刻含氟氣體蝕刻率比較^[7]

三、電力事業SF₆回收再利用技術

我國SF₆廣泛使用在電力事業、鎂合金及光電半導體產業。SF₆用於電力事業可阻絕電路系統間所產生的交互效應，其絕緣能力遠高於空氣，因此使用SF₆可大幅縮短電路系統間距離，使整個系統做得比較小，而節省放置高壓斷路系統的空間。國內的電力事業使用SF₆氣體亦相當普遍，其使用濃度在99%以上，但部份受污染的SF₆濃度介於70~80%之間。鎂合金產業之SF₆使用排放量率為100%，但可使用純度較低之SF₆。

工研院在行政院環境保護署的支持之下，透過回收之電力事業SF₆再轉交鎂合金產業使用評估，以延長電力事業SF₆的使用生命週期。將電力事業回收之SF₆，送至鎂再生廠進行初步之測試程序(如圖)。經進行熔煉廠和壓鑄廠的實廠測試，並經適當的調整製程參數之後，與回收的SF₆與新料保護氣體的功能無異，惟使用流量需要再提高約5%之流量，對於後續的產品品質無任何影響。此項環保署執行成果，為全球首例。依其二產業使用SF₆現

況分析，本項工作約可減少180萬噸CO₂e的排放。

目前國際上對於電力事業 SF₆ 減量管理採取自願性方式，大部分是設置洩漏偵測設備來減少 SF₆ 排放，對於老舊設備應予更新與維護，並對日常進行電力設備維護人員加強教育訓練。

國內電力事業使用 SF₆ 主要用在隔絕系統，並非如原物料一般會消耗在產品之中，其現有量可能是過去 30 年所購置者，不僅設備繁多且其填充使用量可能會因時間長久而無法明確統計數量，因而電力事業應增加公司維修及管理人員編制，始能增加繁雜的 SF₆ 維修工作。對於 SF₆ 的內部管理系統，建議逐年進行盤查，建構 SF₆ 購買中央式管理系統及區域性的領料管理。對於承攬商進行 SF₆ 相關設備的維修及更換作業，亦需制定下包商管理系統。當然部份設備會應需求進行轉換或調動，亦應予建制相關追蹤管理工作。對於減量目標的設定，則應每年進行盤查並經第三者查證，協助基礎員工了解與配合 SF₆ 減量工作，如此進行全面性的管理制度與提昇，才能降低 SF₆ 的使用排放。

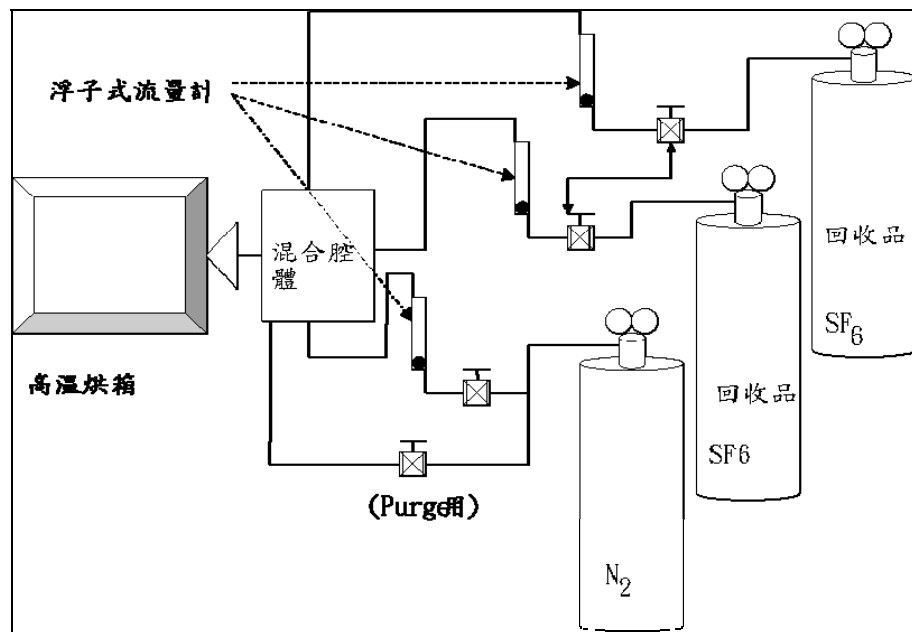


圖 3 鎂合金之回收 SF₆ 替代實驗裝置

四、TFT-LCD 產業以 NF₃ 取代 SF₆ 技術

在行政院環保署與光電半導體業合作，共同推動PFCs排放減量的程序中，PFCs排放控制策略可分為下列四類：(1)使用替代化學物(Alternative Chemistries);(2)製程最佳化(Process Optimization);(3)回收再利用(Recovery

and Recycle)；(4)破壞削減(Abatement)等方法，TSIA各公司自2000年起即致力於PFCs的排放減量，其控管措施包括安裝有效的尾氣破壞設備(Local Scrubber, LS)與製程採用替代氣體等，而TTLA各公司則普遍以安裝LS來進行PFCs減量。

替代PFCs氣體的開發應以尋找溫室效應低、大氣中存活時間短，並同時兼顧安全性的化學物為主，目前已知光電半導體常用之替代化學物 C_3F_8 和 NF_3 等。SEMATECH公司研究以 C_3F_8 代替 C_2F_6 之可行性，發現 C_3F_8 具有多項優點。 C_3F_8 在機台清洗時的利用率明顯高於 C_2F_6 ，兩者分別為65~75%和25~35%，並且在電漿中 C_3F_8 有較高的解離程度。但是 C_3F_8 仍然為PFCs氣體，並無法完全消除PFCs排放，假如以 C_3F_8 替代 C_2F_6 ，其優點為機台設備不需改變也不會影響到半導體製程。與其他PFCs氣體如 CF_4 、 C_2F_6 比較， NF_3 為較不穩定之氣體，因此在電漿反應中其分解率亦相對提高，故以 NF_3 為F來源作為清洗沈積薄膜之用，具有極佳之清洗效率，可減少製程中之清洗時間，並且能夠避免使用具碳源之PFCs所可能造成的污染情形。使用合適之替代化學物確可提升製程中氣體之利用效率，不過對於既存之CVD機台，可行性並不高。事實上，使用對環境衝擊較小之替代化學品為未來必然之趨勢，但由於製程替代化學物需配合機台的開發，目前仍存在之瓶頸則需大設備製造廠商和特殊化學氣體供應公司的努力才能有所突破。

根據環保署協助TTLA歷年溫室氣體盤查資料顯示，TFT產業之PFCs排放主要來自 SF_6 ，約占95%之高，其次為 NF_3 (4%)和 CF_4 (1%)。由於 SF_6 的GWP值比 NF_3 高約1.33倍，且 SF_6 的製程利用率比 NF_3 -remote低約9.7倍，依原子量計算，每公斤 NF_3 約可取代9.97公斤的 SF_6 ，因而改用 NF_3 具有較高的減量效益。若以TTLA每年約使用510噸 SF_6 氣體估計，替換 NF_3 後約可減少80%的排放量。

工研院協助推動奇美電子公司與Air Product共同合作，投入大量資金與技術在CVD製程中UNAXIS機台進行管線更換和製程調整等(如圖)，並使用FTIR進行測試，目前已成功測試出 NF_3 取代 SF_6 的最佳氣體使用量和清洗時間，可降低Clean Time約35-50%，且估計PFCs排放量可減少95%以上。若將本項工作成果推廣至整個TFT-LCD產業，預估每年可減少約100萬噸的 CO_2e 排放。

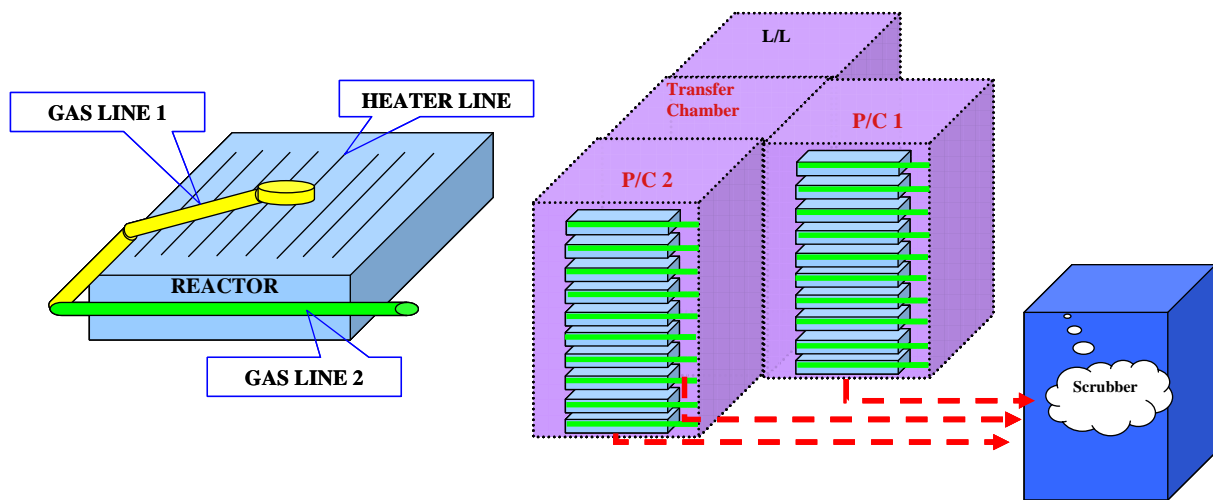


圖 4 UNAXIS 機台構造

奇美電子在測試階段後期發現UNAXIS機台產生Particle和發生Heater line腐蝕現象，藉由FTIR分析確認此為各Reactor Gas Inlet因單純插入式設計，接合方式不佳使管線產生洩漏現象(如圖)。實驗階段後期將管線更換不同材質，在Gas Line端的固定底座改用AL 6061材質，鍍上陽極膜再以焊接方式接合，減少洩漏氧化反應，與Reactor對接Gas Feed Through處使用凸緣及墊片設計接合，以減少氣體洩漏(如圖)，不僅可提升產品良率和也能延長機台壽命，預期此技術可為TFT-LCD產業帶來更多的減量效益。

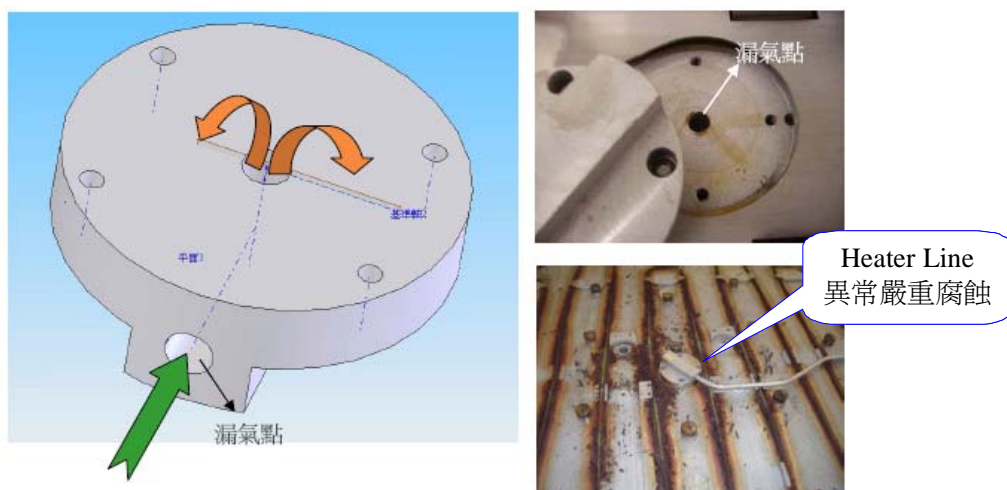


圖 5 機台導入 NF_3 異常現象

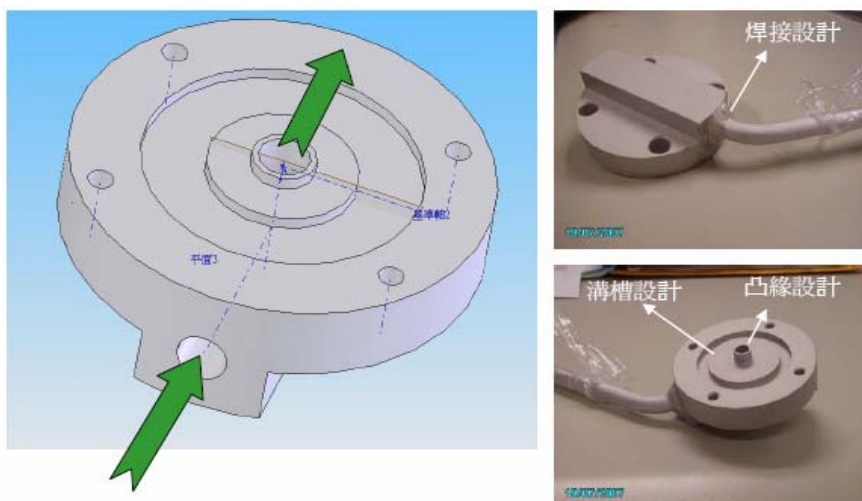


圖 6 機台導入 NF_3 異常改善

五、結論與建議

環保署在推動高暖化潛勢的溫室氣體已有許多執行成效。在京都議定書所管制的六種溫室氣體中以 SF_6 具有較高之全球暖化潛勢，其造成全球暖化的貢獻估計占 0.1%。國際上推動 SF_6 排放減量方案者，首推美國的 SF_6 自願減量策略，該方案是以產業自主性、簡單易遵循的提報準則、降低減量成本為設計原則。在 1999 年 4 月由美國環保署與 56 家公共電力提供業者 (Utility) 訂立夥伴關係 (Partnership)，採業者自主的減少排放 SF_6 為實施模式。美國環保署與欲參與的業者簽署一備忘錄 (Memorandum of Understanding；以下簡稱 MOU)，其中列出夥伴關係雙方應遵守之義務。參與該方案的團體並不受限於美國境內單位，只要有向美國環保署申請並經審查核准即可。

基於此國際上對 SF_6 自願減量管理推廣成功的理念，國內在推動產業自願減量工作上，政府勢必須有經濟誘因，或其他的政策配合方案。鑑於國內政府在推動產業 SF_6 自願減量工作仍有許多技術有待突破，本研究就國內產業特性及政府的管理方向，提出國內建構高暖化潛勢溫室氣體 SF_6 排放減量技術，列出下列幾點建議：

1. 對於電力事業無法再使用的 SF_6 ，其性質與純度之相關資料仍缺乏，無法進行長期的政策立論之參考。在環保署協助產業將電力事業的廢 SF_6 經回收純化後，濃度可達 97% 且水分低於 150 ppm，經過鎂鋁合金廠商測試後，可完全符合鎂鋁合金產業之需求。未來應持續蒐集歷年電力事業廢棄 SF_6 的數量，並研擬電力事業 SF_6 減量目標。此外，評估經過電力事業所廢棄 SF_6

- 的儲存方式、運輸和回收純化之所需成本，以及鎂合金產業回收可行技術及經濟效益等資訊，協助兩產業間共同進行 SF₆ 減量工作。
2. 目前國內高科技產業含氟減量技術著重於安裝尾氣處理設備來破壞多餘的 SF₆，減少排放至大氣中，其削減率一般為 90%，但為更積極的進一步執行 SF₆ 減量工作，以暖化潛勢較低之 NF₃ 取代 SF₆ 已是未來的趨勢。環保署未來將對 SF₆ 減量技術擴大宣導至國內光電半導體產業，積極推動各廠進行蝕刻製程上調整，考量各廠製程特性盡可能來減少 SF₆ 氣體使用，並結合 TSIA、TTLA 與國內外光電與半導體專家的技術與經驗，持續研發 SF₆ 排放減量的技術，提昇半導體與光電產業研擬適當排放減量措施。
 3. 國內目前主要有四大產業使用 SF₆ 氣體(光電和半導體、電力事業及鎂合金產業)，彼此之間對 SF₆ 使用情境並無交流，因而無法進行 SF₆ 再利用，主要困難點是產業與政府單位並無適當的溝通橋樑，以了解彼此的合作空間。故未來相關政府單位應持續召開跨產業部門的 SF₆ 減量合作協商會議，主管機關可掌握產業使用情境並研擬適當的 SF₆ 管理策略，以加速產業 SF₆ 排放減量。
 4. 環保署支持執行致力於推動二項 SF₆ 的減量排放工作，預估每年約可減少 280 萬噸 CO₂e 的排放，對於產業減量排放成本日益增加的情況之下，無疑是一項重要的產業溫室氣體減量排放工作成果。

六、備註

含氟溫室氣體為京都議定書所管制之溫室氣體物質，國內主要為光電業與半導體業製程使用時所排放，我國環保署已自 2004 年起積極推動相關減量工作，本論文相關產業排放、減量技術資訊與研究經費，多屬歷年來接受該署「推動含氟溫室氣體產業排放減量專案計畫」及「推動產業非二氧化碳溫室氣體排放減量計畫」委託，進行產業自願減量執行成果之一，筆者在此特致謝意。另同時感謝我國光電、半導體產業協會、台電公司等相關單位之協助，以及前述計畫推動過程中各專家學者的批評與建議，均使本論文成果更加豐富，以提供給相關產業進行溫室氣體減量參考之用^[1]。

七、參考文獻

1. 推動含氟溫室氣體產業排放減量專案工作計畫期末報告，行政院環境保護署 EPA-97-FA11-03-A168，2009 年 5 月。
2. REGULATION (EC) No 842/2006 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND

- OF THE COUNCIL of 17 May 2006 on certain fluorinated greenhouse gases
- 3.S.SARKIS, Reducing greenhouse gas emissions through proper SF₆ handling, NCGG, 2009.
- 4.李曼君，以電漿結合觸媒破壞去除NF₃之初步研究，國立中央大學環工所論文，2004年1月。
- 5.吳關佑，線管式與填充床式電漿反應器破壞SF₆之初步研究，國立中央大學環工所論文，2002年7月。
- 6.龍柏華，乾蝕刻製程暨機台原理簡介，光電科技工業協進會，2004年9月。
- 7.2006 IPCC，<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- 8.Kunihiko Koike，Study of CF₄, C₂F₆, SF₆ and NF₃ Decomposition Characteristics and Etching Performance in Plasma State, Japanese Journal of Applied Physics, vol. 36, issue Part 1, No. 9A, pp. 5724-5728.

光電業有機酸及無機酸共排淨化效能提升技術

張豐堂*、粘愷峻**、王秉才***、吳珮如***

摘 要

光電業於蝕刻與薄膜製程所產生酸氣成分包括有機酸之醋酸以及無機酸之硝酸與部份鹽酸、硫酸、磷酸、氫氟酸等有機及無機酸共排現象，因此於光電廠除了常有酸氣排放臭味及處理效率須分別同時符合法規有機物及無機酸排放標準之問題。目前業者多數採用濕式洗滌搭配酸鹼中和設備，對於水溶性佳且解離性高的酸性氣體有不錯的淨化處理效果，但是因為濕式洗滌技術對於低濃度時(<3ppmv)之酸性氣體處理效果並不佳，尤其針對部分酸氣(如醋酸及氫氟酸)之臭味閾值甚低(10 ppb 及 30ppb)，使用傳統濕式洗滌空污處理設備，無法達到排氣標準之要求，也因此經常衍生臭味陳情之問題。本案業者目前採用濕式洗滌設備處理酸性氣體，酸性氣體主要成份為醋酸、硝酸與部份鹽酸、硫酸、磷酸、氫氟酸等且其處理效率除了氫氟酸較差外其他約在 80-85%，處理後無法完全解決衍生之臭味問題。

此類廢氣選擇處理技術必須要符合能處理低濃度有機及無機酸氣以及耐高濕度之環境之技術，因此若於後端加裝一般除臭常用之活性炭吸附設備，將無法達到此廢氣條件下之性能及壽命要求，本案藉由對於特定吸附材之改質，提升對於酸性氣體之吸附能力，也同時具備耐高濕度之操作環境，再搭配線上再生與改質技術，可大幅延長觸媒濾材壽命，如此即可解決業者所面臨之問題。此常溫除臭觸媒濾材於某 7.5 代光電廠進行實廠處理酸排氣之效率及壽命測試，測試結果如下表所示，對於臭味主要之醋酸硝酸與氫氟酸等氣體而言，處理效率 > 99% 以上(處理後濃度均低於臭味閾值)，幾乎沒有任何味道，為一可解決低濃度酸氣臭味問題之處理技術，本技術目前已可將使用過之濾材進行線上再生，經工研院反覆測試結果，已連續再生超過 10 次以上，性能仍然維持高於 95%，並無下降之趨勢。

【關鍵字】醋酸、氫氟酸、低濃度、常溫除臭觸媒濾材、配線上再生

*傑智環境科技股份有限公司 董事長兼總經理

**傑智環境科技股份有限公司 研發部經理

***傑智環境科技股份有限公司 研發部工程師

一、前言

高科技業發展是我國近年來最重要的經濟成長指標，自 80 年代新竹科學園區成立之後、高科技電子產業及享有較一般產業優惠的投資條件，如租稅減免、通關程序簡化等等；而 90 年代中期我國 IC 製造業開始在全球高科技經濟網路中佔有重要地位，2000 年初 TFT-LCD 製造急起直追，台灣因高科技電子產業成長快速鑲嵌於全球化經濟體系之中。

依據環保署之統計資料，空氣污染陳情案件已自 91 年約 3.3 萬件逐年增加到 94 年約 3.8 萬件，其中屬惡臭污染陳情案件則自 91 年約佔陳情案件總數 53%，於 94 年迅速攀升到 74%。若進一步分析近 10 年各污染類別陳情案件量成長率可以發現，惡臭類陳情成長 118%，成長趨勢最為明顯。環保署初步分析認為，惡臭因與民眾生活關係密切，且人口密度增加，是造成其陳情案件量成長趨勢顯著之原因。由此可知，臭味污染已成為民眾日常生活注目之焦點。而我國固定污染源空氣污染物排放標準中之臭氣或厭惡性異味排放標準，自 81 年訂定發布以來，已歷 10 餘年未修正，部分標準值可說已不合目前民眾生活之品質需求。另外為改善工業、農業區緊臨非工業、農業區周界標準差異過大，造成陳情案比例居高不下之問題。關於工業臭味，增加授權直轄市、縣市政府可依當地管制需求劃定、納入民眾陳情機制，讓直轄市、縣市政府可以依據民眾陳情之頻率次數，對臭味污染源劃定較嚴之周界標準管制，期望藉由此次修正排放標準，提升民眾未來生活品質。

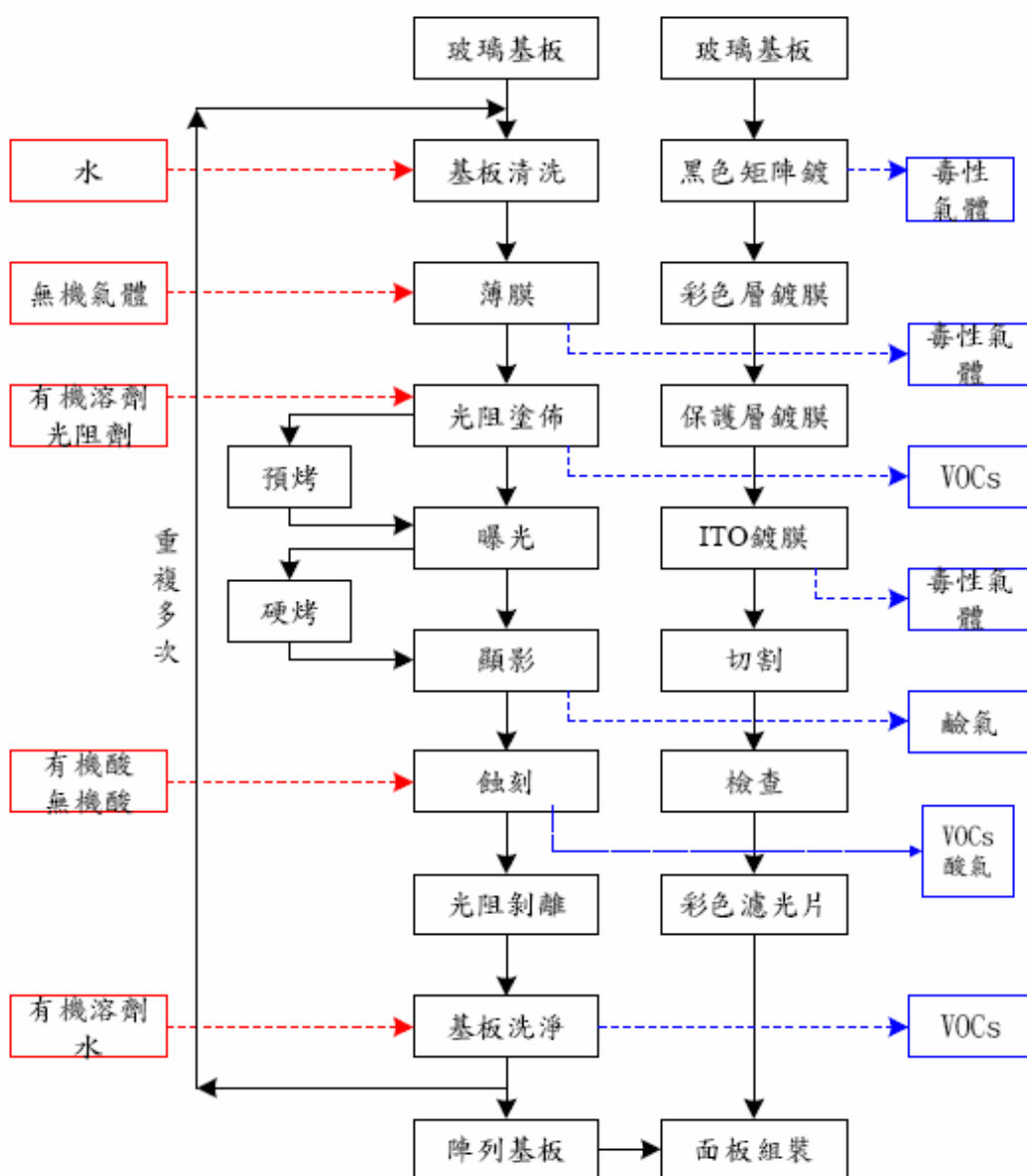
光電業於蝕刻與薄膜製程所產生酸氣成分包括有機酸之醋酸以及無機酸之硝酸與部份鹽酸、硫酸、磷酸、氫氟酸等有機及無機酸共排現象，因此於光電廠除了常有酸氣排放臭味及處理效率須分別同時符合法規有機物及無機酸排放標準之問題。

二、光電業製程概況

本案例之光電業者為一國際知名大廠，主要產品屬於 TFT-LCD。LCD 是屬被動發光式，市場上應用到的 LCD 主要有 TN、STN 及 TFT 三種，A 廠之產品是屬於 TFT。TFT-LCD 製造過程中，玻璃基板需經多次「清洗→薄膜→光阻塗佈→曝光→顯影→蝕刻→光阻剝離→洗淨」步驟(與半導體製程中沉積→光罩→曝光→顯影→蝕刻須多次重複極為相似)，始完成陣列基板製造，所得之陣列基板再與彩色濾光片結合，進行後段面板組裝、裝填液晶、測試等步驟後，方完成 TFT-LCD 成品；TFT-LCD 各製程中所產生之廢氣源

與 STN/TN-LCD 類似，但排放量較大。

下圖為 TFT-LCD 製造流程及廢氣產生源，從圖中可看出廢氣主要可分成毒性氣體、酸氣、鹼氣及 VOCs 氣體，其中在濕蝕刻製程會使用到無機酸(硝酸、硫酸、氫氟酸)及有機酸(如醋酸)等酸液，其中有機酸及無機酸之比例配置不盡相同，約略在 1:1 左右，主要之蝕刻作用由無機酸進行，加入有機酸主要是使無機酸更穩定，提高蝕刻的良率。



目前對於濕蝕刻機台之酸排氣處理方式以濕式洗滌方式為主，但酸排經過三段式濕式洗滌塔洗滌後的出口氣體中仍含有 1~2ppm 左右的醋酸及 1~3ppm 之無機酸。經過處理之酸氣一般符合排放法規，但由於醋酸的臭味閾值相當低約 10ppb，所以當含有 2ppm 的醋酸廢氣排放到大氣中，周界下風處 2 公里外仍可聞到醋酸的臭味。

一般 5 及 6 代廠之濕蝕刻線約為 4 條，更進一步之 7.5 及 8 代廠則為 6 條線，而每條線的風量約在 800~1,400CMM 之間，如此大的排放量直接排入大氣中，將直接對於周界空氣品質造成影響，甚至會因為氣體回抽的現象，而造成廠區內空氣污染。竹科有一家中小尺寸面板廠，就因廠內作業人員無法忍受廠區內的醋酸味，導致在一年內撤廠 4 次，損失相當大，故目前已有多家 TFT-LCD 廠積極尋找酸排氣中醋酸的去除技術。

三、線上再生除酸技術介紹

本技術主要將空氣中酸性分子於常溫下吸附於多孔型觸媒擔體上的活性位置並形成化學鍵結，以作為去除酸氣之主要機制，觸媒濾材處理容量與改質劑含量和改質劑粒子分散情況具相關性，其去除特性與改質後之孔洞特性(孔徑大小、比表面積等等)及改質劑含量有關。傑智公司將此高效率觸媒濾材應用於高科技如光電業關於酸排氣之尾氣處理，對於酸氣濃度 < 10 ppm 以下之酸氣處理，可以取代或串接既有之濕式洗滌塔，且其效率更佳與運轉成本較低，排氣濃度極限值更低(ppb 等級)，操作彈性高，並進一步將系統設計研發成可以線上再生之設備，如此可大幅降低操作成本，圖 1 為此線上再生型酸排乾式洗滌塔之系統流程示意圖(傑智發明專利審查中)。

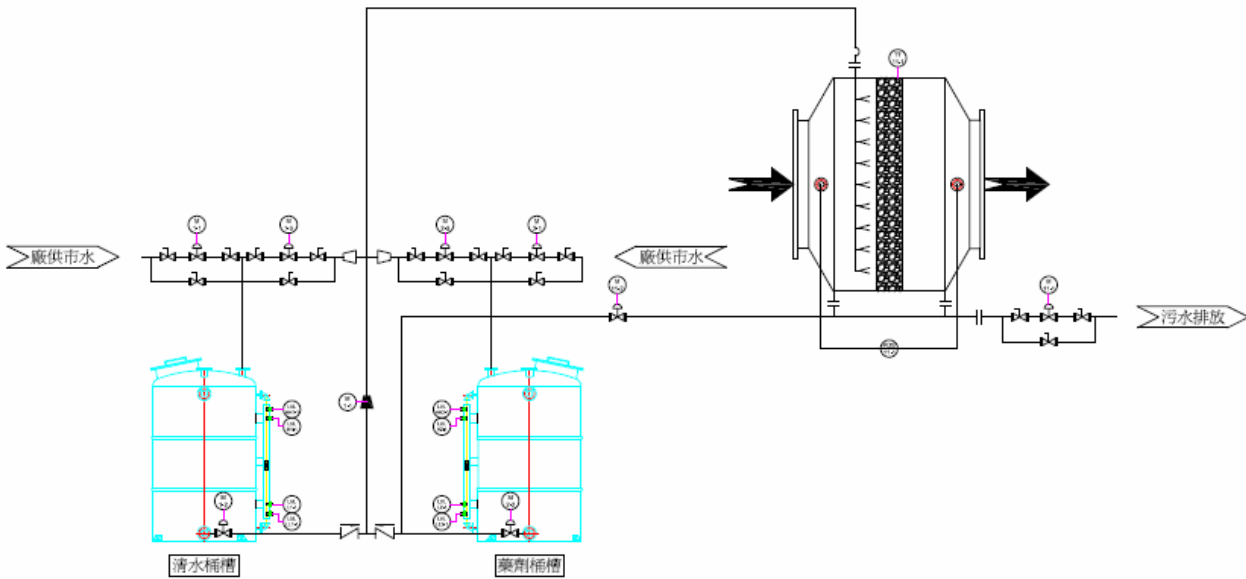


圖 1 線上再生型酸排乾式洗滌塔之系統流程示意圖

四、廢氣處理現況及問題

本案例為光電相關業者，於既有濕式洗滌塔排氣風車出口進行酸氣去除之測試，其酸氣成分主要包括硝酸(HNO_3)、亞硝酸(HNO_2)、鹽酸(HCl)、醋酸(CH_3COOH)及氫氟酸(HF)。目前業者多數採用濕式洗滌搭配酸鹼中和設備，對於水溶性佳且解離性高的酸性氣體(如鹽酸(HCl)、醋酸(CH_3COOH)、硝酸(HNO_3)、亞硝酸(HNO_2))於高濃度下($> 100\text{ppm}$)有不錯的淨化處理效果，對於氫氟酸(HF)，因其亨利常數較高(HF 亨利常數： $0.000569 \text{ atm}/(\text{mol}/\text{m}^3)$ 、 HCl 亨利常數： $0.00000144 \text{ atm}/(\text{mol}/\text{m}^3)$ 、醋酸亨利常數： $0.00000117 \text{ atm}/(\text{mol}/\text{m}^3)$)，因此採用濕式洗滌塔，

其處理效果並不高，除此之外，濕式洗滌技術對於低濃度時($< 3\text{ppmv}$)之酸性氣體處理效果也不好，尤其部分酸氣(如醋酸及氫氟酸)之嗅味閾值甚低(10 ppb 及 30ppb)，使用傳統空污處理設備(洗滌塔或活性炭吸附塔)，無法達到異味排氣標準之要求，也因此經常衍生異味陳情之問題，本案業者目前採用濕式洗滌設備處理酸性氣體，對於酸性氣體主要處理效率除了氫氟酸較差外其他約在 $80\sim 85\%$ ，但處理後卻無法完全解決酸味衍生之異味問題。

五、現場測試結果

本線上再生型酸排乾式洗滌塔測試機臺，圖 2 為測試機臺相片，主要使用傑智公司與工研院研發之常溫觸媒，可有效提升對於酸性氣體之淨化能力，也同時具備耐高濕度之操作環境，再搭配線上再生技術，可大幅延長觸媒濾材壽命達 2 年以上，如此即可確保排氣度極限降低，有效解決業者所面臨之異味問題。此常溫除臭觸媒濾材於某 7.5 代光電廠進行實廠處理酸排氣之效率及壽命測試，測試結果如下表所示，對於臭味主要之酸性氣體而言，其處理效率都可達 95% 以上，以醋酸及氫氟酸等低閾值氣體而言也可低於嗅味閾值，排氣出口幾乎沒有任何味道，為一可解決低濃度酸氣臭味問題之處理技術，本技術目前已可將使用過之濾材進行線上再生，經工研院反覆測試結果，已連續再生超過 10 次以上，性能仍然維持高於 95%，現場測試結果經由不同線上再生方式(浸泡式、淋浴式)，其對於觸媒濾材之效率再現性都相當高，幾乎沒有效率明顯下降之現象，處理效率也相當高，高效率之持續時間約在 1 個月左右，效果相當好，機台測試結果如表 1、2。



圖 2 線上再生型酸排乾式洗滌塔測試機臺相片

表 1 浸泡式再生後除酸效率結果

運轉天數	CH ₃ COOH			HCl			HNO ₂			HNO ₃		
	in	out	%	in	out	%	in	out	%	in	out	%
	ppb			ppb			ppb			ppb		
15	1072	5.5	99.49%	135.7	7.8	94.25%	1228	7.3	99.41%	>1104.8	9.2	99.17%
	72.8	0.4	99.45%	113.5	1.3	98.85%	153.8	1.2	99.22%	>1104.8	2.7	99.76%
	1157	6.5	99.44%	161.4	11.5	92.87%	1396	11.8	99.15%	>1104.8	20.5	98.14%
	982.6	4.6	99.53%	127.2	6.7	94.73%	990.1	60	93.94%	>1104.8	6.7	99.39%
30	493.9	63.7	87.10%	372.7	37.2	90.02%	637.7	15.7	97.54%	3117	71	93.57%
	28.6	4.8	83.22%	13.1	1.1	91.60%	143.9	10.5	92.70%	213.5	24.7	97.76%
	530.9	85.1	83.97%	456	37.4	91.80%	751.6	24.7	96.71%	3347.9	76.7	93.06%
	465.9	67.4	85.53%	270.6	37	86.33%	442.1	35.1	92.06%	2846.1	65.5	94.07%

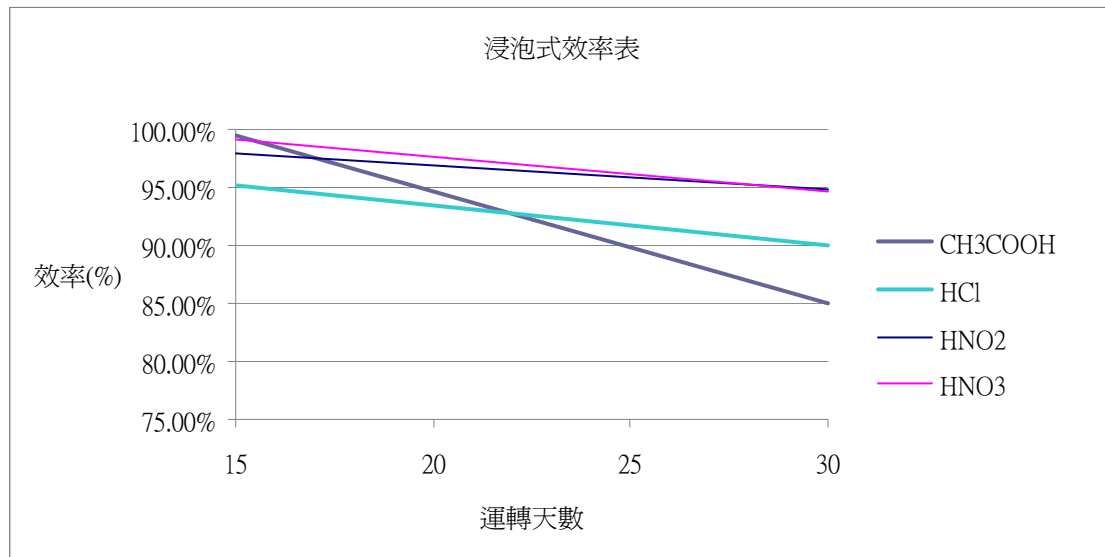


圖 3 浸泡式再生後除酸效率結果

表 2 淋浴式再生後除酸效率結果

噴灑淋裕式															
運轉天數	CH ₃ COOH			HCl			HNO ₂			HNO ₃			HF		
	in	out	%	in	out	%	in	out	%	in	out	%	in	out	%
	ppb			ppb			ppb			ppb			ppb		
7	732.7	8.6	98.83%	27.1	1	96.31%	906.8	9.1	99.00%	2846.5	69	97.58%	285.6	2	99.30%
17	1255	8	99.36%	27.4	0.5	98.18%	641	10.4	98.38%	6788.8	79.9	98.82%	457.3	5	98.91%
19	398.9	2.5	99.37%	46.3	0.2	99.57%	745.5	2.7	99.64%	1347.5	20.4	98.49%	290.1	4	98.62%
26	229.7	11.6	94.95%	92.7	1.3	98.60%	579.3	9.6	98.34%	731.8	19.4	97.35%	89.4	1.7	98.10%
31	518.5	70	86.50%	376	8.5	97.74%	1492	180	87.94%	3592.3	27.7	99.23%	24.4	0.7	97.13%

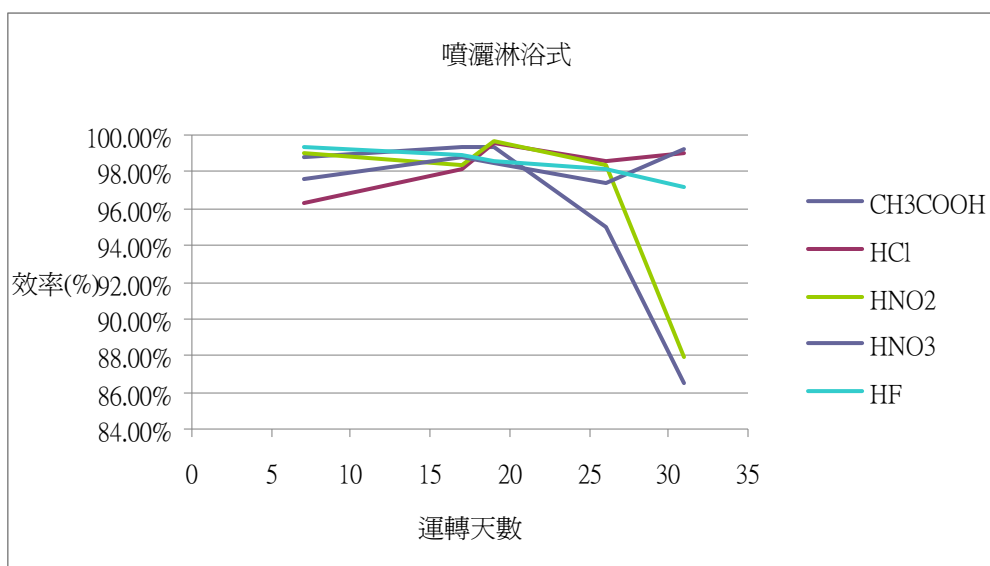


圖 4 淋浴式再生後除酸效率結果

六、所需經費

本案光電業有機酸及無機酸共排淨化效能提升所需經費如表 4。

表 4 光電業有機酸及無機酸共排淨化效能提升所需經費

項目	適用酸排處理總 濃度(ppmv)	預期效率	設置成本	操作成本	備註
線上再生 常溫除酸 觸媒系統	<10	低濃度 酸氣去 除率>95%	約 700-800 萬/套	再生藥劑費 約 6~8 萬/次	含線上再生 設備

說明：

1. 設置風量為 600NCMM。
2. 經工研院測試，醋酸濃度 1ppmv，本觸媒濾材飽和吸附量>10-15 wt% 以上，使用壽命相當長，比起傳統改質型活性碳使用壽命>5 倍以上。若搭配專利設計之線上再生改質系統更可延長使用壽命遠大於 50 倍以上。醋酸處理入口濃度愈低，濾材更換量愈低，操作成本愈低。

七、結 論

目前經實廠測試證實，本公司專利技術線上再生型酸排乾式洗滌塔對於醋酸、鹽酸、硝酸、氫氟酸之處理效率皆可 >95% 以上(連續性操作搭配線上再生可持續 365 天以上)。

以此設備之再生時間，在高濃度條件下，本機臺之實際測試後之再生時間約為 1 個月，低濃度機臺之理論再生時間約為 2 個月，需求效率愈低，再生時間可再延長，操作具有相當大之彈性。

本線上再生型酸排乾式洗滌塔，除能有效提升對於相關酸性氣體之吸附能力，大幅降低排氣濃度之極限(ppb 等級)外，也同時具備耐高濕度之操作環境，再搭配可線上即時再生之技術，有效降低操作成本，亦可大幅延長觸媒濾材壽命，不但可以取代現有濕式洗滌塔技術(<10ppm)，亦可解決業者所面臨臭味(醋酸、氫氟酸)之問題。

八、備 註

本技術為傑智公司分別於 96 及 97 年與工研院執行經濟部工業局研究計畫之成果。

- 1.96 年度：經濟部工業局功能性精密化學品工業發展計畫：室溫氧化奈米金屬觸媒技術輔導。
- 2.97 年度：經濟部工業局平面顯示器自製率倍增計畫：醋酸處理設備與觸媒開發技術輔導。

議程五

1. 高效率核凝成長洗滌搭配浮動式活性碳床有機溶劑回收技術開發—以PU皮業為例

粘愷峻、王秉才、張豐堂、蔡昆霖

2. 高溫氣體淨化技術之探討

陳一順、邱耀平

3. 統一企業新市總廠溫室氣體減量技術應用工程實務

陳榮松、黃明得、陳邦雄、簡志賢、楊哲棋

高效率核凝成長洗滌搭配浮動式活性碳床 有機溶劑回收技術開發—以 PU 皮業為例

粘愷峻*、王秉才**、張豐堂***、蔡昆霖****

摘要

目前各行業製程對於有機溶劑的使用非常普遍，研究調查指出，由於有機溶劑容易揮發而產生揮發性有機化合物(Volatile Organic Compounds, VOCs)散布於空氣中，當排放至大氣後，經由日照、風力及降雨等各種作用，可能對於環境產生極大的負面影響。因此各產業製程對於 VOCs 排放前應該予以淨化處理後再排放，以減少其排放至大氣中；然而，近來原物料及能源價格之高漲，若能以低耗能且具有資源回收之淨化技術將會是未來空氣污染防治之主要技術主軸。

以傳統乾式 PU 皮產業為例，每台塗佈機臺排氣風量約在 250 NCMM，在此風量下平均有機溶劑之用量約在 100~120 kgs/hr，主要有機溶劑包括二甲基甲醯胺(DMF)、甲苯(toluene)、丁酮(MEK)...等有機溶劑。目前一般業者都使用固定床活性碳溶劑回收系統，且採批式(非連續式)操作的方式進行回收再利用，除了在遇到有高反應性的 VOCs(如 MEK)要處理時，常因觸媒作用而氧化反應導致大量放熱及變質，易導致碳床著火的問題外，在含 DMF 之回收，因其幾乎全溶於水，回收後只能隨著廢水排放進而造成廢水問題，如此也限制了固定床活性碳應用在多成分有機溶劑之回收或處理。

因此就此類廢氣而言，可以採用改良型浮動式活性碳床搭配 DMF 預凝核成長洗滌器作為有機溶劑回收技術。本專利改良技術先將廢氣藉由預冷凝核成長洗滌吸收技術將 DMF(全水溶性且高沸點)溶劑先進行凝核成長洗滌之回收(DMF 回收液濃度實測值達 60%wt 以上)，再串聯匯流進入浮動式活性碳床設備，本設備採用球狀活性碳，適合在系統中作連續吸附、脫附來回收溶劑。此系統為高安全性的有機溶劑回收系統，可減少化學品的分解反應及變質，且運轉費用也不高，在良好的設計及操作下，溶劑回收效率可達 90% 以上，同時其回收下來的溶劑含水率低(5%wt 以下；可控制低於 1%wt)、

純度高、接近中性，可直接回收至塗佈機台再利用，是最適合進行有機溶劑之回收設備，其經濟效益相當大。

【關鍵字】揮發性有機化合物、PU 皮產業、DMF、MEK、浮動式活性碳床

*傑智環境科技股份有限公司 研發部 經理

**傑智環境科技股份有限公司 研發部 高級工程師

***傑智環境科技股份有限公司 董事長兼總經理

****傑智環境科技股份有限公司 研發部 高級工程師

一、前言

行政院環保署近年對空氣污染之管制重點包括揮發性有機物(以下簡稱 VOCs)、毒性物質(含戴奧辛及重金屬)、破壞臭氧物質等。而針對 VOCs 之管制動作相當頻繁，主要之管制策略包括採取行政管制，以及經濟誘因等措施，分述如下：

1. 行政管制

行政管制部分，環保署以訂定固定污染源 VOCs 管制排放標準、排放許可申請，以及排放量申報等管制方式，來作為降低 VOCs 排放量最直接之管制措施。固定污染源 VOCs 之排放標準管制，除了適用各產業之「固定污染源空氣污染物排放標準」中訂有部分 VOCs 物種與臭味之排放標準外，並針對不同行業別訂定加嚴之 VOCs 排放標準。目前已陸續公告之行業別 VOCs 排放標準主要包括以石化產業為主要管制對象之「揮發性有機物空氣污染管制及排放標準」，以及汽車製造業表面塗裝作業、半導體製造業、聚氨基甲酸酯(PU)合成皮業、光電材料及元件製造業等之空氣污染管制及排放標準。許可制度截至 95 年為止，已公告至「第八批公私場所應申請設置、變更及操作許可之固定污染源」，管制對象在規定限期內完成許可申請後，應依第一、二批公私場所應申報年排放量之固定污染源規定，進行空氣污染排放量申報。

由於 VOCs 未來將朝向全面納管之管制方向進行，且使用有機溶劑之相關產業及製程相當多，因此若要完全仰賴各個行業別之排放標準訂定，以每年 1~2 個相關管制標準之研訂速度，恐須相當長之時間。因此，環保署近年預計將先訂定適用各產業之「固定污染源揮發性有機物排放管制標準」，以補足現行「固定污染源空氣污染排放標準」中對於 VOCs 管制之不足，也可提早將所有排放 VOCs 之產業全面進行管制及減量工作。未來再陸續逐年研訂行業別之 VOCs 排放標準，包括膠帶、印刷電路板、凹凸版印刷，以及機車表面塗裝、光碟...等行業，都將可能是下一波法規管制之對象。

2. 經濟誘因

環保署為提昇空氣污染之減量成效，參考國外先進國家之作法，除行政管制外，輔以經濟誘因之管制策略，藉以落實污染者付費之精神，自 84 年 7 月起開徵空氣污染防制費，先後依據燃料使用量及實際排放量開徵二氧化硫、粒狀污染物及氮氧化物空氣污染防制費。目前環保署為解決我國日益嚴重之臭氧污染問題，應立法院要求，規劃自 96 年起徵收 VOCs 空污費，希望鼓勵業者能主動進行 VOCs 之減量及改善，並達到降低整體 VOC

排放量之目標。

目前各行業製程對於有機溶劑的使用非常普遍，研究調查指出，由於有機溶劑容易揮發而產生揮發性有機化合物 (Volatile Organic Compounds, VOCs) 散布於空氣中，當排放至大氣後，經由日照、風力及降雨等各種作用，可能對於環境產生極大的負面影響；在日光照射下，揮發性有機物會與氮氧化物進行光化學反應產生臭氧，進而降低空氣品質。此外，揮發性有機物散布於空氣中，民眾容易經由呼吸或接觸引起呼吸系統疾病與皮膚刺激等健康危害。因此各產業製程對於揮發性有機化合物排放前應該予以淨化處理後再排放，以減少揮發性有機物排放至大氣中；然而，近來原物料及能源價格之高漲，若能以低耗能且具有資源回收之淨化技術將會是未來空氣污染防治之主要技術主軸。

因此，本文將以非破壞法為主要控制案例技術，並針對 PU 合成皮業凝核成長洗滌器搭配流體化浮動式活性碳床溶劑回收的排氣 VOCs 控制案例，期能提供業界設計與應用參考。

二、業界現況

一般業者都使用固定床活性碳溶劑回收系統，且採批式(非連續式)操作的方式進行有機氣體之回收再利用，但在遇到有高反應性的 VOCs(如 MEK)要處理時，則常因觸媒作用而氧化反應導致大量放熱及變質，且因固定床活性碳散熱不佳，易導致碳床著火的問題，另外在含 DMF(二甲基甲醯胺； Dimethyl Formamide) 之回收，因其幾乎全溶於水，因此採用蒸氣脫附，將無法直接進行油水分離，因此只能隨著廢水排放，並無法進行回收，進而造成廢水問題，如此也限制了固定床活性碳應用在多成分有機溶劑之回收或處理。以 PU 皮業單一製程(250 NCMM)使用量統計每台塗佈機臺排氣風量約在 250 NCMM，在此風量下平均有機溶劑之用量約在 100-120 kg/hr，主要有機溶劑包括二甲基甲醯胺(DMF, C_3H_7NO)佔 10-15%、甲苯(toluene) 40-45%、丁酮(MEK) 40-45%及其他少於 5%。每年混合性有機溶劑用量約可達 500 公噸/年以上(溶劑用量 800 公噸/年)，若業者無法回收而直接排放，不但造成空氣污染排放，也會衍生空污費負擔問題(每年需繳空污費約 600 萬元)。

以現狀傳統乾式 PU 皮產業都使用固定床活性碳溶劑回收系統，主要針對單一溶劑(甲苯)進行回收，對於含其他溶劑(如丁酮、DMF)之混合性溶劑並無法進行回收處理，或以串聯多段濕式洗滌方式對於 DMF 進行回收處理。

三、技術比較

傳統乾式 PU 皮產業，目前相關產業業界去除 VOCs 常用以下兩種方法：固定式吸附法、洗滌塔＋焚化法。

1.使用固定式吸脫附塔將面臨的問題。

- (1)純甲苯溶劑時方可進行溶劑回收。
- (2)溶劑在有氧狀態脫附，易產生溶劑變質(丁二酮產生)。
- (3)高蒸汽耗用量：約回收溶劑量的倍 10。

2.使用 RTO 焚化法將面臨的問題。

- (1)能源浪費。
- (2)蓄熱材超重。
- (3)腐蝕現象。
- (4)大量 NO_x 產生。

3.高效率凝核成長洗滌搭配浮動式活性碳床吸脫附法技術特色

因業者使用含 Toluene、MEK 及 DMF 混合溶劑之頻率及用量甚高，因此處理技術必須要能同時解決固定床處理含有酮類(MEK)高放熱、變質及 DMF 問題，因此就本案廢氣特性，建議採用下圖所示之改良型流體化浮動式活性碳床搭配 DMF 預凝核成長洗滌器作為有機溶劑回收技術。此專利改良技術先將廢氣藉由預冷凝凝核成長洗滌吸收技術將 DMF(全水溶性且高沸點)溶劑先進行凝核成長洗滌器之回收(DMF 回收液濃度實測值達 60%wt 以上)，再串聯匯流入改良型流體化浮動式活性碳床設備，此設備採用球狀活性碳，適合在系統中作連續吸附、脫附來回收溶劑。此系統為高安全性的有機溶劑回收系統，可減少化學品的分解反應及變質，且運轉費用也不高，在良好的設計及操作下，溶劑回收效率可達 90%以上，同時其回收下來的溶劑含水率低(5%wt 以下；可控制低於 1%wt)、純度高、接近中性，可直接回收至塗佈機台再利用，是最適合進行有機溶劑之回收設備，其經濟效益相當大。

此專利設計之改良型溶劑回收系統在配合工廠量產，回收含 Toluene、MEK、DMF 之有機溶劑，操作成效十分良好，目前有機溶劑回收率>90%，含水率<1%，且所回收之混合性有機溶劑，經業者實際線上測試，無須再純化即可直接回收再使用，經濟效益更高。

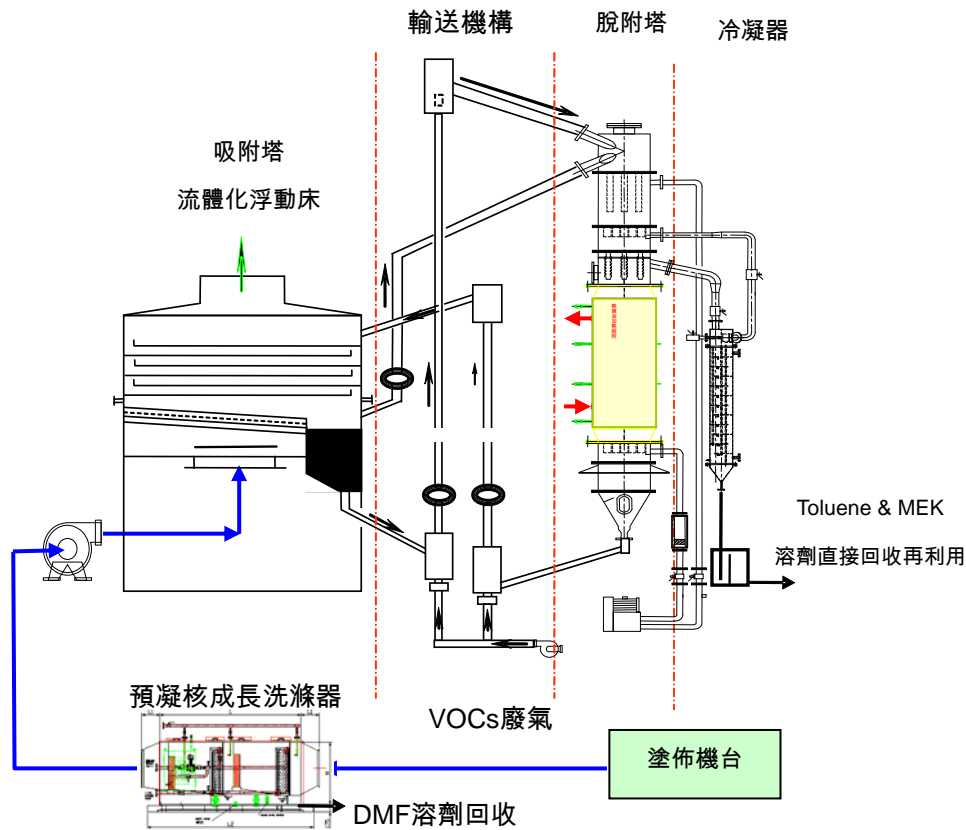


圖 1 流體化浮動式活性炭床搭配凝核成長洗滌器溶劑回收設備

使用高效率凝核成長洗滌搭配浮動式活性炭床吸脫附法優點。

1. 加裝凝核成長洗滌器可有效去除 DMF 並具備除濕及控溫功能，確保後端活性炭之吸附性能 ($< 40^{\circ}\text{C}$ 、 $\text{RH} < 60\%$)
2. 溶劑在無氧狀態脫附，回收溶劑變質性小(圖 2)。
3. 含丁酮混合性有機溶劑可以線上回收。
4. 間接脫附無大量冷凝水。
5. 回收溶劑廠內自用。
6. 回收溶劑分餾後利用價值更高，回收年限快。



圖 2 凝核成長洗滌搭配浮動式活性碳床溶劑回收設備及回收含 Toluene、MEK 有機溶劑相片

表 1 傳統產業常用有機溶劑處理技術評估總整理表

選用技術	Toluene	Xylene	EA	IPA	MEK	DMF	附註
1.蓄熱式焚化爐	適合	適合	適合	適合	適合	不適合 焚化	1.DMF 為含氮有機物燃燒會產生大量二次 NO _x 污染排放(每一莫耳 DMF 全氧化產生一莫耳的 NO _x)，建議先將 DMF 回收後再焚化；再者 DMF 為高沸點有機物易於蓄熱式焚化爐之蓄熱床下方累積並產生焦質(TAR)蓄積。
2.沸石轉輪+焚化爐	適合	適合	適合	適合	適合	不適合 焚化	1.沸石轉輪適合高風量低濃度 VOCs 廢氣，可降低後端設備之風量及成本。 2.DMF 燃燒會產生大量二次 NO _x 污染排放，建議先將 DMF 回收。
3.流體化浮動床活性碳溶劑回收系統	適合	適合	適合	適合	適合	尚可	DMF 沸點相對較高較不易脫附，所以建議先將 DMF 回收。
4.固定床活性碳溶劑回收系統	適合	適合	適合	適合	不適合	不適合	MEK 會產生氧化放熱之高反應性 VOCs 不建議使用。
5.冷凝凝核成長洗滌溶劑回收系統	較不適合	適合	較不適合	較不適合	較不適合	適合	DMF 回收效果佳，可作為混合溶劑之前處理技術。
6.凝核成長洗滌搭配流體化浮動床溶劑回收系統	適合	適合	適合	適合	適合	適合	可同時回收 DMF、甲苯及 MEK 等混合性有機溶劑，對於產業使用混合性有機溶劑卻無法回收之現況將可大幅度改善，大大增加有機溶劑之回收比率。

四、固定床與流體化浮動床設備成本比較

將產業常用於 VOCs 之技術進行設備成本之比較結果彙整如表 2。

表 2 VOCs 處理技術設備成本比較結果彙整表

項目	處理效率 (%)	設置成本 (萬元/套)	操作成本 (萬/年)	溶劑回收效益 (萬/年)	二次污染	備註
一般固定式活性碳床	>90	550~800	150~250	720	含有機溶劑廢水(蒸氣脫附含水率高)	不適合吸附含酮類(MEK)VOCs 電力：200 kw、 蒸氣：150 ~250kg/hr Toluene：360 公噸/年
浮動床活性碳吸脫附回收	>90	2000~2800	150~200	1440	無	具高散熱性，適合吸附含酮類(MEK)VOCs 電力：120 kw、N ₂ ：5 m ³ /hr MEK + Toluene：平均：720 公噸/年
凝核成長洗滌器	DMF > 95 其他：~0	450~600	70~100	140	無	效率依 DMF 含量及濃度而定；Toluene、MEK 處理效率極低。 電力：30 kw DMF：平均：70 公噸/年

1.廢氣流量以 500Nm³/min 計，初設成本單位：萬元/套，操作成本單位：萬元/年。

2.溶劑回收效率回收溶劑價格以 20 元/公斤計。

五、結 論

使用凝核成長洗滌器搭配流體化浮動式活性碳床吸脫附溶劑回收的方法，雖然在初設成本較高，但可同時回收 DMF、甲苯及 MEK 等混合性有機溶劑，對於產業使用混合性有機溶劑卻無法回收之現況將可大幅度改善，大大增加有機溶劑之回收比率，且其操作成本與溶劑回收效益遠高於目前產業普遍使用之固定床活性吸脫附回收設備，且使用此溶劑回收系統更可以使其回收的溶劑較不會變質，且此不會因為處理含酮類高放熱的特性而出現起火燃燒的危險。

以本技術實廠操作效益而言，每回收 1kg 有機溶劑所需運轉成本約 3~5 元/公斤溶劑，回收溶劑以 20 元/kg 之平均價值而言，具有高度之經濟效益，且對於 VOCs 空污費亦具有實質降低之助益(VOCs 空污費率 12~30 元/kg)，因此此系統無論在 VOCs 污染減量或經濟層面上都具有相當高之效益，同時也符合清潔生產技術之精神，將會是未來有機溶劑回收之主流技術之一。

高溫氣體淨化技術之探討

陳一順*、邱耀平**

摘 要

近十年來，歐、美、日本等工業先進國家致力積極發展淨煤氣化技術，並實際應用於整合型氣化複循環發電及多聯產化工程序技術研發。若使用這先進的燃煤技術，燃燒或氣化後之高溫氣體會含有大量懸浮粒狀物質，除了環境保護的考量外，也需要在高溫高壓的狀態下清除燃燒排氣中的懸浮粒狀物質；藉由除塵流程，可防範下游之燃氣渦輪機或製程組件受到損壞，以確保氣渦輪機動力系統或單元操作設備的正常運作。舉例而言，如果不作高溫過濾處理，高溫氣體中的懸浮粒狀物質，將會附著在燃氣渦輪機的葉片，並造成葉片機械性質的破壞。目前常被應用在淨化高溫氣體中的懸浮粒狀物質之高溫廢氣淨化裝置主要可分為：(1)重力沉降箱、(2)旋風分離器、(3)濕式洗滌器、(4)濾袋集塵器、(5)靜電集塵器、(6)陶瓷過濾器、以及(7)流動式顆粒床過濾器。其中部分裝置係利用外力場進行分離程序：例如，沉降室利用粒狀物重力沉降力的方式，旋風集塵器則利用離心力來分離不同大小之顆粒，而靜電集塵器利用正負電極間之高壓電場，以達到集塵效果。濕式洗滌器則是一種兼具控制粒狀物與氣態污染物的除塵方法。其次，定置型整體式濾材亦為常用之裝置：例如，濾袋集塵機為廢氣通過濾袋，使粒狀污染物附著於過濾層上的過濾方式；而陶瓷過濾器乃利用陶瓷濾棒並整齊排列的置入一耐高溫高壓之桶槽內來進行除塵。另外，顆粒床過濾器的操作方式為利用大量顆粒體當作濾材，並在顆粒濾材連續流動的過程中將所通過廢氣之粉塵去除的過濾方式。本篇文章將針對上述的方法及相關設備，提供完整的介紹及優缺點的比較分析，以期未來能對高溫氣體過濾的實際應用及與產業界的結合有所幫助。

【關鍵字】 高溫氣體、燃氣渦輪機、粒狀物質、高溫廢氣淨化裝置

*行政院原子能委員會核能研究所 副工程師

**行政院原子能委員會核能研究所 簡任副研究員

一、前言

生質能是一種相當受重視的新興能源，根據國際能源總署就能源使用現況而言，目前生質能是全球第四大能源(總值約14%)，僅次於石油、煤及天然氣，也提供了開發中國家約35%的能源，為最廣泛使用的一種再生能源，約佔世界再生能源應用的80%^[1]。生質能的主要來源有：生長快速的樹林(柳木、白楊木、尤加利樹)，木材廢棄物(鋸木機、建築/工業的廢棄物)，糖的產物(甜菜、甜蜀黍、耶路撒冷的綠果)，澱粉的產物(玉蜀黍、小麥)，草本木質纖維產品，油的產品(油菜仔、向日葵)，農業廢棄物(稻草、泥漿)，鄉鎮市的固態廢棄物及垃圾、工業廢棄物(木材工業所帶來的廢棄物)。台灣地區在生質能的主要來源為垃圾焚化發電，然而焚化處理廢棄物並不是完全沒有限制；焚化操作不適當的話將可能會造成二次污染的問題，其中又以煙道燃氣所排放之污染物最直接且影響廣泛，這些二次污染物包括粒狀污染物、有機污染物、揮發性重金屬及酸性氣體等。而焚化處理廢棄物的生質能轉換過程包括燃燒、氯化反應、熱解/碳化等方式。這些過程均會產生含有煙塵飛灰等粉塵微粒物質之高溫高壓氣體，含有焦油、飛灰、雜質等；尤其焦油為一黏稠物，若無法清除，則焦油、灰份及雜質等會附著在管線、熱交換器及渦輪機等設備上，影響系統之運轉效率。此外，氣體中粉塵微粒如果撞擊渦輪發電機進氣端之葉片，將會嚴重損壞機器設備壽命。故高溫氣體需透過淨化機構以保護下游設備，如管線、熱交換器、渦輪發電機等，防止其遭侵蝕、腐蝕、或結垢等侵害，並增加下游設備之選用自由度，以達到便宜、操作簡單、高效率及高穩定性的目標。

近年來歐、美及日本等工業先進國家致力發展新式先進燃煤技術，如整合型氯化煤複循環系統(IGCC; Integrated Gasification Combined-Cycle)與壓力式流體化床燃燒系統(PFBC; Pressurized Fluidized-Bed Combustion)等。當使用這些先進的燃煤技術時，燃燒後之高溫氣體含有大量粒狀物質，除了環境保護的考量外，也需要在高溫高壓的狀態下清除燃燒排氣中的粒狀物質，防範下游之燃氣渦輪機受到損壞，以確保氣渦輪機動力系統的正常運作；而若不作高溫過濾處理，高溫氣體中的粒狀物質將會附著在燃氣渦輪機的葉片，並造成葉片機械性質的破壞。因此，本篇文章將探討在高溫環境中，針對去除粒狀物質的方法及相關設備，提供完整的介紹及優缺點的比較分析，以期未來能對產業界在高溫氣體過濾的實際應用提供良好的幫助。

二、設備建置及執行現況

目前常被應用在淨化高溫氣體中的懸浮粒狀物質之高溫廢氣淨化裝置主要可分為：(1)重力沉降箱、(2)旋風分離器、(3)濕式洗滌器、(4)濾袋集塵器、(5)靜電集塵器、(6)陶瓷過濾器、以及(7)流動式顆粒床過濾器。本章節將針對其相關設備分述如下：

1. 重力沉降箱

重力除塵之原理為利用粉塵與氣體的比重不同，使得粉塵靠自身的重量從流動的氣體環境中沉降下來。在一般工廠的廢氣排放道中，其氣流速度約為每秒 10~15m。倘能使此氣流至煙囪排放前突然減慢速度，則混合之粉塵微粒可藉本身的重力作用而沉降。因此，重力沉降箱的作用原理係以體積龐大之密閉箱子連接於煙道及煙囪之間，讓廢氣在箱子內之速度大減，則粉塵微粒降落，使的廢氣得以淨化(如圖 1 所示)。其缺點是淨化效果差，設備所需空間大，只能有效去除 30~40 μm 以上之較大粒徑粉塵，常應用於粗淨化或淨氣前處理設備。

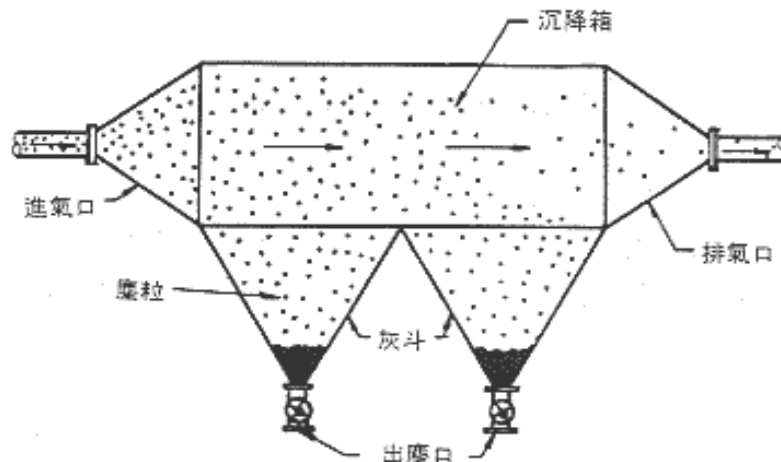


圖 1 重力沉降箱^[2]

2. 旋風分離器

旋風分離器之作用原理為利用慣性力和離心力之組合，當含粉塵之廢氣氣流以切線方向進入分離器的導入外管後，原為直線運動之含塵廢氣將轉變為迴旋運動，並以螺旋狀向下旋轉到底部。混存在廢氣中之粉塵微粒受離心力作用，便黏附於分離器的內壁，脫離廢氣而析出，最後落入灰斗。另一方面，淨化後的廢氣，便從分離器的內管排出(如圖 2^[2]所示)。此類型的系統構造簡單、操作簡便及維護容易，然其缺點為只能捕集 10 μm 以上之大粒徑粉塵微粒。另外，其集塵效果也不足以提供渦輪發電機所需規格之

潔淨氣流，一般作為淨氣前之處理設備。

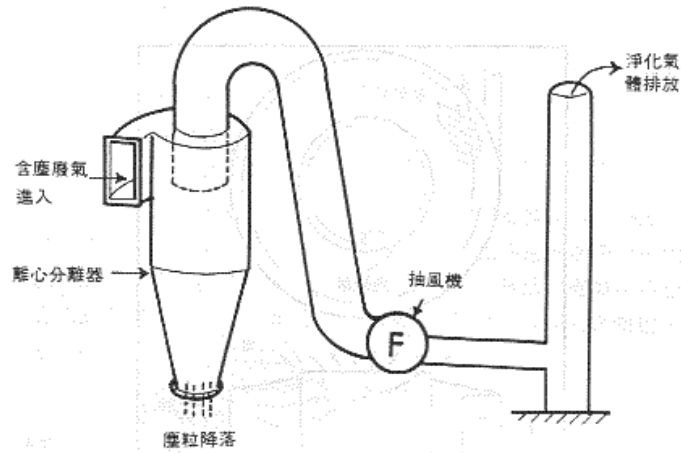


圖 2 旋風分離器^[2]

3. 濕式洗滌器

設備如圖 3^[2]所示，利用水滴與廢氣在相對運動中，經過慣性衝擊、直接阻截及擴散等機制，將粒狀物帶到水滴上，藉由水滴將粒狀物去除，並使廢氣得以淨化而排放。此項設備為捕集 $2\ \mu\text{m}$ 以上之粉塵微粒其效率可達 85%；另外，不易故障及運轉成本低廉也為此設備之優點。在缺點方面，濕式洗滌器需不斷的噴水，使用與維護較為不便，且水源不足之場地不能採用；而且廢水與污泥必須妥善處理，以免造成二次污染。

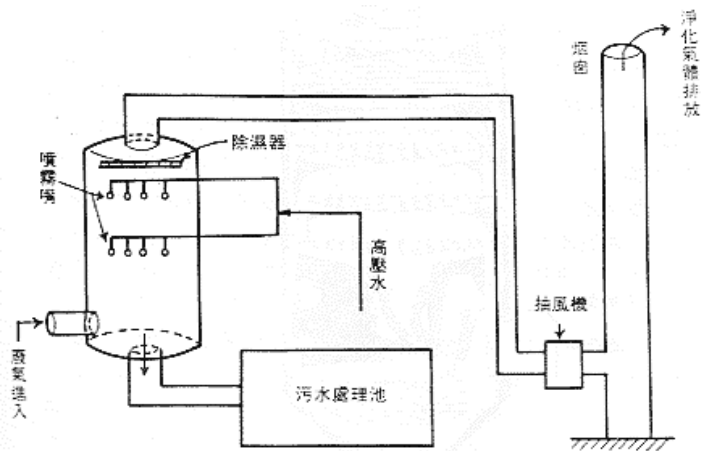


圖 3 濕式洗滌器^[2]

4. 濾袋集塵器

濾袋集塵器為目前工業上最常採用的空氣污染防治設備之一，其原理乃利用慣性衝擊、直接攔截及擴散沉降等機制將粒狀污染物捕集於濾布上，且隨著濾餅的形成，可成為捕集細小粒子的主要機制，而被捕集的粉塵微粒可以利用逆氣流脈衝或震盪方式將粉塵微粒洗下(設備如圖 4^[2]所示)。雖然濾袋集塵器對粉塵微粒有相當高的過濾效率(可捕集 0.2 μm 以上之粉塵微粒，其效率可達 99.9%)，但其缺點為需廣大的場地來建造濾袋集塵器，濾袋破損率高且需停止系統的操作以更換濾袋。另外，由於濾袋為纖維或不織布類製品，其所能承受的最大溫度都在 200°C 以下。再加上其抗酸鹼及耐濕性差，造成濾袋壽命有限，需有備品隨時更換；而對於高溫燃氣淨化系統則需安裝冷卻系統設備。

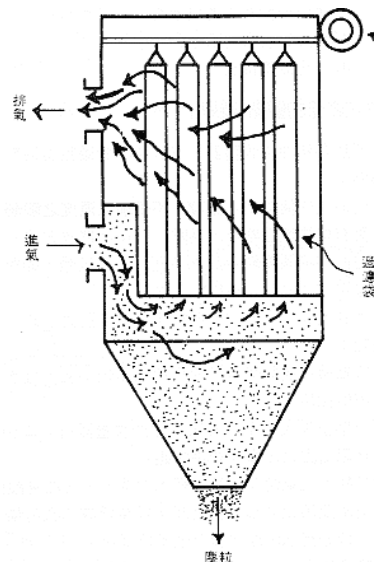


圖 4 濾袋收塵器^[2]

5. 靜電集塵器

此系統係為高效率之集塵設備(可捕集 0.2 μm 以上之粉塵微粒，其過濾效率可達 99.5%)，其基本構造為具高電壓之陰電極(放電極)與陽電極(集塵極)，兩極距離約為 12~15 cm，電位差約為 50,000~70,000 V。系統主要利用放電之電極線產生電暈放電，使空氣分子游離而形成帶電之空氣離子，而空氣離子再與粉塵微粒接觸及產生電荷，並在電場力的作用下，使粉塵微粒朝向其電性相反之收集板方向做運動，進而沉積在集塵板上，設備如圖 5^[2]所示。其缺點是需佔用較大的場地，且設置費用最高及系統操作複雜。

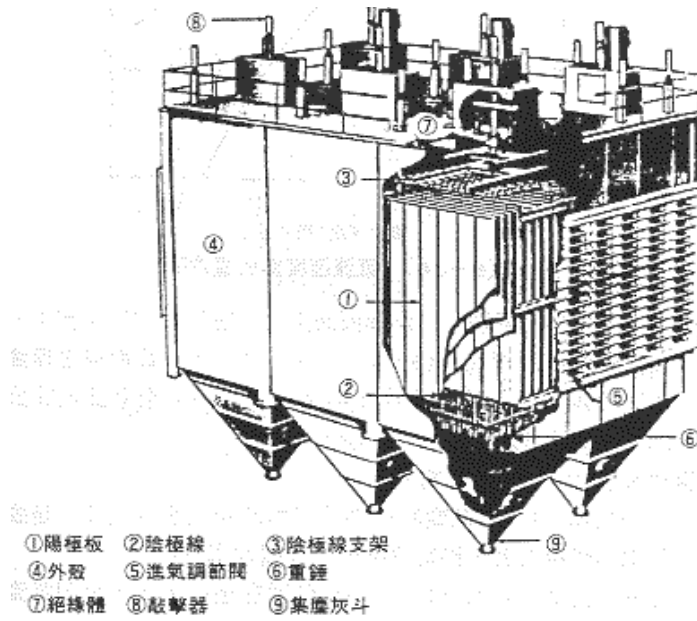


圖5 靜電集塵器裝置^[2]

6. 陶瓷過濾器

在高溫氣體淨化技術方面，陶瓷過濾器為目前被廣泛採用的系統之一，而陶瓷過濾器乃利用一耐高溫高壓之桶槽內置入排列整齊之陶瓷濾棒來進行除塵(如圖 6^[3]所示)。

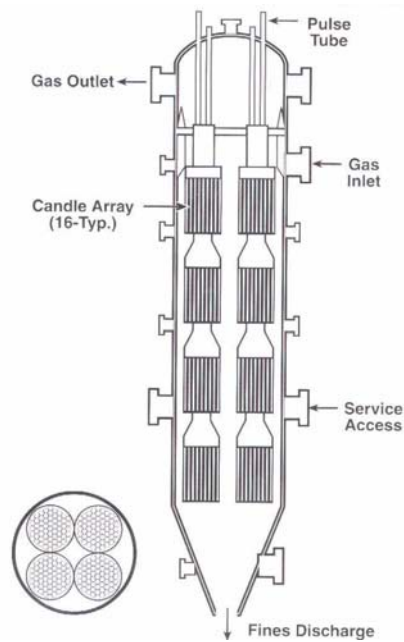


圖6 陶瓷過濾器^[3]

當粉塵微粒通過陶瓷濾棒，粉塵微粒所產生的慣性衝擊與濾棒上的微孔孔道壁接觸時被攔阻與捕集，而使乾淨氣體經過中空濾棒之內通道流出。此設備的過濾效率可達 99.9% 以上，但系統的高成本、高壓降(低氣體出口流量)及機械性質的耐久性差為急需解決的課題。另外，常有陶瓷碎裂及表面堵塞狀況產生，因此經常造成系統停機維修。若燃氣或過濾氣體中含有焦油，會阻塞濾棒導致無法逆洗，而需定期更新，造成系統使用成本增加。

7. 流動式顆粒床過濾器

流動式顆粒床淨化系統之設計及操作方式有許多種，圖 7^[3]為典型的流動式顆粒床淨化系統圖；如圖所示，剖面處為一環狀容器，在內緣壁與外緣壁之間有數組呈百葉窗排列方式的葉片，而容器內側由上而下不斷填充顆粒狀之濾材。當含粉塵微粒的廢氣或燃氣由中央的煙道進入環狀容器內側，經由內側百葉窗開口穿過顆粒濾材後被淨化，再通過外側百葉窗開口流出排放；意即利用含粉塵微粒的廢氣通過顆粒床過濾器時，利用濾材攔截粉塵微粒以達過濾目的。另一方面，濾材與粉塵微粒則沿著環狀容器往下流出，再另行分離再生程序；而分離過的乾淨濾材則藉由氣送循環系統，送回過濾區繼續重新使用。顆粒床過濾器的優點為可高溫除塵、過濾效率佳、可採用低價濾材、可搭配物理/化學吸附劑淨化其他污染物等。而影響系統過濾效率的因素包括：進氣口葉片之尺寸及形狀、葉片傾斜之角度、濾材之間及濾材與顆粒床體邊壁所產生之摩擦係數的影響等。

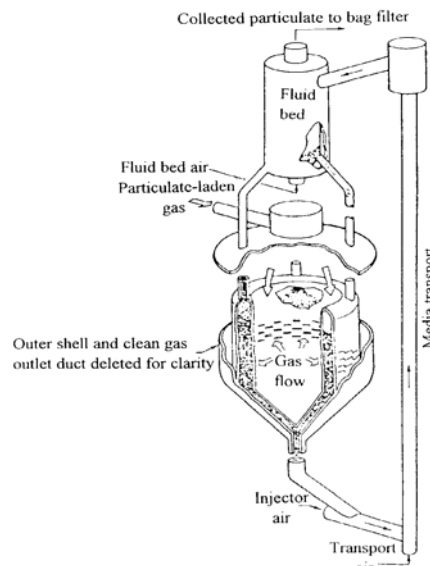


圖 7 流動式顆粒床過濾器^[3]

在流動式顆粒床淨化系統內，濾材顆粒順暢的流動是流動式顆粒床重要的因素之一。如圖 8^[3]所示，在進口與出口的葉片間，濾材可能堆積形成一停滯區(stagnant zone)或流動極為緩慢之半停滯區(quasi-stagnant zone)，跟隨廢氣(raw gas)所進入的粉塵微粒則會為此濾材(半)停滯區之濾材攔阻；久而久之，此面積會擴大，終將造成廢氣進口處的堵塞，系統將因廢氣無法持續進入顆粒床體，造成過濾系統的失效。相關研究技術發展中，這是一大瓶頸。中央大學蕭述三教授的研究團隊歷經多年的研究，已成功開發出流動校正單元，並在顆粒過濾床中加入一系列之三角形之流動校正單元(flow corrective element)後，如圖 9^[3]所示，可有效消除停滯區，而使得濾材流動順暢^[3~6]。近幾年，原子能委員會核能研究所邱耀平博士及其研究團隊積極規劃開發高溫淨化技術及設備，冀望將流動式顆粒床發展成複合功能的過濾系統；除了粉塵微粒的去除外，對於廢氣中的酸鹼性的成份亦可能一併做淨化的處理，其相關成果將陸續發表^[7]。

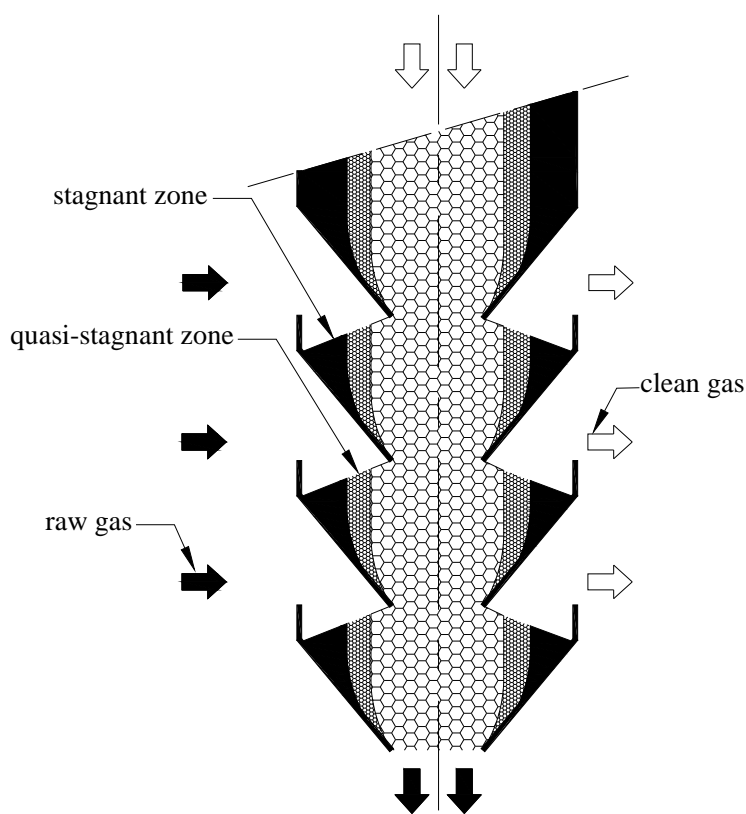


圖8 流動式顆粒床之靜止區示意圖^[3]

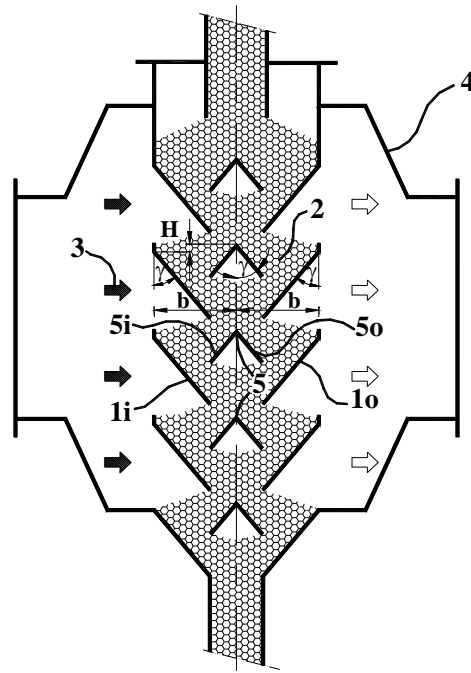


圖 9 置入流動校正單元顆粒床示意圖^[3]

三、淨化設備與技術的優缺點比較

高溫氣體淨化技術及設備的優缺點比較如表 1 所示，而各類型過濾器之性能比較可參閱圖 10^[8]。重力沉降箱、旋風分離器、濕式洗滌器及濾袋集塵器等氣體淨化系統除了因無法在高溫過濾所造成的熱能源利用效率降低外，更有二次污染或無法滿足下游設備規格需求等缺點。靜電集塵器設備費用高，複雜的設備操作需專業的人員來控制；因此，目前以陶瓷及移動式顆粒床過濾器最常被廣泛採用於高溫氣體淨化相關技術及設備。其優點在於可增加顯熱利用率，提高能源效率，並可簡化程序設備，如熱交換器等；且當熱回收時，因有較高之溫度差，回收效率高，設備成本也低。此外，利用乾式過濾方式，亦可減少廢水的產生並降低處理成本。

然而，陶瓷過濾器的陶瓷濾棒在高溫下其機械可靠性差，常有陶瓷表面堵塞、碎裂，因此經常造成系統停機維修等問題。在移動式顆粒床過濾器的相關技術上，所採用的過濾介質價格低廉、耐高溫、耐酸鹼、不易毀壞、容易更換及除塵力佳，而且壽命長。進氣口葉片的設計是顆粒床過濾器系統在研發上的瓶頸所在，無論是葉片傾斜的角度、間距以及管路摩擦係數，皆會影響濾材顆粒於顆粒床內之流動。不佳之設計，將導致顆粒體產生堆積，並大幅增加停滯區面積，使得濾材流動受到阻塞。

表1 高溫氣體淨化技術及設備優缺點比較

過濾器種類	優點	缺點
重力沉降箱	<ol style="list-style-type: none"> 1.構造簡單 2.操作成本低 3.維護費用低 	<ol style="list-style-type: none"> 1.淨化效果差 2.所需空間大 3.適用於粗淨化或淨氣前處理設備
旋風集塵器	<ol style="list-style-type: none"> 1.構造簡單，操作成本低 2.壓降低，粉塵微粒處理量大 3.可於高溫870°C環境下操作 4.成本及維護費用低 	<ol style="list-style-type: none"> 1.對細小粉塵微粒過濾效率較低 2.可收集的粒徑範圍小
濕式洗滌器	<ol style="list-style-type: none"> 1.除塵效率佳 2.不易故障 3.運轉成本低廉 	<ol style="list-style-type: none"> 1.水源不足之場地不能採用 2.污染物與洗滌液分離困難，易產生二次污染
袋式集塵器	<ol style="list-style-type: none"> 1.過濾效率優異(大於99.9%) 2.設備建構成本低 3.設備操作簡單 4.可回收粉塵，具有大的經濟效益 	<ol style="list-style-type: none"> 1.設備面積大 2.需定期汰換濾布，增加操作成本高 3.設備操作有溫度限制(低於200°C)
靜電集塵器	<ol style="list-style-type: none"> 1.壓降小 2.粉塵微粒處理量大 3.對細小粒子有較高的過濾效率 4.可於高溫(1,090°C)環境及強腐蝕性氣體下運作 5.粉塵可回收，具經濟效益 	<ol style="list-style-type: none"> 1.進氣速度大易使過濾效率差 2.對電阻效應過高或過低之粒子較難收集 3.系統建構成本高且佔地面積廣 4.設備費用昂貴
陶瓷過濾器	<ol style="list-style-type: none"> 1.過濾效率優異(大於99.9%) 2.系統耐腐蝕及耐高溫 3.濾棒不吸附水、二氧化碳、氧和其他氣體 	<ol style="list-style-type: none"> 1.壓降大 2.機械可靠性差 3.濾棒表面易發生堵塞、碎裂 4.濾棒成本高 5.常需停機維修
移動式顆粒床過濾器	<ol style="list-style-type: none"> 1.可於高溫環境下操作，熱能源利用效率較佳 2.壓降較小 3.可同時去除其它污染物 4.濾材耐腐蝕與耐磨損 5.設備維修費用低 	<ol style="list-style-type: none"> 1.實際應用尚不多 2.濾材流場易產生停滯區的問題

Ceramic barrier filters: candle filters,
tube filters and cross/parallel flow filters

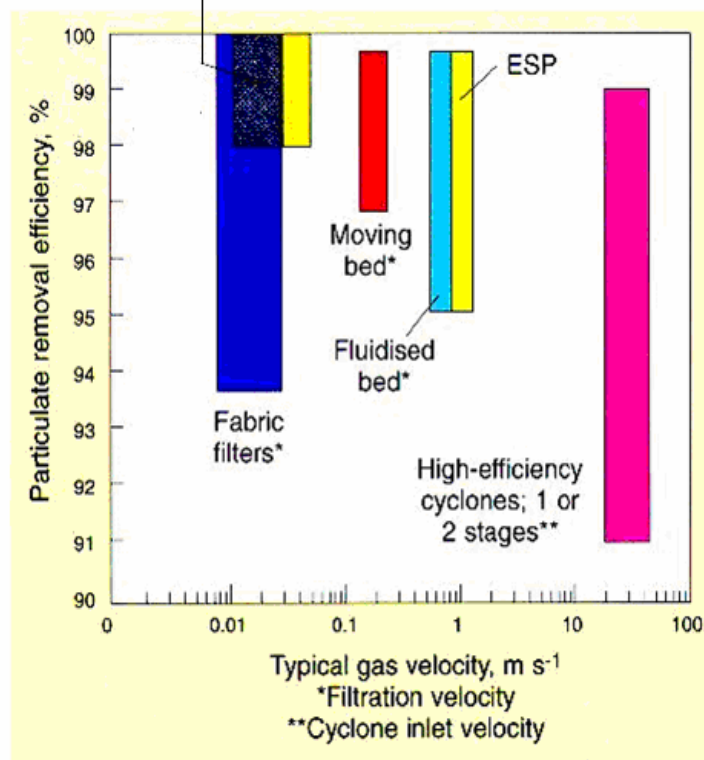


圖 10 各類型過濾器之性能比較^[8]

四、結 論

如何選擇一套具有適用性及實務性之淨化設備，為高溫氣體淨化技術上一重要課題。相關業者對於所需的氣體淨化技術及設備，往往只靠過去經驗及理論來互相搭配，去選擇所需要之淨化系統。而本篇文章所提出的高溫氣體淨化技術的探討之主要訴求是希望根據本篇文章的分析，提供給相關業者一個思考方向，不是只針對能儘快處理污染物，而沒有正視後續可能所衍生出的問題。藉由本篇文章的探討，讓相關業界對於高溫氣體淨化技術及設備能有較佳的選擇方向，以投資最經濟之設備與操作成本，選擇最佳之系統，以達到最好的淨化處理效率及經驗傳承之參考依據。

五、參考文獻

1. 經濟部能源局，「能源科技研究發展白皮書」，2007年12月。
2. 魏維新，「環境污染學」，合記圖書出版社，1997年6月。
3. 蕭述三，「流動式顆粒床高溫過濾技術應用於生質廢棄物氣化燃燒發電系

- 統之研究－總計劃及子計畫－：流動式顆粒床過濾效能提升改進方案與彎曲葉片系統流場觀測及性能測試」，國科會專題研究計畫成果報告，2004年，NSC 92-2211-E-008-012。
4. Hsiau, S. S., Smid, J., Wang, C. Y., Kuo, J. T. and Chou, C. S., “Velocity Profiles of Granules in Moving Bed Filters,” *Chemical Engineering Science*, 1999, Vol. 54, No. 3, pp. 293-301.
 5. Hsiau, S. S., Smid, J., Tsai, F. H., Kuo, J. T. and Chou, C. S., “Placement of Flow Corrective Elements in a Moving Granular Bed with Louvered Walls,” *Chemical Engineering and Processing*, 2004, Vol. 43, No. 8, pp. 1037-1045.
 6. Chen, Y. S., Hsiau, S. S., Lai, S. C., Chyou, Y. P., Li, H. Y., Hsu, C. J., “Filtration of dust particulates with a moving granular bed filter,” *Journal of Hazardous Materials*, in press.
 7. Smid, J., Huang, T. C., Chyou, Y. P., Hsiau, S. S., “Flow-Corrective Insert in a Model of Two-Dimensional Hopper,” 中國機械工程學會第二十六屆全國學術研討會論文集，2009年，台南。
 8. Zevenhoven, R. Kilpinen, K. “Control of pollutants in flue gases and fuel gases,” Report TKK – ENY – 4, Helsinki University of Technology, Espoo and Abo Akademy University, Turku, Finland.

統一企業新市總廠溫室氣體減量技術應用工程實務

陳榮松*、黃明得*、陳邦雄**、簡志賢**、楊哲棋***

摘要

面對日益嚴重的氣候變遷之影響與衝擊，公司基於對環境的關心及熱愛，自發性地開始推動溫室氣體盤查與減量工作及結合政府專案活動，推動各項節能減碳規劃方案，如：能源再利用與工研院能資所合作導入沼氣純化發電技術工程，高效能馬達設備與工研院機械所合作空壓機系統節能方案，太陽能熱水系統、熱泵、變頻馬達等設備應用於生產製程中，同仁從合作與改善過程中吸收環保與節能技術，亦獲致實際的績效成果。

新市總廠(簡稱新市廠)沼氣發電技術之純化系統採用自行設計研究之填充式洗滌塔，而發電系統則引進工研院並聯式發電系統，沼氣發電技術，一方面將沼氣進行能源再利用，而另一方面可達到處理臭味之目的，新市廠沼氣回收發電每年可節省 100 萬元之電力費用，減少廢水場 5,122 噸之溫室氣體 CO_{2e} 排放量；乳品製程空壓設備系統運作調整與改善等節能成效，每年可節省 90.9 萬元之電力費用，減少乳品廠 224.7 噸之溫室氣體 CO_{2e} 排放量，乳品製程太陽能熱水器節能案每年可節省 23.9 萬元之蒸氣費用，減少乳品廠 26.1 噸之溫室氣體 CO_{2e} 排放量。

【關鍵字】溫室氣體、沼氣發電系統、空壓機系統、太陽能熱水器

*統一企業公司新市總廠電務課 組長、工程師

**統一企業公司新市總廠環保課 工程師、課長

***統一企業公司工程部 工程師

一、前言

溫室效應係由於工業革命以來人類大量使用石化能源，造成大氣中的溫室氣體(Greenhouse Gas)濃度大幅提高，氣溫逐漸升高的現象。由於溫室氣體可讓短波輻射通過，但會吸收長波輻射之氣體，包括二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亞氮(N₂O)、氫氟碳化物(HFCs)、全氟碳化物(PFCs)、六氟化硫(SF₆)，溫室效應所可能對地球環境造成之影響主要將包括海平面上升、淹沒陸地、全球氣候變遷、暴雨或乾旱、土地沙漠化，及生態環境的改變等。

沼氣主要成分為甲烷、二氧化碳及硫化氫；沼氣中甲烷(CH₄)含量約在50~80%之間，因為沼氣熱值約5,000~6,000 kcal/m³，是瓦斯的2/3倍；且其主要成份為甲烷，其溫室效應影響為二氧化碳之25倍，為造成地球臭氧層破洞元兇之一。若能將這些沼氣善加利用，在能源觀點上，不僅可以減少廠區之用電或降低燃料費用；在環保觀點上，既可減少石化燃料消耗，降低二氧化碳的排放，也可以阻止甲烷直接排放到大氣，對溫室氣體的抑制效益頗大。國內目前沼氣生產尚屬小型規模，無法變成管線氣，故利用方式只侷限於直接燃燒與產生電力。

太陽能的利用主要有光熱和光電，太陽能的利用無需燃料、無廢棄物與污染，具節能效益；若裝置在建築物上，同時可避免太陽對建築物的直射，間接可降低建築物的熱效應；目前國內太陽能的利用系統成本高，因此現階段產業之發展，必須仰賴政府的政策輔導。

統一企業基於對環境的關心及熱愛，結合政府專案活動，各生產廠積極推動項節能減碳規劃方案，如：溫室氣體排放量盤查、廢水沼氣發電技術應用、空壓機系統節能工程、生產製程太陽能熱水器使用、及熱泵設備使用等，除可降成本外亦可減少碳排放。

二、溫室氣體減量管理與規劃方向

統一企業新市總廠(簡稱新市廠)於2005年即開始進行溫室氣體排放量盤查計算，配合產基會侯萬善博士進行數據完整性查核，並制訂標準與查核辦法，每年盤查廠內溫室氣體排放量乙次，依據盤查結果進行下年度溫室氣體減量方案規劃，2009年新市廠溫室氣體減量方案包含：ISO14064-1系統外部查證、沼氣發電利用、空壓機系統節能整合、太陽能熱水器使用等，主要項目說明如下：

1. ISO14064-1 系統查證：

新市廠溫室氣體排放量盤查辦法，利用中國技術服務社之溫室氣體

(GHG)盤查工具，每年盤查之溫室氣體排放量，未執行外部查證程序，為釐清新市廠溫室氣體各項排放源以及排放量量化數值，將以 2008 年為基準年，並執行第三者查證工作，藉以作為新市廠未來各項溫室氣體減量方案之規畫依據，本次規畫方向如下：

(1)直接溫室氣體排放源減量規畫

可由溫室氣體盤查報告中，得知新市廠直接溫室氣體排放源之排放量數值，了解各項製程設備中可能產出之溫室氣體排放量，並藉此規畫各項製程設備之清潔生產機制，達成製程中直接溫室氣體排放減量目標。

(2)能源間接溫室氣體排放源減量規畫

可由溫室氣體盤查報告中，得知新市廠能源間接溫室氣體排放源之排放量數值，了解新市廠外購電力、熱及蒸氣之溫室氣體排放狀況，並藉此規畫各項節能方案以及汽電公生等可行之節能規畫，汰舊老舊用電設備，並可參考引進能源減量服務相關設備，達成節能省電減碳之目標。

(3)其他間接溫室氣體排放源減量規畫

可由溫室氣體盤查報告中，得知新市廠其他間接溫室氣體排放源之排放量數值，瞭解其餘各項溫室氣體排放單元，藉此研擬相關管控措施，達成溫室氣體減量目標。

2.沼氣發電利用：

目前國內沼氣利用主要利用方式有直接燃燒、汽油或柴油引擎帶動發電機產生電力或工廠輔助燃料等用途。新市廠沼氣產生來自廢水厭氣處理系統，屬於中熱值氣體，沼氣以燃燒發電利用不但可減少購電成本，且可避免沼氣溢散污染大氣有益環保；廢水厭氣處理產生之沼氣量，依厭氣處理前後之 COD 值轉換，若未收集其溫室氣體排放量每日達 25 公噸 CO_{2e} 以上。新市廠規畫考量原則有下列幾項：

- (1)厭氣池防火安全設備因廢氣中之雜質與硫化物導致管件阻塞，將採用水封設備取代防火安全閥件。
- (2)設置沼氣純化系統降低含量及腐蝕性(氣體未純化致使燃燒設備操作發生故障與腐蝕，使用年限縮短)。
- (3)設置沼氣存袋以作緩衝(設計容量至少 1hr)。
- (4)採用直接併聯發電方式節省用電費用或將沼氣引入鍋爐燃燒方式，以節省燃料費用。

3.空壓機系統改善：

空壓機空氣取之於大氣回歸於大氣，具有低污染不自然無味無臭安全及易控制與傳輸等特性，廣泛應用於工業中，然而在能源效率轉換較水、電、蒸氣低，能源成本高達 10-20 元/KWh，能源使用效率提高，將可降低能源成本，減少溫室氣體排放。新市廠乳品製程空壓機系統整合之改善因素如下：

(1)乳品製程現有 4 部 KAESER 牌空壓機與一台復盛牌 100Hp 空壓機，型號規格如表 1，總用氣量介於 12~62CMM。由表 1 得知 K1 機為 215Hp 變頻機，全天運轉負責調變氣量變化需求，5 號機為備用機。晚上用氣量低時只開 2 台(K1 與另一台)，白天用氣量大時開 K1~K4 共 4 台，機器開關調整由操作人員手動控制，系統並非在最經濟運作狀況。

表 1 乳品廠空壓機型號規格

序號	1(變頻機)	2	3	4	5
名稱	K1 空壓機	K2 空壓機	K3 空壓機	K4 空壓機	SA4100WII
廠牌	KAESER	KAESER	KAESER	KAESER	復盛
機型	DSD281SFC	DSD141	DSD141	DSD201	SA4100WII
最高工作壓力 (Bar)	8.5	9	9	8.5	7
運轉時數/負載時數	16,079/15,944	27,455/24,700	41,034/34,269	35,491/34,627	24,658/----
額定馬力 (Hp)	215	100	100	150	100
全載風量 (Nm ³ /min)	22.38	11.64	11.21	17.21	10.2
消耗電力 (kW)	157.1	73.4	74.11	115.3	74.43
耗能比值(kW-H/Nm ³)	0.11698	0.1051	0.11018	0.11167	0.12517

(2)壓縮空氣亦供應廠內 Q16 充填機使用，Q16 機器白天運作時，因為單機需要空氣壓力至少 7Bar，而其他機器只需要較低壓力即可正常運作，由圖 1 可以看出，每日皆由操作人員手動調整系統壓力，早上約 6:30 點時調高至 7.9 Bar，往晚上約 10:30 點時調低至 6.9 Bar，因為 Q16 單一台機器較高壓力需求，致使全系統每日調高 1 Bar 壓力維持約 16 小時，系統浪費 7% 電力。

(3)空壓系統壓力設定為 7.9 Bar，至 Q16 只剩 7Bar，壓降 0.9 Bar 太大，其中 0.1um 空氣精密過濾器壓降 0.5Bar，導致過濾器耗損。

(4)空壓系統 K1~K4 提供最大氣量約 62.44 Nm³/min，5 號備用機只有 10.2

Nm³/min 備用氣量，若最大馬力機 K1 當機，系統將減少 22.38 Nm³/min，5 號備用機不足使用，會造成生產中斷的損失。

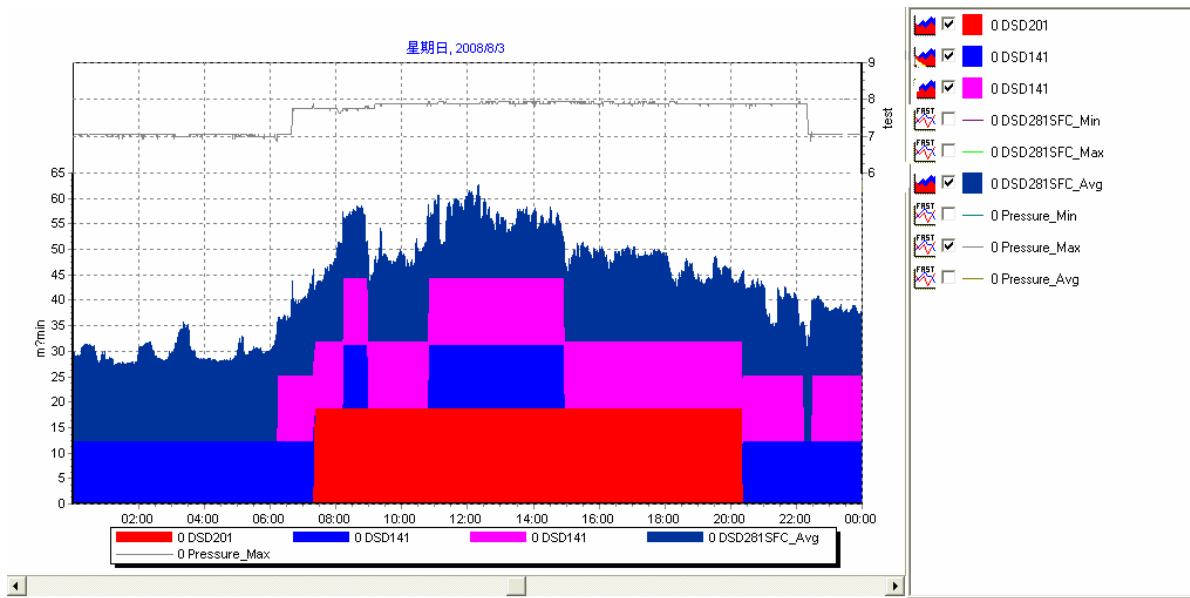


圖 1 乳品廠空壓機一日空氣需求變化

4. 太陽能熱水器應用：

目前太陽能熱水系統由三個主要元件所組成：集熱器、保溫儲水桶、以及輔助電熱器所組成，當水通過集熱器中的水管時，利用收集陽光所產生的熱能將水加熱，加熱後的水則流入保溫的儲水槽儲存以供使用；如遇陰雨天、冬季寒流來襲時，集熱器無法收集足夠的熱，以致儲水桶內的溫度不足時，輔助電熱器則會啟動用以輔助加熱。

現有輔助電熱器的設計：一為「儲水槽串接輔助電熱器」，儲水槽出水管路上串接一輔助電熱器，相當於把太陽能熱水系統當成熱水的預熱系統，不足的热量則由輔助電熱器來補充；二為「儲水槽內直接裝設輔助電熱器」，則是將電熱器直接裝在儲水槽中直接進行加熱。

新市廠乳品製程之熱水系統目前採用板式熱交換器，其熱源為蒸汽鍋爐燃油所產生，考量燃料油單價調漲導致蒸汽費用增高，因此規劃評估將太陽能熱水器應用於乳品製程調配用水加熱，藉以節省蒸汽用量，達到降低成本與節能減碳之目的。

三、溫室氣體減量執行與應用方式

新市廠 2009 年度各項節能減碳規劃方案之相關技術應用、引進執行方式說明如下：

1. ISO14064-1 系統查證執行方式：

新市廠採 ISO 14064 系列國際標準與溫室氣體盤查議定書內容，引用政府間氣候變化專門委員會(IPCC)與其他國際單位之資料，作為產業進行溫室氣體盤查參考之用，並執行第三者確證工作，完成查證申請作業、檢附具體成效佐證資料，於計畫完成後繳交查證聲明書，完成驗收工作，主要計畫目標為利用溫室氣體盤查各項工具，執行溫室氣體盤查以瞭解並掌握自身排放現況，為將來國內法規生效之管制要求及國際逐漸成形之排放交易市場，做好準備工作。

本工作計畫之減量工作屬於組織型(ISO 14064-1)之減量系統，乃溫室氣體第一部份，為組織層次上對於溫室氣體削減以及去除的量化、監測和報告的規範，適用於各類型和規模的組織，組織亦可根據本 ISO 標準對於自身的溫室氣體排放和去除進行量化和報告，組織型減量系統是中性的，對於各種溫室氣體計畫沒有傾向性，主要技術內容要求包括有溫室氣體清單的設計、制定，管理和報告的原則和要求，內含確定溫室氣體排放邊界、量化溫室氣體的排放和去除，以及制定改進溫室氣體管理措施的要求。此外還包括對清單質量管理、報告、內部審核、公司在查核方面責任的要求和指導。本標準充分注意到 UNFCCC、CDM 等溫室氣體控制機制的規定和作法，以便與之間容。

2. 沼氣發電技術應用方式：

新市廠沼氣產生量達 $1,500\text{m}^3/\text{day}$ 、硫化氫濃度 800ppm，以程式計算純化系統之流體動力之資料來看，較合適之技術為水洗純化技術。沼氣利用方式評估以自設發電機利用案經濟效益較佳，沼氣用來發電雖然沼氣熱值會因機電轉化效率減損，但直接併連輔助發電利用最為方便，且不致對原系統製程或設備造成影響。沼氣發電系統包括三大單元：沼氣收集純化系統、沼氣引擎系統、併聯式發電系統，除沼氣發電引擎由國外進口外，其餘皆採用國內技術，沼氣發電技術應用，一方面將沼氣進行能源回收再利用，而另一方面可達到處理沼氣與減少污染物排放之目的。沼氣收集純化、沼氣引擎、發電系統應用方式如下：

(1) 沼氣純化技術：

沼氣純化系統採用自行設計之填充式洗滌塔，沼氣先經過純化程序，去除硫化氫，再將已經過純化處理後之沼氣收集到儲袋，儲袋提

供穩壓及緩衝功能，作為發電設備之燃料。

沼氣純化以水為吸附劑，將沼氣中硫化氫及二氧化碳吸收達純化目的，水可循環再生利用，可達高純化效率，系統操作簡易且無須經常清洗更換，安全性高，無吸收劑毒性及副產物處理問題。沼氣經純化後可有效去除硫化氫及二氧化碳，達到各種使用需求標準，可提升沼氣運用品質及意願，達成沼氣能源之回收利用，並同時解決沼氣排放之污染問題。

(2) 沼氣引擎系統：

沼氣引擎系統發電設備採用內燃引擎結合感應發電機之組合，內燃引擎係用國外沼氣專用之瓦斯引擎(Gas Engine)，感應發電技術則是工研院能資所已研發出之技術。沼氣引擎採用美國 WAUKESHA 沼氣專用引擎(四行程、六汽缸，壓縮比 10:1 以上)，引擎冷卻系統將原廠氣冷式修改成水冷式冷卻系統如圖 2，冷卻水迴路中亦裝設流量開關，當冷卻水壓力過低或流量不足時，此流量開關自動關閉接點，使引擎立即停車並發出警示信號，及轉速過低、發電機過載、轉速異常等跳脫保護。

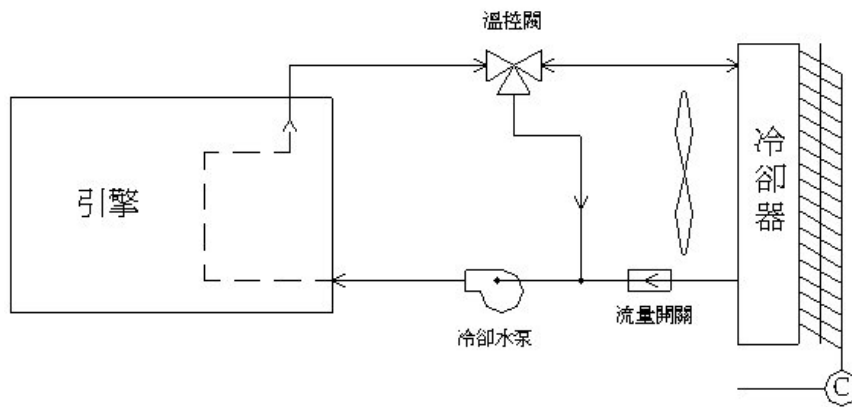


圖 2 沼氣引擎水冷式冷卻系統

(3) 發電系統技術：

發電系統則引進工研院併聯式感應發電機，此電力模式是利用市電系統提供所需虛功率，並將所發出的實功率與市電系統併聯，提供廠區用電。併聯式感應發電機最大的好處是操作與控制裝置非常簡單，無須複雜之併聯盤與同步裝置。它只能向市電或電網輸出實功率(P)，而建立磁場所需之虛功率(Q)乃必須由市電或電網供應。亦即感應

發電機缺乏獨立激磁電路，無法產生所需之虛功率，所以感應發電機必須與市電系統連接，以提供所需之虛功率，維持定子之磁場。此機組唯一限制為，當市電系統發生當機，無法提供電源時，發電機就無法運轉。

發電機組使用交流電動馬達啟動時，應以降壓啟動方式、且不能影響其他負載之正常運轉或導致跳車。發電機之電壓、頻率、相位角須隨負載之變化而同步追逐電力網電源(Utility Power)並進行電力源併聯功能。發電機輸出量係全載輸出控制，在發電機全載輸出狀況下，進氣量不因負載變化而調整，其電壓、頻率、相位角亦應與電力網電源同步。

3.空壓機系統改善方式：

乳品製程之空壓機使用系統整合，其改善項目與方式如下：

- (1)Q16 充填機器獨立新配一組空壓機，單獨供應 Q16 機器使用，將原系統壓力調降，減少能源使用耗損。
- (2)乳品製程系統加裝 KAESER 原廠多機連鎖裝置(型號：SAM8/4)。由連鎖裝置自動調整空壓機啟動與停止，避免由操作人員控制可能造成之損失，並可提高 K1 運轉於高效率區。
- (3)檢測系統壓力分配狀況，整修或換新壓降太大組件(如 0.1um 空氣精密過濾器壓降 0.5Bar)，以減少壓降。
- (4)當空壓機最大馬力機 K1 故障，系統將減少 $22.38 \text{ Nm}^3/\text{min}$ ，將啟動 5 號備用機提供 $10.2 \text{ Nm}^3/\text{min}$ 備用氣量，不足風量擬由飲料製程提供或另案購置備用機。
- (5)使用超音波漏氣偵測儀，找出輸送管路系統漏氣嚴重部分加以改善。
- (6)增加儲氣桶容積由 1.26 m^3 儲氣桶改為 5 m^3 儲氣桶。

4.太陽能熱水器應用方式：

乳品製程調配用之太陽能熱水器應用，將規劃採用太陽能熱水器與板式熱交換器所組成之系統，乳品製程調配用之熱水系統，前段採用太陽能熱水器直接進行加熱，後段再由板式熱交換器加熱致場內所需之溫度。新市廠太陽能熱水器日照條件：其水平輻射量為 $16.2 \text{ MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ 、有效日照天數為 336 天(每日輻射量 > 700 萬焦耳/ m^2)、太陽能熱水器於有效日照時平均溫度為 65°C 等。

新市廠依據日照條件與設置成本等資料，廠內將設置 20 台太陽能熱水器，每台有效集熱面積 3.82 m^2 ，每日製造 65°C 之熱水 6 噸，不足溫度再由板式熱交換器加熱至調配用水所需溫度。

四、溫室氣體減量方案成效

1. ISO14064-1 系統查證：

新市廠溫室氣體排放量計算，以採用”排放係數法”及”質量平衡”為主。其中因國內目前僅有能源局公布電力排放係數，且目前並無溫室氣體排放量之相關研究資料，因此排放係數主要係引用聯合國政府間氣候變化專家委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)所公告之原始係數及本公司依含碳率自行演算之係數為主，量化公式如下：

溫室氣體 CO₂ 當量=使用量(產生量)×排放係數×全球暖化潛勢

CO₂ 排放係數= CO₂ 排放係數×碳氧化因子×熱值×單位轉換數值

CH₄ 排放係數= CH₄ 排放係數×熱值×單位轉換數值

N₂O 排放係數=N₂O 排放係數×熱值×單位轉換數值

新市廠溫室氣體排放清冊之不確認評估結果，95%信賴區間上下限為：-4.1%~+4.0%，總溫室氣體排放量佔整廠之 99.79%，具有相當代表性。2008 年新市廠溫室氣體排放量：61,487 公噸 CO_{2e}，各範疇別與各溫室氣體總類排放如表 2、3 所示：

表 2 新市廠各範疇別溫室氣體排放量

各範疇排放比例	範疇 1	範疇 2	總計
溫室氣體排放量(公噸 CO _{2e} /年)	27,868	33,619	61,487
佔總排放量比例(%)	45.323%	54.677%	100%

表 3 新市廠六大溫室氣體排放量

溫室氣體排放量(公噸 CO _{2e} /年)						
CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PHC	SF ₆	總計
55,671	5,760	51	5	0	0	61,487
90.541%	9.367%	0.082%	0.009%	0	0	100%

2. 沼氣發電利用：

沼氣發電利用系統包含收集純化、沼氣引擎與發電系統，其總投資費用 712 萬元回收年限 3.8 年，各項設備能力測試與效益如下：

(1)沼氣收集

沼氣儲存袋充滿所需時間分別為 39 分 5 秒、37 分 12 秒、38 分 55 秒、換算成留量分別為 65Nm³/hr、69Nm³/hr、65Nm³/hr，平均值為 67Nm³/hr。

(2)純化去除率

純化系統連續運轉 72 小時候用 GASTAC 檢知管檢測，每 20 分鐘量取一次，檢測資料如表 4，沼氣洗滌塔之硫化物去除效率 85% 以上，洗滌用水為廢水排放水再利用。

表 4 沼氣純化資料

	未純化之沼氣內硫化氫含量(ppm)	純化後之沼氣內硫化氫含量(ppm)	去除率(%)
第 1 次	850	70	91.8
第 2 次	900	155	82.8
第 3 次	820	80	90.2
平均值	857	101.7	88.3

(3)沼氣發電：

沼氣發電機組以試車當時正常室溫下提供沼氣，連續 3 次每次 2 小時滿載運轉、並且以合格之電力分析儀量測發電機輸出功率，能力驗收標準為發電機額定輸出±10%內，發電機組性能、穩定測試結果如下：

a.性能測試

沼氣發電機啟動後，調節沼氣量與空氣量得到適當空燃比，逐步增大節流閥開度，此時引擎轉速也增快，電力輸出也增加，超過適當節流閥開度臨界點後，引擎轉速再增快其電力輸出卻減少，資料繪製成圖 3，圖中操作點由 A 點至 E 點，超過 D 點輸出電力與節流閥開度成反比。

b.穩定測試

調整適當節流閥開度，使其輸出約 84kW，當機組穩定後每隔 30 分鐘紀錄運轉時兼與電力輸出，得到相關資料繪製成圖 4，在圖中 A 點為此紀錄資料中電力輸出最小值為 83 kW，B 點為此紀錄資料中電力輸出最大值為 87 kW，其與平均值 86 kW 之相對差距分別為 3%

及 1%，顯示機組電力輸出非常穩定。

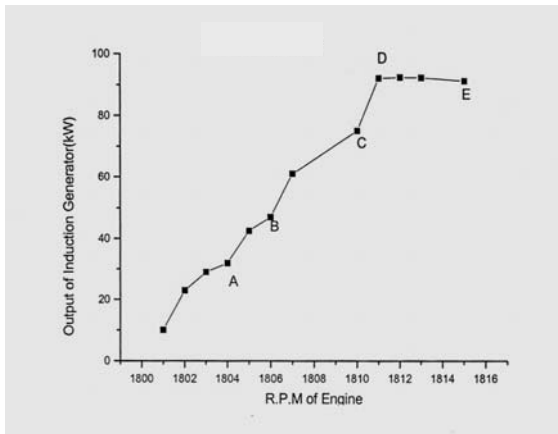


圖 3 沼氣發電機性能曲線

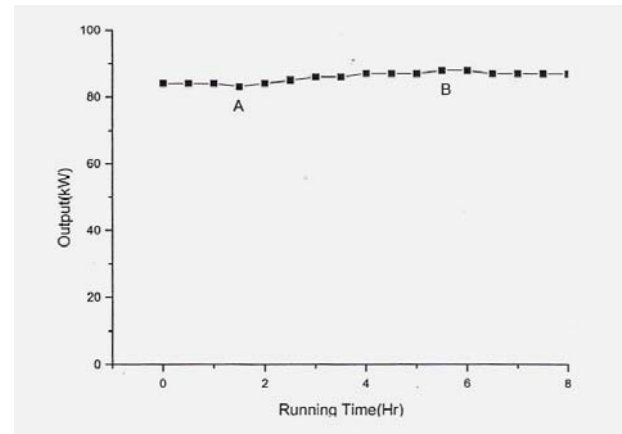


圖 4 沼氣發電機穩定測試曲線

沼氣發電利用量沼氣用流量計與發電量用電流表紀錄，新市廠沼氣發電利用之每年可節省廢水場電力費用達 100 萬元，98 年沼氣發電利用資料如表 5。沼氣理論產生量 = kg COD 厭氣分解量 × 0.25 / 1,000。

表 5 98 年沼氣發電利用資料

	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月
沼氣產生量 m ³	34,518	30,414	41,824	34,128	36,720	35,067	32,461	42,077	45,185
沼氣利用量 m ³	32,260	25,648	25,890	28,705	35,372	32,264	31,924	41,738	36,083
發電量 KWh	25,549	20,713	23,812	22,983	26,023	27,031	23,873	28,712	29,975

(4) 減碳效益

98 年節省發電量 228,671 KWh × 0.000637 kg-CO₂ / KWh + 98 年沼氣利用量 289,884 m³ × 0.7143 kg CH₄ / m³ × 24 CO₂ / CH₄ = 5,122 CO_{2e}，新市廢水沼氣發電系統流程之實場設備如圖 5。

3. 空壓機系統改善：

乳品製程空壓機系統改善共投資 170 萬元回收年限約 1.8 年，全系統達到 17.3% 節能效果，依據 97 年乳品製程空壓機年度電費資料如表 6，節能改善基準之認定方式以表 6 測量期間系統一週耗能為認定基準，與改善後實測之一週系統耗能，依節能比率計算，節能比率 = (改善前系統耗能 - 改善後系統耗能) / 改善前系統耗能 × 100；其各項獲益計算合計如表 7，由表 7 之各項結果換算其 CO_{2e} 排放量，空壓機系統改善溫室氣體減量每年達 224.7 噸 (CO₂ 換算值每 kW-h 為 0.67kg)，空壓機系統改善前後如圖 6，

各項節能計算如表 7 所列。



圖 5 廢水沼氣發電系統流程設備

表 6 乳品製程空壓機系統 97 年度電費資料

序號	1(變頻機)	2	3	4
名稱	K1 空壓機	K2 空壓機	K3 空壓機	K4 空壓機
耗能比值(kW-H/Nm ³)	0.11698	0.1051	0.11018	0.11167
每日平均用氣量(Nm ³)	16,372	11,699	9,054	15,049
每年消耗電力(kWh)	689,471	442,643	359,125	604,988
每年消耗電費(元)	1,723,677	1,106,607	897,812	1,512,470
測量期間：2008/7/31~2008/8/15，每 kW-h 電費為 NT\$ 2.5 元				
每日耗電=(689,471+442,643+359,125+604,988)/360= 2,096,227/360= 5,822 kWh/日				
年度電費=1,723,677+1,106,607+897,812+1,512,470= 5,240,566 元/年。				

表 7 乳品製程空壓機系統改善措施節能資料

節能措施	每年節省電力	每年節省金額	節能比率
Q16 充填機採用獨立供氣系統	192,853kWH/年	482,132 元/年	9.2 %
使用 SAM 中央監控控制器	62,886kWH/年	157,216 元/年	3 %
降低工作壓力	79,656kWH/年	199,141 元/年	3.8%
空氣精密過濾器耗材節省	-----	70,833 元/年	1.3%
合計	335,395kWH/年	909,322 元/年	17.3%

※節能比率依據 98 年度耗能比值與每日平均用氣量推算，因工程 10 月才完成目前測試執行中，尚未全部完成預定 11 月可完成，節能比率用預估值暫代。



圖 6 空壓機系統改善後設備實體

(1)Q16 充填機採用獨立供氣系統

乳品製程 Q16 充填機之主空壓供氣系統工作壓力，由 7.9Bar(g)降為 6.5Bar(g) 期間，產生 9.8% 電力節能效益，扣除 Q16 維持 7.9 Bar(g) 用氣，電力節能 9.2%，依表 7 年度電費資料計算，節能費用達 482,132 元/年。

(2)使用 SAM 中央監控控制器

藉提升 K1 變頻機負載量來提高系統整體效率，避免 K1 空壓機怠速運轉(under 25HZ)，並且節省人工控制操作工時，以最經濟的空壓機使用及節能功用，經過原廠 KESS 軟體計算有 3% 電力節能效益，依表 7 年度電費資料計算，節能費用達 157,216 元/年。

(3)降低工作壓力

工作壓力降低至 6.5Bar(g)使管路系統洩漏量及管內壓力損失降低，現場洩漏經測試佔總供氣量 10%，每降低 1Bar 系統壓力可減少洩漏量 13~14%，全廠管路系統降低 1.4Bar 減少洩漏約有 10%×13%×1.4

=1.8%效益，加上維護管路及零件以減少系統漏氣 2%，共節能 1.8%+2%
=3.8%，依表 7 年度電費資料計算，節能費用達 199,141 元/年。

(4)空氣精密過濾器耗材節省

改善前空氣精密過濾器耗材每 3 年更換 1 次：5 支/次×78,500 元/
支=392,500 元。平均每 1 年更換 392,500 元/3 年=130,833 元/年。改
善後空氣精密過濾器耗材每 1 年更換 1 次：2 支/次×30,000 元/支=60,000
元/年。每年節省 130,833 元－60,000 元=70,833 元/年。

4.太陽能熱水器應用：

太陽能熱水器於 9 月份已安裝完成，投資費用 120 萬元回收年限約
6.3 年，但未配合廠內其他改善措施，太陽能熱水器與板式熱交換器之熱
水系統，於 10 月開始測試預定 11 月份正式使用，太陽能熱水器設備如圖
7，未來節能費用估算如下所列：



圖 7、太陽能熱水器設備

(1)節省熱量費用

全年回收熱量 $(4.5 \times 10^6 \text{ Kcal/年-台}) \times$ 每仟卡熱能之單位實際價值=
 $90 \times 10^6 \text{ Kcal/年} \times 0.00266 \text{ 元/ Kcal} = 239,400 \text{ 元/年}$ 。

(2)減碳效益

全年節省燃料油量 = $90 \times 10^6 \text{ Kcal/年} \div$ 燃料油每公升熱水量 9,308
Kcal/公升 = 9,669 公升/年

減少溫室氣體 CO_{2e} 排放量 = 9,669 公升/年 × 2.7kg/公升 × 10⁻³ 噸
/kg = 26.1 噸/年

五、結 論

面對全球重視之環境氣候變遷的問題，雖然食品業並非能源密集工業，但新市廠已將執行溫室氣體盤查當作一項日常方針作業，今年並通過 ISO 14064-1 系統查驗，未來節能減碳工作亦持續研發與應用相關技術。

沼氣善加利用不僅減少廠區之用電費用或降低燃料費用，既可減少二氧化碳的排放，對溫室氣體的抑制效益頗大；然而沼氣在利用上仍受到許多環境條件之限制，惟因石化燃料日益短缺，沼氣利用於再生能源中將受重視。

壓縮空氣耗能改善並不需巨額投資，在全球油價攀升及能源短缺的情形，電費調漲是必然趨勢，提高壓縮空氣使用效率除可減少電力費用支出，亦可降低溫室氣體排放達到節能減碳於強化公司競爭力的目的。

太陽能熱水器應用最大的問題是，遇陰雨天、冬季寒流來襲時，集熱器無法收集足夠的熱，使用輔助電熱器其耗電量大，因此太陽能熱水器結合熱泵設備將是未來趨勢，太陽能投資成本高，該技術應用還需要政策獎勵補助才能有效推廣。

六、參考文獻

1. 統一企業公司新市廠 97 年溫室氣體盤查報告書，經濟部工業局，98 年 7 月。
2. 李宏台、張家裕等，「沼氣發電技術示範」結案報告，工研院能源與資源所，89 年 12 月。
3. 壓縮空氣系統能源查核及節約能源案例手冊，經濟部工業局。
4. 黃秉鈞，「熱泵熱水器-利用熱泵吸收來自太陽的大氣熱能」，經濟部能源局 能源報導 95 年 5 月。

議程六

1. 鼓風機進風道除塵效能之提升

林勳佑、盧毓龍

2. 熱風爐系統熱效率提昇

林佩勳、王佰祥、姚文台、蔡日新

3. 瀝青拌合業異味改善成功案例

羅金泉、王品凱、陳子秦、司洪濤

鼓風機進風道除塵效能之提升

林勳佑*、盧毓龍**

摘 要

高爐煉鐵所需的冷鼓風係由動力工場鼓風機直接抽引外界環境的大氣，經加壓、升溫後製備而得。為避免大氣中懸浮微粒進入鼓風機而損害其葉片，乃在鼓風機之進風道內設置除塵系統。為提升該除塵系統之效率，本研究利用微孔均勻沈降衝擊器(Micro-orifice Uniform Deposit Impactors, MOUDI)分別在鼓風機除塵前與除塵後進行粉塵微粒採樣，且將採集的微粒以離子層析儀(Ion Chromatography, IC)分析硫、氯等具有腐蝕特性之離子濃度。

粉塵微粒量測結果顯示，除塵設備可將粉塵濃度由 $103 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 大幅降低至 $28\sim 43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。除塵前懸浮微粒呈雙峰分布(bi-mode distribution)，其波峰主要在 $0.56 \mu\text{m} \sim 1.0 \mu\text{m}$ 及 $3.2 \mu\text{m} \sim 5.6 \mu\text{m}$ ；除塵後懸浮微粒則呈現單峰分布，波峰出現在 $0.56 \mu\text{m} \sim 1.8 \mu\text{m}$ ，顯示現有除塵設備對粗微粒($dp \geq 2.5 \mu\text{m}$)有較佳的去除效果。此外，除塵前粉塵水溶性離子濃度以硫酸鹽濃度最高，其次為硝酸鹽；除塵後，氯離子、硝酸鹽及硫酸鹽等水溶性離子濃度均有明顯下降的趨勢，其中以氯離子減少幅度較大。上述研究結果推測過濾後的粉塵對導葉片表面沖蝕作用應屬輕微，未來可由(1)適當增加鄰近道路的灑水頻率，減少交通揚塵之影響；(2)改變進風道進氣位置，減少懸浮微粒抽引至進風道；(3)移除現有金屬濾網，減少壓損，同時以編織較密之過濾材取代；(4)加強緊急風門之除塵效能，避免外氣微粒隨氣流直接抽至導葉片處。

【關鍵字】鼓風機、除塵設備、微孔均勻沈降衝擊器、粒徑分布、離子分析

*中鋼公司新材料研究發展處 工程師

**中鋼公司公用設施處 股長

一、前言

袋濾集塵機由於具備去除效率高、裝置費用適中及處理量大等特性，廣受工業界熱愛作為煙道除塵的設備，特別是燃煤電廠、鋼鐵廠及廢棄物焚化廠等^[1~4]。在鋼鐵煉製過程中，高爐煉鐵所需的冷鼓風係由動力工場鼓風機所提供，冷鼓風產生方式係利用鼓風機直接抽引外界環境的大氣，將其加壓升溫後製備而得。為避免大氣中所含的粒狀物隨氣流抽引至鼓風機處，直接或間接造成鼓風機導葉片損害事故之發生，通常在氣流通過的進風道內設置除塵系統(Indoor Air Filter Unit, IAFU)，藉以去除進流的粒狀物。然而，從設備設置目的與用途之觀點而言，鼓風機 IAFU 與一般煙道除塵設備不同，同時亦無需受相關的法規管制，操作時僅需避免抽氣壓損過高及導葉片受損即可。

由於鼓風機歷經長時間的操作使用，曾在鼓風機歲修檢測時發現第一級 29 支進氣導葉片中，共有 16 支葉片於護環處的根部發現裂痕，且於葉片的內、外兩側均可觀察到裂痕；同時亦發現導葉片表面有許多粉塵微粒殘留，此顯示目前導葉片洗塵程序並無法有效清洗葉片上累積的粉塵。為釐清導葉片裂痕的發生是否與進流的懸浮微粒有關，特進行鼓風機進風道懸浮微粒採樣與分析，探討鼓風機現有除塵系統的除塵效能及除塵前後粉塵的特性，作為釐清上述問題的佐證資料，並針對現有的進風道 IAFU 系統提供除塵效能提升之改善方案。

二、鼓風機進風道除塵系統(IAFU)

中鋼公司(以下簡稱本公司)動力二場進風道現有的除塵系統細分成四道除塵程序，分別為 Intake Louvre (進風口的隔板窗)、Inertial Separator (慣性分離器)、Metal Filter Cell (金屬製網格狀過濾器)、Pocket Filter (袋狀過濾器)^[5]。在正常操作下，所有進入鼓風機的氣體均需通過除塵系統，然在下雨天或除塵系統壓損過大時，旁通管道即會自動開啟，直接導引外氣進入鼓風機中，目前旁通管道外側僅裝設隔板窗阻擋防止大顆粒或質量的污染物進入，對於一般懸浮微粒去除效果較低。

1. Intake Louvre

具備防止大體積或質量的污染物及外來的物質(如枝葉、塑膠袋等)進入進風道，並提供良好視覺等建築美學功能。本廠動力二場所採用的 Louvre 為水平式(如圖 1)，係由數片鋼製平板所組合而成，進風角度呈 30°，可視為後續三道除塵設備之前處理。

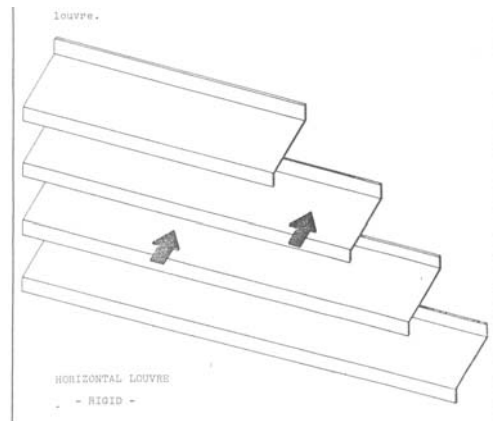


圖 1 水平式 Louvre 示意圖

2. Inertial Separator

利用慣性力將氣體中的粒狀物質進行分離。其除塵流程係將通過水平式 Louvre 的氣體引進 Inertial Separator，此時粒徑較大的懸浮微粒因慣性力無法改變行進的方向而直接撞擊收集管，再由收集管內風扇抽引而與原進流氣體分離；粒徑較小且重量較輕的懸浮微粒可隨氣流轉彎，通過側邊的通風道而流至下一階段的除塵設備(如圖 2)。

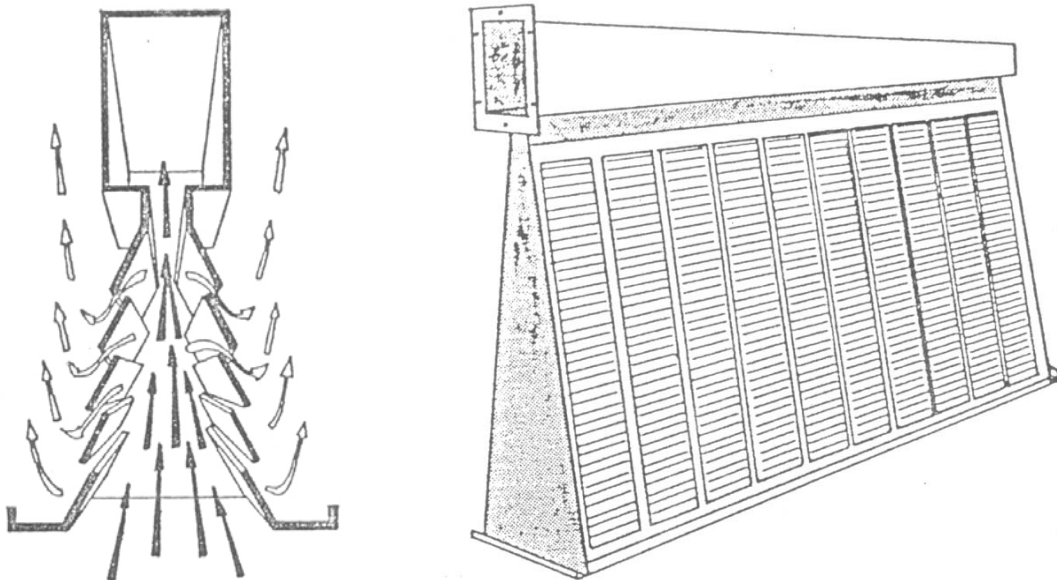


圖 2 Inertial Separator 除塵原理與設備外視圖

3. Metal Filter Cell

係由一 48 層金屬網所組合而成，當氣體流經 Metal Filter Cell 時，氣體會隨氣流改變方向通過金屬網格，然而懸浮微粒則因慣性力直接撞擊平板上的金屬網格而與氣體分離。通常 Metal Filter Cell 在使用一段時間後需抽出加以清洗，以降低進風道的壓損。

4. Pocket Filter

將通過前三道除塵設備後仍殘存於氣體中的懸浮微粒導引至 Pocket Filter 進行去除。Pocket Filter (本公司採用 BeTa K50 型濾袋)由高品質的過濾材所組成，濾袋材質為玻璃或合成纖維，其安裝方式係將濾袋嵌入，再利用夾板牢固且安全的固定於 U-型架上。當含懸浮微粒的氣體通過 Pocket Filter 時，粒徑大的懸浮微粒先在進氣端堆積，而粒徑較小的顆粒逐漸填補其間的孔洞進而形成濾餅，一旦濾餅生成，即可發揮去除 97% 懸浮微粒之功效。然而，當濾餅厚度達到特定值而造成氣流壓損過大時，即需更換 Pocket Filter。圖 3 為鼓風機進風道第三道(Metal Filter Cell)與第四道(Pocket Filter)除塵設備之外視圖。

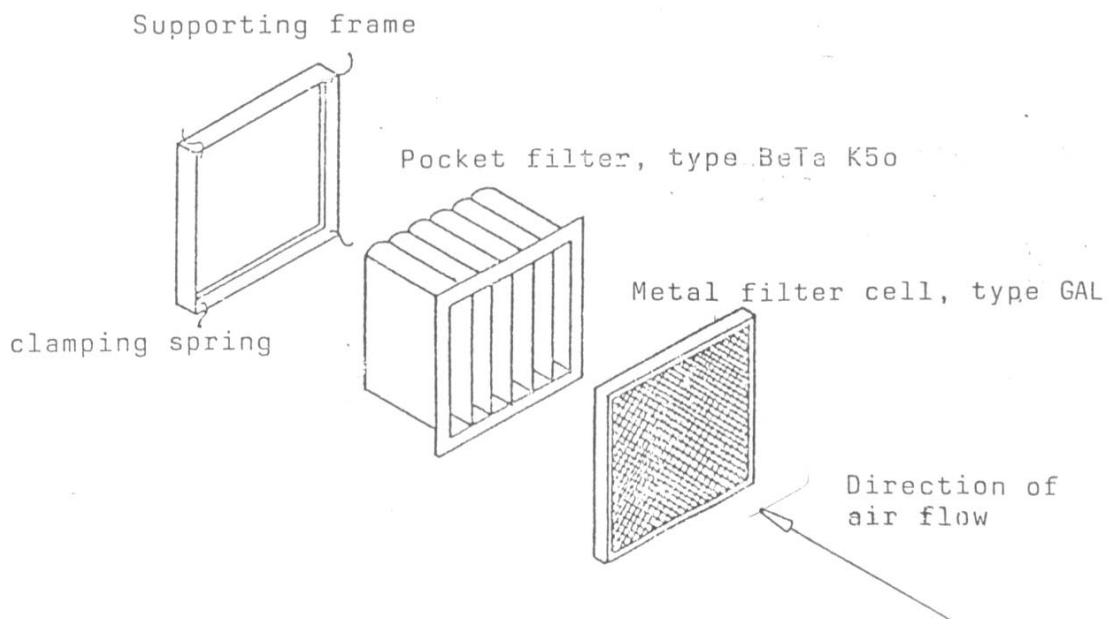


圖 3 Metal Filter Cell 與 Pocket Filter 外視圖

三、懸浮微粒採樣分析系統

本研究針對鼓風機進風道之懸浮微粒進行採樣，採樣地點分別為進風道入口處(即 IAFU 前)及 IAFU 出口處。本次採樣作業規劃在進風道 IAFU 前進行一次採樣，採樣時間為 11 a.m.至次日 11 a.m.(連續 24 小時)；而 IAFU 出口處則進行三次採樣，採樣時間為 11 a.m.至二日後 11 a.m.(連續 48 小時)，以確保每個樣本都有足夠時間採集足量之懸浮微粒進行分析。此外，為能同時探討進風道 IAFU 除塵特性(包括微粒濃度及其粒徑分布)，本研究利用微孔均勻沉降採樣器(Micro-Orifice Uniform Deposit Impactor, MOUDI)進行本次採樣作業。

1.MOUDI 抽氣系統設計

由於粉塵微粒濃度與採氣流速有相當密切的關係，故為獲得正確的粉塵微粒濃度，需確保粉塵微粒採樣過程中 MOUDI 採氣流速與進風道大氣流速兩者應相同。為配合現場採樣需求，本研究依據 MOUDI 採氣量及現場進風道抽氣流速設計抽氣口尺寸。以下為相關計算流程。

(1)進風道截面尺寸：長(L) 9,800 mm、寬(W) 5,250 mm

(2)通過進風道風量(Q)：5,600 m³/min

(3)通過進風道截面的風速(V)： $V = \frac{5600 \frac{m^3}{min}}{9.8m \times 5.25m} = 108.8 \frac{m}{min} = 1.8 \text{ m/s}$

(4) MOUDI 採氣量(Q)：30 L/min

(5)為符合等速抽引的條件下，MOUDI 採氣管直徑若假設為 D (m)

MOUDI 設計抽氣量=進風道內大氣進流量

$$30 \frac{L}{min} \times \frac{1m^3}{1000 L} = \frac{\pi \times D^2}{4} (m^2) \times 108.8 \frac{m}{min}$$

經計算 D=0.019 m \cong 2 cm

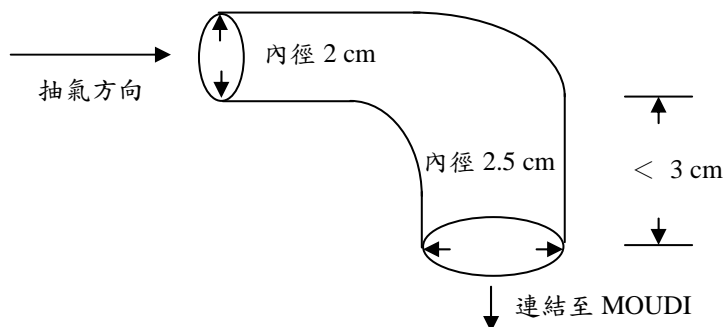


圖 4 MOUDI 抽氣轉接頭尺寸圖

2. 粉塵水溶性離子濃度分析

本研究將 MOUDI 採集之粉塵微粒萃取至液相萃取液中，再利用 IC 分析粉塵微粒所含之水溶性離子濃度，本研究分析的水溶性離子包括 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 F^- 、 Cl^- 、 Br^- 。本研究所採用之萃取方式為超音波震盪萃取法(NIEA M167) [6]。

四、結果與討論

4.1 IAFU 除塵前後懸浮微粒濃度之變異

由於受限於採樣設備，本研究進風道 IAFU 除塵前與除塵後採樣過程並非同步進行，因而本研究量測結果僅可提供粉塵特性之探討，但無法提供準確的 IAFU 除塵效率。本研究懸浮微粒量測結果彙整於表 1。量測結果指出 IAFU 除塵前懸浮微粒濃度為 $103.009 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其中， PM_{10} 與 PM_1 分別為 $93.750 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 及 $38.657 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，約佔除塵前微粒的 91% 與 38%；除塵後懸浮微粒濃度則降為 $28.889 \sim 42.477 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($36.52 \pm 6.947 \mu\text{g}/\text{m}^3$)，其中， PM_{10} 與 PM_1 分別為 $26.852 \sim 38.079 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($33.33 \pm 5.811 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 及 $16.111 \sim 24.884 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($20.96 \pm 4.458 \mu\text{g}/\text{m}^3$)，約佔除塵後微粒的 91% 與 57%。由上述數據可初估 IAFU 總除塵效率約介於 59~72% 之間，此意謂鼓風機 IAFU 使用的 Pocket Filter 較一般可清洗袋濾集塵機去除效率 (~99.7%) 明顯為低 [7]。

表 1 鼓風機進風道除塵前與除塵後懸浮微粒之粒徑分布

粒徑範圍(μm)	除塵前		除塵後(#1)		除塵後(#2)		除塵後(#3)	
	濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	%	濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	%	濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	%	濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	%
$d_p \geq 18$	7.870	--	5.324	--	2.037	6.6	2.083	--
$10 \leq d_p < 18$	9.259	9.0	4.398	10.3	2.037	6.6	3.125	8.2
$5.6 \leq d_p < 10$	13.657	13.3	3.125	7.4	1.667	5.4	2.662	7.0
$3.2 \leq d_p < 5.6$	17.130	16.6	2.662	6.3	2.130	6.9	2.083	5.5
$1.8 \leq d_p < 3.2$	11.111	10.8	3.472	8.2	1.296	4.2	1.968	5.1
$1.0 \leq d_p < 1.8$	13.194	12.8	3.935	9.3	5.648	18.2	6.481	17.0
$0.56 \leq d_p < 1.0$	23.380	22.7	4.861	11.4	5.370	17.4	7.755	20.3
$0.32 \leq d_p < 0.56$	5.556	5.4	5.440	12.8	2.130	6.9	1.736	4.5
$0.18 \leq d_p < 0.32$	4.861	4.7	4.514	10.6	2.222	7.2	3.588	9.4
$0.1 \leq d_p < 0.18$	0.926	0.9	4.745	11.2	2.315	7.5	3.472	9.1
$0.056 \leq d_p < 0.1$	1.157	1.1	4.514	10.6	2.778	9.0	3.356	8.8
$d_p < 0.056$	2.778	2.7	0.810	1.9	1.296	4.1	1.968	5.1
合計	103.009	100	42.477	100	28.889	--	38.194	100
PM_{10}	93.750	--	38.079	--	26.852	--	35.069	--
PM_1	38.657	--	24.884	--	16.111	--	21.875	--

此外，由除塵前後 PM_{10} 與 PM_1 所佔比率顯示，除塵前後 PM_{10} 比率並無明顯的變化，然而 PM_1 比率則有大幅增加的趨勢，推測原因可能是 IAFU 對於粒徑 $1\sim 10\ \mu\text{m}$ 去除效率較高所致，但對於粒徑小於 $1\ \mu\text{m}$ 的顆粒去除效率則較為有限。

4.2 IAFU 除塵前後懸浮微粒之粒徑分布

懸浮微粒在進風道除塵前與除塵後的粒徑分布採樣結果如圖 5 所示。由圖 5 結果顯示，IAFU 除塵前(圖 5A)懸浮微粒呈現雙峰分布(bi-mode distribution)，其波峰主要在 $0.56\ \mu\text{m}\sim 1.0\ \mu\text{m}$ 及 $3.2\ \mu\text{m}\sim 5.6\ \mu\text{m}$ 。經 IAFU 除塵後，進風道懸浮微粒則呈單峰分布，波峰出現在 $0.56\ \mu\text{m}\sim 1.8\ \mu\text{m}$ (參見圖 5C & 5D)。此外，由除塵前後各粒徑所佔重量百分率相較可發現(表 1)，粒徑大於 $0.32\ \mu\text{m}$ ($dp \geq 0.32\ \mu\text{m}$)之懸浮微粒下降幅度較為明顯。

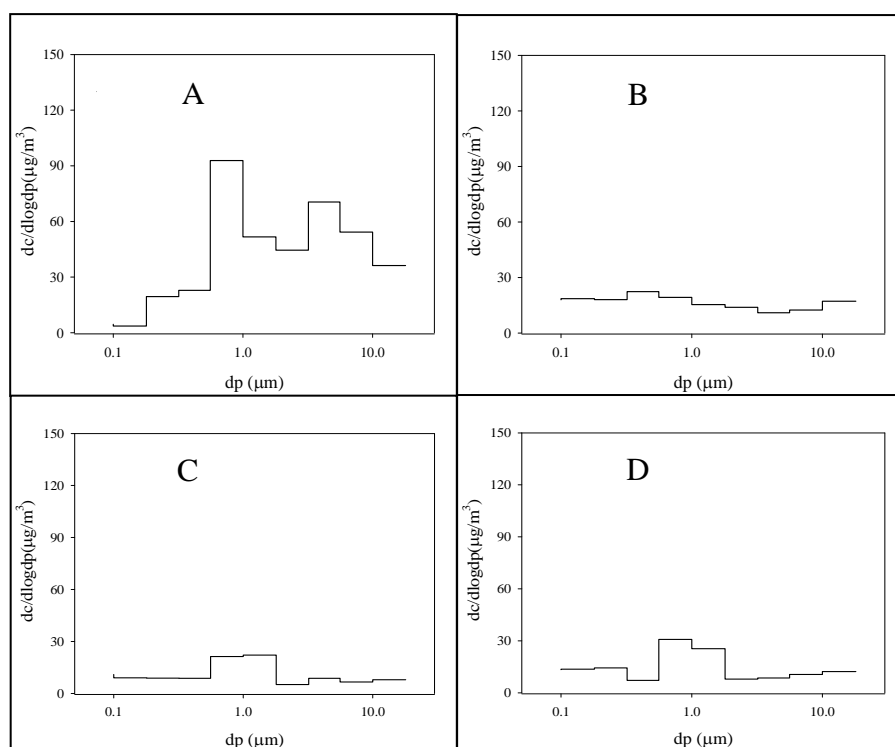


圖 5 鼓風機進風道除塵設備前、後懸浮微粒之粒徑分布(A：除塵設備前；B、C、D：除塵設備後)

4.3 懸浮微粒化學特性分析

表 2 及表 3 彙整 IAFU 除塵前與除塵後不同粒徑微粒之 SO_4^{2-} 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 F^- 、 Cl^- 及 Br^- 等六種離子濃度分析結果。量測結果顯示，除塵前(表 2)懸浮微粒表面含有 Cl^- 、 NO_3^- 及 SO_4^{2-} 等離子，其中以 SO_4^{2-} 濃度最高。除

塵後的懸浮微粒仍以 SO_4^{2-} 濃度最高，其次為 NO_3^- 、 NO_2^- 及微量的 Cl^- (表 3)。若比較 IAFU 除塵前與除塵後離子濃度，除塵後懸浮微粒所含的 Cl^- 、 NO_3^- 及 SO_4^{2-} 等離子濃度經較除塵前均有明顯下降的趨勢，其中以 Cl^- 下降幅度較大。推測除塵後懸浮微粒水溶性離子濃度降低之原因除與原大氣懸浮微粒初始濃度有關外，最大因素仍是除塵系統去除所致。

表 2 IAFU 除塵前不同粒徑之懸浮微粒水溶性離子含量分析

粒徑分布	F^- ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cl^- ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Br^- ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO_2^- ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO_3^- ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO_4^{2-} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
$d_p \geq 18 \mu\text{m}$	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.370	0.463
$10 \leq d_p < 18 \mu\text{m}$	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.324	0.463
$5.6 \leq d_p < 10 \mu\text{m}$	N.D.	0.926	N.D.	N.D.	0.509	0.741
$3.2 \leq d_p < 5.6 \mu\text{m}$	N.D.	0.787	N.D.	N.D.	0.926	1.065
$1.8 \leq d_p < 3.2 \mu\text{m}$	N.D.	0.741	N.D.	N.D.	0.926	0.833
$1.0 \leq d_p < 1.8 \mu\text{m}$	N.D.	0.880	N.D.	N.D.	0.926	1.898
$0.56 \leq d_p < 1.0 \mu\text{m}$	N.D.	2.453	N.D.	N.D.	0.463	1.898
$0.32 \leq d_p < 0.56 \mu\text{m}$	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.324	1.296
$0.18 \leq d_p < 0.32 \mu\text{m}$	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.278	0.602
$0.1 \leq d_p < 0.18 \mu\text{m}$	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.324	0.694
$0.056 \leq d_p < 0.1 \mu\text{m}$	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.278	0.324
$d_p < 0.056 \mu\text{m}$	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.278	0.556
合計	N.D.	5.787	N.D.	N.D.	5.926	10.833

N.D.: not detected

表 3 IAFU 除塵後不同粒徑之懸浮微粒水溶性離子含量分析

粒徑分布	F^- ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cl^- ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Br^- ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO_2^- ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO_3^- ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO_4^{2-} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
$d_p \geq 18 \mu\text{m}$	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.139	0.162
$10 \leq d_p < 18 \mu\text{m}$	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.139	0.162
$5.6 \leq d_p < 10 \mu\text{m}$	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.139	0.185
$3.2 \leq d_p < 5.6 \mu\text{m}$	N.D.	N.D.	N.D.	0.278	0.139	0.185
$1.8 \leq d_p < 3.2 \mu\text{m}$	N.D.	N.D.	N.D.	0.231	0.139	0.208
$1.0 \leq d_p < 1.8 \mu\text{m}$	N.D.	N.D.	N.D.	0.231	0.255	1.782
$0.56 \leq d_p < 1.0 \mu\text{m}$	N.D.	0.093	N.D.	N.D.	0.255	2.407
$0.32 \leq d_p < 0.56 \mu\text{m}$	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.162	1.111
$0.18 \leq d_p < 0.32 \mu\text{m}$	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.139	0.556
$0.1 \leq d_p < 0.18 \mu\text{m}$	N.D.	N.D.	N.D.	0.255	0.162	0.532
$0.056 \leq d_p < 0.1 \mu\text{m}$	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.139	0.231
$d_p < 0.056 \mu\text{m}$	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.139	0.394
合計	N.D.	0.093	N.D.	0.995	1.946	7.915

N.D.: not detected

圖 6 為 IAFU 除塵前與除塵後水溶性離子在不同粒徑的濃度分布。由圖 6 量測結果顯示，除塵前 Cl^- 主要分布於 $0.56\sim 10\ \mu\text{m}$ ，濃度值約介於 $0.7\sim 1.0\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，除塵後則僅在粒徑 $0.56\sim 1.0\ \mu\text{m}$ 偵測出 Cl^- ，其濃度值已大幅降低至 $0.093\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。此結果推測 Cl^- 主要附著在大粒徑的顆粒，故可隨粒狀物之去除而大幅降低。至於 SO_4^{2-} 可分布於不同粒徑中，經除塵後不同粒徑之 SO_4^{2-} 濃度均呈現降低的趨勢，其中以粒徑大於 $1.8\ \mu\text{m}$ 降幅最為明顯，若將 SO_4^{2-} 濃度變化趨勢與前述粒徑除塵效率相較，兩者趨勢相當一致，顯示氣流中 SO_4^{2-} 濃度之降低係因懸浮微粒被去除所致。此外， NO_3^- 濃度變化與 SO_4^{2-} 類似，亦是在粒徑大於 $1.8\ \mu\text{m}$ 降幅較其他粒徑明顯。

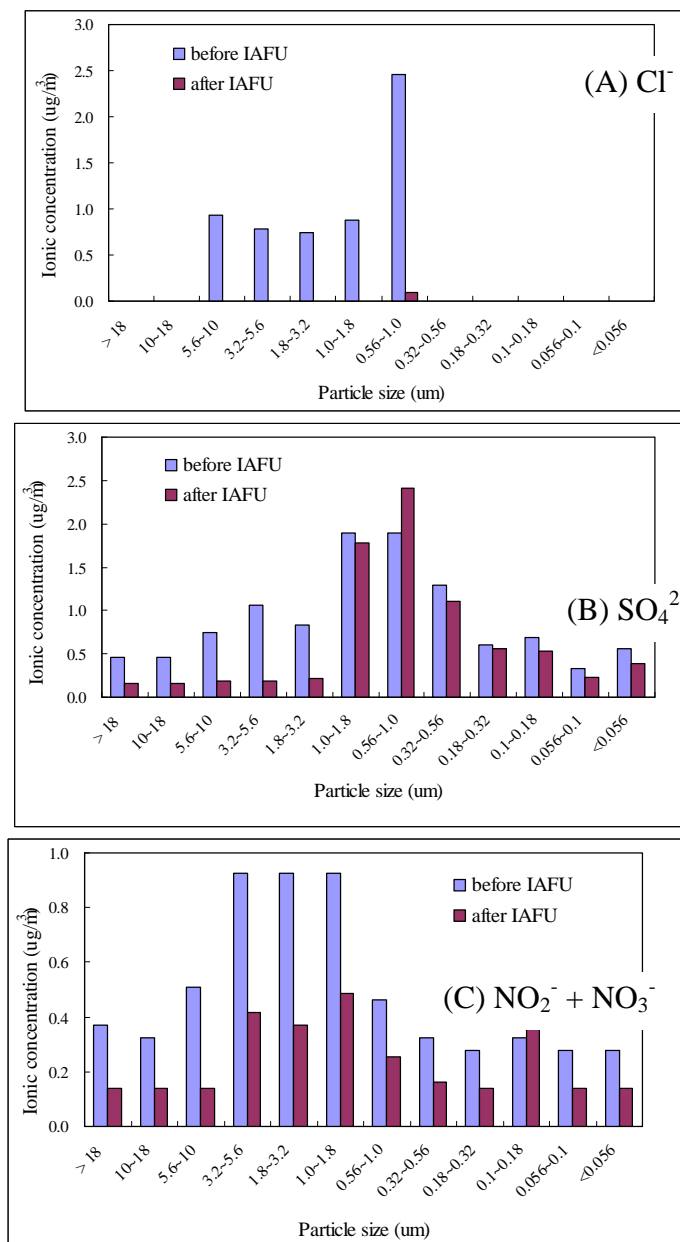


圖 6 IAFU 除塵前後不同粒徑懸浮微粒之水溶性離子濃度

五、除塵效能提升之可行方案

由 4.1 與 4.2 節研究結果得知，本公司 IAFU 除塵系統對於大於 $1\ \mu\text{m}$ 的微粒去除效率較高，對於粒徑小於 $1\ \mu\text{m}$ 的顆粒去除效率則較為有限。因此，提升本公司 IAFU 除塵效能可從細微粒去除效能著手。在不改變現有鼓風機相關設備及其操作方式之前提下，可由以下建議方案提升 IAFU 除塵之效能：

1. 適當增加鄰近道路的灑水頻率，減少交通揚塵之影響

本公司鼓風機進風道現有進氣相關位置如圖 7 所示。由圖指出，進風道進氣口距地面約 11~15 m，面向交通繁忙的 10 m 道路僅 12 m 左右(圖 7)，雖然進風道與道路間已設置 2 m 的綠帶，但並無法完全阻隔交通揚塵傳送至進風道。為減少交通揚塵之影響，可適時增加進風道鄰近道路之撒水頻率，降低部分車輛揚塵隨氣流傳送至進風道進氣口。

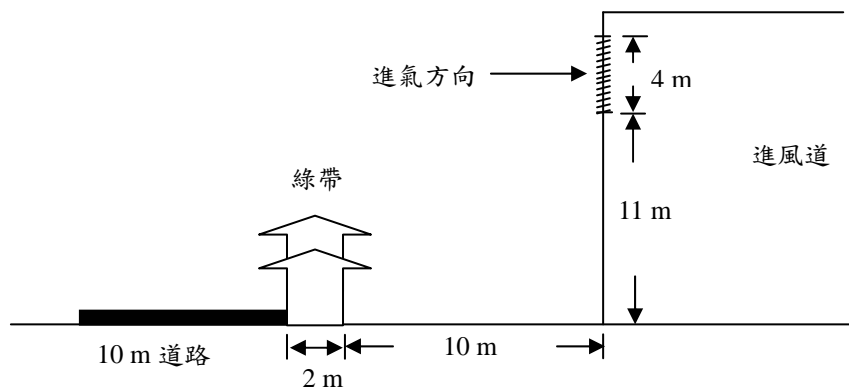


圖 7 鼓風機進風口相關地理位置分佈圖

2. 改變進風道進氣位置，減少懸浮微粒抽引至進風道

增加進風道鄰近道路撒水頻率可降低部分車輛揚塵至進風道，但實際解決交通揚塵對進氣微粒之影響最直接的方式係改變進風道進氣位置。由於改變進風道進氣位置茲事體大，工程進行時可能要求生產製程配合停工，故需先完成改善工程之完整評估，最好亦可考慮與現有的 IAFU 改裝同時進行，降低對生產製程之衝擊。

3. 移除現有金屬濾網，減少壓損，同時以編織較密之過濾材取代

鼓風機進風道現有 IAFU 四道除塵程序中，Metal Filter Cell 與 Inertial Separator 均是利用慣性力除塵的設備，且其可去除之微粒多為粗微粒。反觀 Pocket Filter 係以通過濾布之濾餅為微粒去除的機制，其中包含慣性力、衝擊力及過濾等。故若能在進風道抽風量變化在許可範圍內，移除現

有金屬濾網，減低部分壓損，改以編織較密之過濾材取代原有的 Pocket Filter，應可提高 IAFU 對細微粒之去除效能。

4. 加強緊急風門之除塵效能，避免外氣微粒隨氣流直接抽至導葉片處

現有 IAFU 在正常操作時，所有氣體均需通過 IAFU 除塵。然而在下雨天或除塵系統壓損過大等特殊情況時，緊急風門即會自動開啟，直接導引外氣進入鼓風機，以免鼓風機因壓損過大而影響製程。鑒於目前緊急風門僅裝設隔板窗防止大體積的污染物進入，對於一般懸浮微粒去除效果則較低。未來應在隔板窗內再加裝網格較細之金屬濾網，藉以提高粗微粒之去除效率。

六、結 論

本研究旨藉由鼓風機進風道懸浮微粒之採樣分析，探討現有 IAFU 除塵系統之效能與粉塵特性，作為研擬 IAFU 除塵效能改善方案之依據。由懸浮微粒採樣結果顯示，進風道現有除塵設備 (IAFU) 可有效將懸浮微粒濃度降低至 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下，特別是對於 $dp \geq 0.32 \mu\text{m}$ 之微粒去除效率較其他粒徑之微粒為高。而由懸浮微粒化學特性分析結果指出，除塵前懸浮微粒所含的水溶性離子中以 SO_4^{2-} 濃度最高，經除塵設備後， Cl^- 、 NO_3^- 及 SO_4^{2-} 等水溶性離子均呈現明顯下降趨勢，顯示上述水溶性離子可隨懸浮微粒之去除而降低其濃度。另在粒徑分析方面，除塵前 Cl^- 主要分布於 $0.56 \sim 10 \mu\text{m}$ ，除塵後則僅分布在粒徑 $0.56 \sim 1.0 \mu\text{m}$ ；至於 SO_4^{2-} 與 NO_3^- ，兩者在除塵前與除塵後不同粒徑的微粒均可偵測出，經除塵後 SO_4^{2-} 以粒徑大於 $1.8 \mu\text{m}$ 降幅最為明顯，而 NO_3^- 濃度則以粒徑大於 $0.18 \mu\text{m}$ 降幅較為明顯。為達到提升 IAFU 除塵效能之目的，適當增加鄰近道路的灑水頻率及加強緊急風門除塵效能是短期內可達成之改善項目，而進風道進氣位置之改變與 Pocket Filter 濾材之替換則需經審慎評估，同時需生產製程配合才可完成。

七、參考文獻

1. 袁中新、吳俊欣、林勳佑、劉明翰，「以廢輪胎熱裂解產物碳黑製備活性碳應用於都市垃圾焚化爐排放廢氣中含汞蒸氣去除之研究」，行政院環境保護署研究報告，89 年 12 月。
2. 任翔、高洪峰、白利軍，「降低焦爐二合一除塵系統阻力之對策」，河北冶金，96 年第 6 期。
3. Pavlish, J.H., Sondreal, E.A., Mann, M.D., Olson, E.S., Galbreath, K.C.,

- Laudal, D.L., and Benson, S.A. (2003). Status Review of Mercury Control Options for Coal-fired Power Plants. *Atmos. Environ.* 37: 89-165.
4. Goodarzi, F. (2006). Characteristics and Composition of Fly Ash from Canadian Coal-fired Power Plants. *Fuel*, 85: 1418-1427.
 5. GEA Group, Operating instructions for indoor air filter unit. 1988.
 6. 行政院環境保護署，「超音波萃取法」，NIEA M167.00C，91年1月。
 7. 行政院環境保護署，「空氣污染防制設備之配置與維護」，甲級空氣污染防制專責人員訓練講義，pp.63，2009。

熱風爐系統熱效率提昇

林佩勳*、王佰祥*、姚文台**、蔡日新***

摘 要

提升製程能源效率、降低二氧化碳排放是中鋼重要經營方針。本研究主要目的是藉由廢熱回收設備新增及最佳化操作技術建立來提升中鋼二號高爐(#2 BF)熱風爐系統熱效率。主要研究方法係採用理論解析配合實驗並行方式，建立效率提昇所需之關鍵技術；研究工作首先利用一維數值分析方法建構廢熱回收系統性能預測程式，用以掌握熱風爐廢熱回收效率及燃料預熱後溫度；接續並進一步整合熱風爐及廢熱回收設備之操作條件，運用田口法建立最佳操作技術。研究結果顯示，在新增熱管熱交換器預熱熱風爐燃料BFG (Blast Furnace Gas)後，熱風爐整體熱回收效率由 11%提高至 58%；另由統計分析結果可知，混合燃氣流量、混合燃氣熱值、爐頂溫度設定值、過剩空氣比等為影響熱風爐系統效率最顯著之操作因子，藉由 L9 直交實驗設計及訊號雜音比(S/N Ratio)分析，本研究已建立#2 BF 熱風爐最佳化操作技術。目前中鋼#2 BF 熱風爐系統熱效率由 79.1%提高至 85.2%，已超越先進鋼廠目標水準，總計每年節能效益達 9,004 萬元，CO₂ 減量達 15,406 噸/年；此外，相關技術更已推展應用至其他高爐熱風爐及能源轉換系統，協助達成製程碳排放減量之清潔生產目標。

【關鍵字】熱風爐、廢熱回收、熱效率、田口法

*中國鋼鐵股份有限公司新材料研發處 研究員

**中國鋼鐵股份有限公司煉鐵廠 副廠長

***中國鋼鐵股份有限公司工業工程處 工程師

一、前言

熱風爐是高爐煉鐵製程中不可或缺之重要生產設備，其主要功能是利用燃燒高爐氣(Blast Furnace Gas, BFG)與焦爐氣(Coke Oven Gas, COG)之混合燃氣來產製高爐生產所需之熱鼓風。圖 1 為熱風爐製程示意圖，基本上，熱風爐製程可細分為加熱及送風兩個子製程，在加熱製程中，熱風爐是以燃燒 BFG 及 COG 來預熱蓄熱室中之蓄熱磚，加熱完成後，系統便切換至送風製程，利用預熱過之蓄熱磚作為熱源來加熱冷鼓風。藉由上述加熱及送風製程之循環切換，熱風爐即可以製造高爐生產所須之熱鼓風。

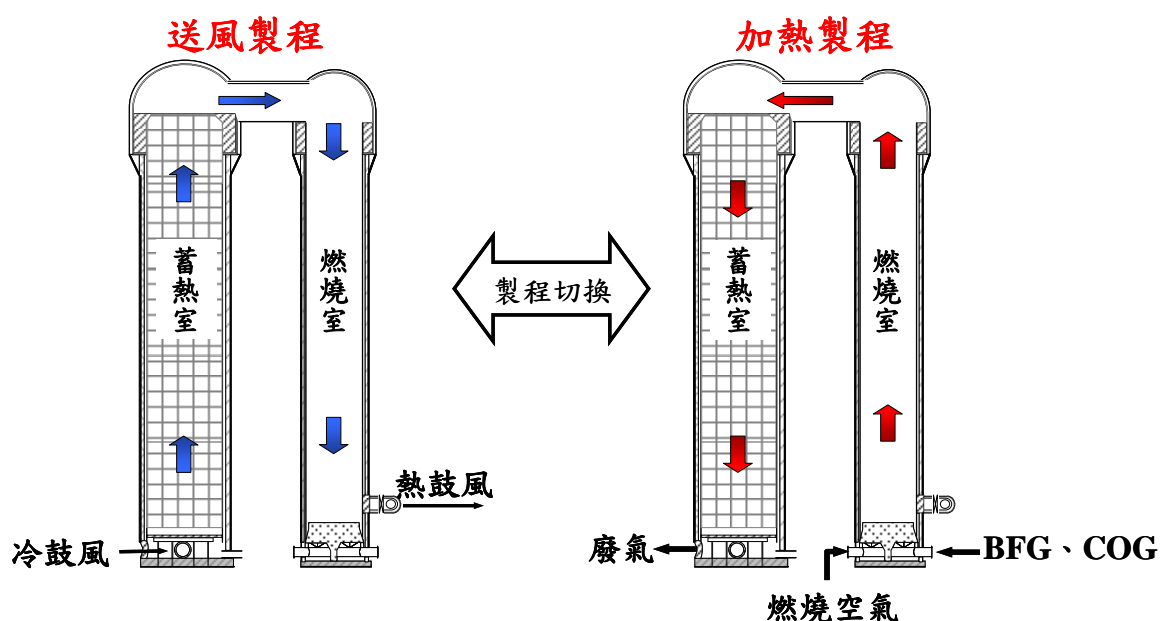


圖 1 熱風爐製程

中鋼二號高爐(#2BF)設有四座熱風爐，根據分析^[1,2]，熱風爐燃燒所產生之廢氣量約 250,000 Nm³/h(約 260°C)，其中約有 20%供高爐噴煤(Pulverized Coal Injection, PCI)設備加以回收使用，其餘直接排至大氣，熱回收率約 11%。為提升熱風爐效率，達到節約能源及二氧化碳排放減量之目的，中鋼自 94 年開始規劃#2BF 熱風爐熱效率提昇計畫，主要作法是以強化廢熱回收之方式來達到節能減碳之目的。根據相關規劃，在熱回收設備新增後，熱風爐製程廢熱除以高爐噴煤系統加以回收外，另以熱管式熱交換器回收其餘廢熱，用以預熱熱風爐燃氣。圖 2 為熱回收設備新增後之熱風爐系統流程，在此，熱效率定義是單位時間鼓風進出系統(虛線所圍成之範圍即為系統之控制容積)所吸收能量與系統總輸入熱能之比值；詳細熱風爐系統熱

效率計算之數學計算公式列於前置研究中^[3,4,5]，在此不再贅述。

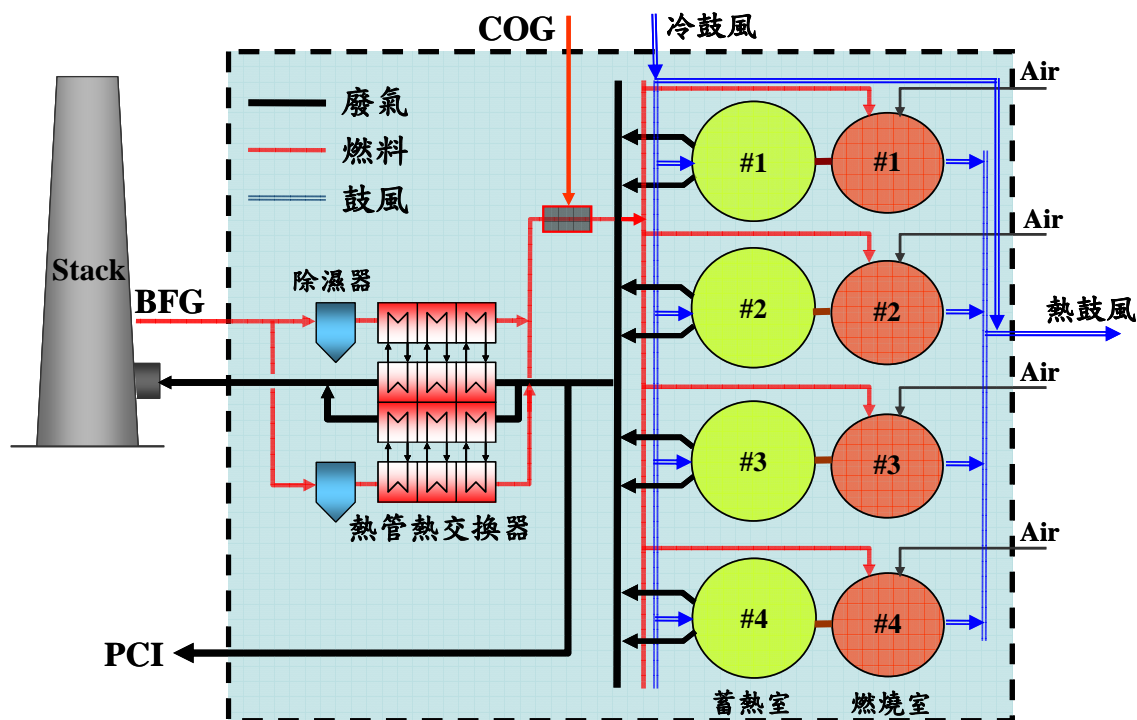


圖 2 熱風爐系統流程

在上述熱風爐熱效率提昇計畫中，從廢熱回收設備可行性評估、審規、性能驗收乃至運轉等各階段，需建立相關配套之理論分析工具，才能使系統順利上線運轉，發揮預期功能。另外在廢熱回收設備上線運轉後，則須整合廢熱回收及熱風爐設備，掌握不同廢熱條件下之熱回收設備性能，並配合燃氣預熱後特性之轉變，重新建立一套操作基準，才能在兼顧熱風品質的前提下使系統維持在高效率運轉。然而在解決上述問題過程中，先進鋼廠及國外設備供應商皆無法提供相關資訊。

為解決上述問題，本研究整合系統在熱效率提昇所面臨之熱、質傳及燃燒控制問題，運用數值分析及田口法等研究工具，建立廢熱回收系統性能預測及最佳化操作等兩項技術。期藉由廢熱回收設備之引進及上述核心技術之建立，落實應用至熱風爐系統熱效率提昇，達到製程碳排放減量之清潔生產目標。

二、廢熱回收系統性能預測軟體建立

目前#2BF 熱風爐製程廢熱分為兩部份作回收利用，第一種用途是以熱管式廢熱回收設備用來預熱熱風爐燃氣 BFG，此外，約有近 20%的廢氣是由高爐噴煤系統(Pulverized Coal Injection system) 藉由預熱高爐噴煤加以回收。對上述熱回收系統而言，系統效率定義是回收顯熱除以系統排放總顯熱，此數據代表熱回收系統從可回收的廢熱總量中實際回收的百分比。根據此定義，熱風爐廢熱回收系統效率 η 可以下式表之^[6]。

$$\eta(\%) = \frac{\sum_i Q_i}{Q_F} = \frac{\dot{m}_B \cdot C_{pB} \cdot (T_{Bo} - T_{Bi}) + \dot{m}_W \cdot C_{pW} \cdot (T_{Wi} - 85)}{\dot{m}_W \cdot C_{pW} \cdot (T_{Wi} - 25)} \quad (1)$$

上式中 Q_F 代表廢氣總顯熱， Q_i 代表熱回收系統中，第 i 個熱回收製程之熱回收量，對此系統而言 $i=2$ ， Q_1 代表預熱 BFG 所回收之熱量， Q_2 代表高爐噴煤設備所回收之熱量，配合廢氣及 BFG 流量、溫度及比熱之計算，便可求得熱回收效率。

為掌握不同操作條件下之燃氣預熱結果，以作為熱風爐操作參考，本研究進一步根據熱交換器內能量守恆定律(方程式(2))，運用一維數值分析^[7]方法開發熱管熱交換器溫度預測技術，並將其與上述熱風爐廢熱回收系統效率計算模式結合，發展成一套廢熱回收系統性能預測軟體。

$$\dot{q} = (UA)_{hc} (T_{Wi} - T_{Bo}) = -\dot{m}_W \cdot C_{pW} \cdot (T_{Wo} - T_{Wi}) = \dot{m}_B \cdot C_{pB} \cdot (T_{Bo} - T_{Bi}) \quad (2)$$

方程式(1)、(2)中相關符號說明如下。

\dot{q} ：熱交換器總熱傳量(kW)

$(UA)_{hc}$ ：熱交換器由冷端管外壁至熱端管外壁之總熱傳係數(kW/°C)

T_{Wi} ：廢氣熱交換前溫度(°C)

T_{Wo} ：廢氣於熱管熱交換器出口溫度(°C)

T_{Bi} ：BFG 預熱前溫度(°C)

T_{Bo} ：BFG 預熱後溫度(°C)

\dot{m}_W ：廢氣質量流率(kg/s)

\dot{m}_B ：BFG 質量流率(kg/s)

C_{pW} ：廢氣比熱(kJ/kg·°C)

C_{pB} ：BFG 比熱(kJ/kg·°C)

在新增之熱管熱交換器中，沿著流向分為 92 排，共設置 5,520 根熱管。根據上述資料，本程式依照有限差分法原理，將熱交換器沿管流方向切割成 92 等份，其示意圖如圖 3 所示。

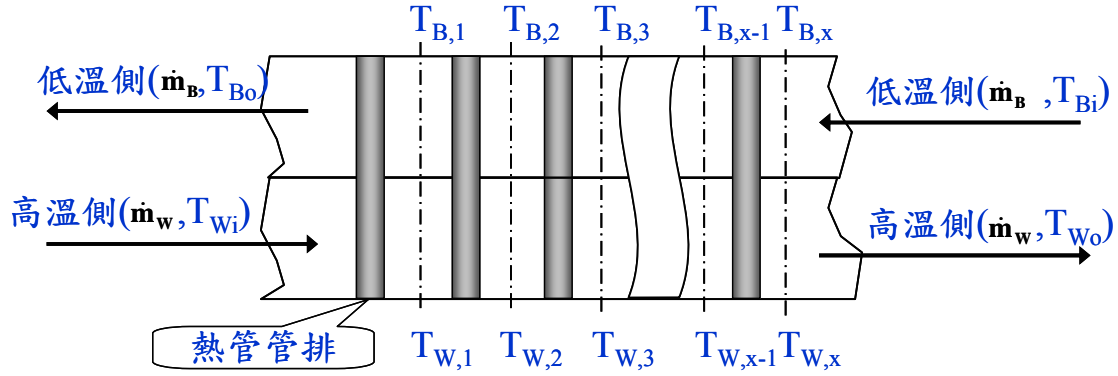


圖 3 熱管熱交換器有限差分法分析示意圖

$$\text{令 } \Delta T_{W,x} = T_{W,x} - T_{W,x-1}, \Delta T_{B,x} = T_{B,x} - T_{B,x-1}, T_W = (T_{W,x} + T_{W,x-1})/2,$$

$$T_B = (T_{B,x} + T_{B,x-1})/2, k_W = (UA)_{hc} / 2\dot{m}_W C_{pW}, k_B = (UA)_{hc} / 2\dot{m}_B C_{pB}$$

則廢氣與 BFG 在熱交換器中溫度可分別以方程式(12)、(13)表示，其中上標(n)及(n-1)表第 n 次疊代與第 n-1 次疊代所得之溫度計算結果。

$$T_{W,x}^{(n)} = \frac{1}{1+k_W} T_{W,x-1}^{(n-1)} - \frac{k_W}{1+k_W} (T_{W,x-1}^{(n-1)} - T_{B,x}^{(n-1)} - T_{B,x-1}^{(n-1)}) \quad (3)$$

$$T_{B,x}^{(n)} = \frac{1}{1+k_B} T_{B,x-1}^{(n-1)} - \frac{k_B}{1+k_B} [T_{B,x-1}^{(n-1)} - T_{W,x}^{(n-1)} - T_{W,x-1}^{(n-1)}] \quad (4)$$

根據設計及實驗驗證^[2,8]，管排熱傳係數 h 與 Nusselt number (Nu)、Prandtl number(Pr)及 Reynold number(Re)之關係式為：

$$Nu = \frac{hD_{eq}}{k} = 0.15 \cdot Re_{eq}^{0.81} \cdot Pr^{0.4} \quad (5)$$

$$Re = \frac{G_{\max} \cdot D_{eq}}{\mu} \quad (6)$$

$$Pr = \frac{\mu \cdot C_p}{k} \quad (7)$$

其中 h 為管排對流熱傳係數， D_{eq} 為管排等效直徑(m)， k 為熱傳導係數 ($W/m \cdot ^\circ C$)， G_{\max} 為經過熱交換器之單位面積質量流率 ($kg/m^2 \cdot s$)， μ 為流體黏滯係數 ($kg / m \cdot s$)， C_p 為流體比熱 ($kJ/kg \cdot ^\circ C$)。根據上述有限差分公式，圖 4 為熱管熱交換器溫度預測程式計算流程。

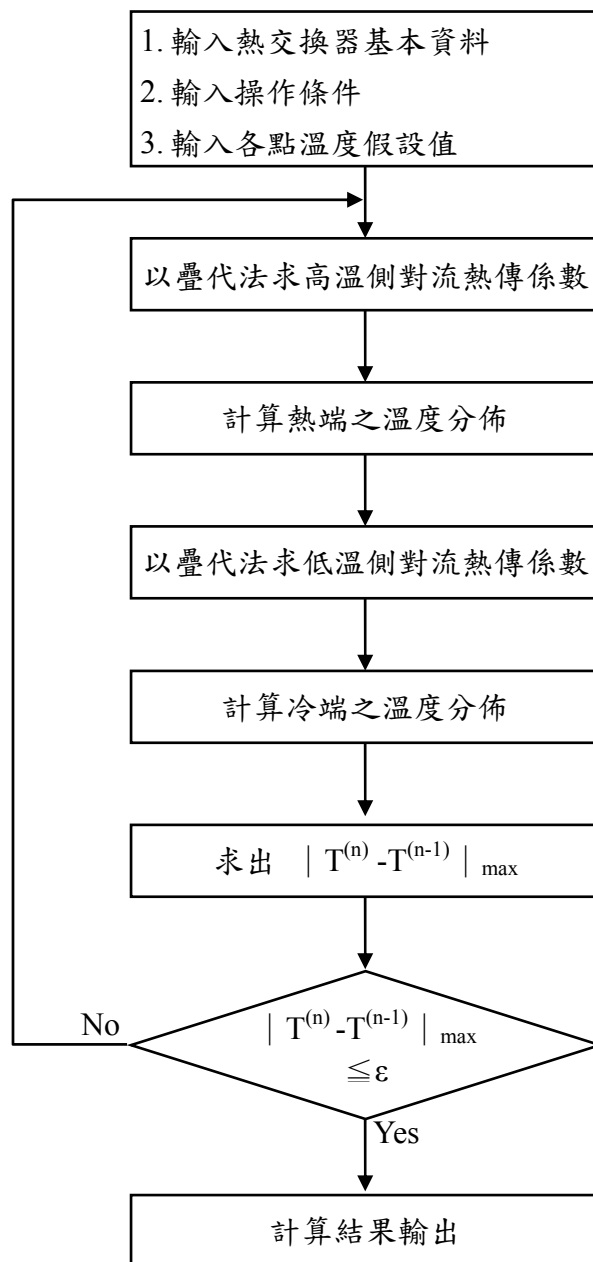


圖 4 熱管熱交換器溫度預測程式計算流程

在實際計算過程中，當 BFG 及廢氣個點溫度分佈值在第 n-1 次疊代與第 n 次疊代各點溫度差小於 0.001 時，即 $|T^{(n)} - T^{(n-1)}|_{\max} \leq 0.001$ 時，程式便將第 n 次疊代所計算之結果視為收斂解，作為 BFG 及廢氣經熱交換後之溫度預測值。表 1 為溫度計算程式預測結果與現場實測數據比較，由此比較可知 BFG 預熱後溫度預測值與現場時測值誤差最大 3.7%，廢氣出口溫度預測誤差最大為 2.9%，可在燃燒控制操作前先利用此程式預測操作結果改變情況，作為輔助操作工具。

表 1 熱管熱交換器溫度預測程式預測結果與現場實測數據比較

操作參數		操作結果					
		一	二	三	四	五	
進口	廢氣流量(Nm ³ /h)	23751	258375	260363	276563	299573	
	廢氣密度(kg/Nm ³)	1.45	1.44	1.44	1.43	1.43	
	廢氣比熱(kJ/kgk)	1.045	1.044	1.049	1.059	1.056	
	廢氣入口溫度(°C)	262.5	258.3	273.8	263.1	276.3	
	BFG 流量(Nm ³ /h)	146581	167016	185347	179690	180110	
	BFG 密度(kg/Nm ³)	1.37	1.36	1.36	1.33	1.34	
	BFG 比熱(kJ/kgk)	1.039	1.041	1.042	1.056	1.043	
	BFG 預熱前溫度	23.9	20.0	24.6	23.3	21.4	
出口	廢氣出口溫度(°C)	現場實測	137.1	125.4	128.8	129.4	141.5
		程式預測	137.0	129.0	129.2	132.5	144.3
		誤差(%)	0.1	2.9	0.3	2.4	2.0
	BFG 預熱後溫度(°C)	現場實測	239.1	228.2	240.8	232.9	246.1
		程式預測	244.0	236.5	244.2	240.0	255.3
		誤差(%)	2.1	3.7	1.4	3.0	3.7

圖 5 為熱管式廢熱回收系統溫度預測程式畫面，在輸入熱管熱交換器之特性資料及操作條件後，即可執行本程式預測該特定操作條件下 BFG 及廢氣出口溫度，並進一步評估系統熱回收效率。本技術建立後，已協助現場完成可行性評估、審規及性能驗收，並應用於熱風爐日常操作，克服 BFG 預熱後溫度無法預知所衍生之燃燒控制問題，另亦可藉由預測廢氣排氣溫度，避免因 PCI 抽氣過多，造成廢氣排氣溫度低於露點，造成設備腐蝕現象。根據監測結果，在熱管熱交換器上線運轉後，熱風爐熱回收效率已由 11% 提高至 58.4%，系統熱效率由 79.1% 提高至 82.2%。然根據分析，在僅考慮表面熱散及煙囪排氣的情況下，熱風爐最高效率應可達 88.04%，顯示燃料溫度提昇後，須進一步開發最佳操作技術，才可使回收之廢熱發揮其最大效益。

檔案(F) 性能計算

輸入資料

熱管熱交換器

並列(In-line)
 錯列(Staggered)

熱管數目: 5520
number of HP

熱管外徑(mm): 54
HP outside diameter

縱向管距(mm): 67.5
pitch longitudinal

橫向管距(mm): 67.5
transverse pitch

對角管距(mm): 67.5
diagonal pitch

操作條件

廢氣入口溫度(°C): 258.3
waste gas inlet temp.

BFG入口溫度(°C): 20.0
BFG inlet temp.

過剩空氣比(%): 1.07
Excess air ratio

PCI抽氣量(Nm³/hr): 19588

COG(By Volume%)

CO ₂	1.93	H ₂ O	0
CO	7.3	SO ₂	0
O ₂	0.02	CH ₄	23.71
N ₂	6.65	C ₂ H ₂	0
H ₂	57.91	C ₂ H ₄	2.48

COG流量(Nm³/hr) 3547

BFG(By Volume%)

CO ₂	24.5	H ₂ O	0
CO	23.1	SO ₂	0
O ₂	0	CH ₄	0
N ₂	48.43	C ₂ H ₂	0
H ₂	3.97	C ₂ H ₄	0

BFG流量(Nm³/hr) 167016

計算結果

性能

BFG出口溫度(°C) 236.5
BFG outlet temp.

廢氣出口溫度(°C) 129.0
waste gas outlet temp.

廢熱排放率(kW) 26584
Flue gas HRR

總熱回收率(kW) 15570
HPHE+PCI

總熱回收效率(%) 58.6
heat recovery eff.

廢氣

	wet%	dry%
CO ₂	29.15	30.30
H ₂ O	3.79	0
SO ₂	0.00	0.00
N ₂	66.41	69.03
O ₂	0.65	0.67

熱管廢氣量(Nm³/hr) 258375
HPHE Flue gas volume flow rate

廢氣總流量(Nm³/hr) 277963
Flue gas volume flow rate

圖 5 熱管式廢熱回收系統溫度預測程式畫面

三、最佳化操作技術建立

本技術開發根據生產需求，將熱風產製溫度定在 1,160°C，技術開發過程首先以理論分析為基礎，結合系統規範訂定合理爐操參數設定範圍，最後則根據田口法及訊號雜音比(S/N Ratio)分析結果，建立#2 BF 熱風爐最佳化操作技術。根據統計分析^[2]，影響熱風爐效率最顯著之因子為混合燃氣流量、混合燃氣熱值、Dome 溫度設定值、過剩空氣比等四參數，本研究即以上述參數作為實驗變因，並以 L9 直交表^[9]作為實驗架構，實驗規劃以操作條件調整後 8 小時作為擷取之基準點，每次實驗取 8 小時資料作計算。

就熱風爐而言，其系統規範之限制條件包括(1)Silica 溫度 > 600 °C；(2)Checker 溫度 > 700 °C；(3)廢氣排氣溫度 < 350 °C；(4)Mixing gas 總量 < 200,000 Nm³/h；(5)Dome 溫度 < 1,350 °C；(6)廢氣含氧量 > 0.5%。田口法中各操作參數因子水準之設計原理如下所述。

1. 混合燃氣熱值: 根據系統設計，COG 流量最低可控制在 2,100 ~ 2,300 Nm³/h 左右，以單座熱風爐燃氣流量 90,000 Nm³/h 估計，最低混合燃氣熱值約為 3,496 kJ/Nm³，根據三維數值分析結果^[2]，在上述最低混合燃氣熱值下，

- 熱風爐可維持穩定燃燒，此故燃氣熱值以系統可控之最低熱值為基準，最高值則參考現場操作紀錄，以 3,663 kJ/Nm³ 作設定；因子水準 2 之控制條件則以因子水準 1 與因子水準 3 之算術平均作設定。
2. 混合燃氣流量：根據操作經驗，單座熱風爐混合燃氣流量最大值約控制在 97,000 Nm³/h 左右，以設計規範而言，單座燃燒器最大處理能力約為 100,000 Nm³/h，考量安全因素、現場操作彈性及未來效率提升空間，熱風爐在 On-gas cycle 混合燃氣流量設定即以系統效率 85% 反推所須最低燃氣流量，單座熱風爐混合燃氣流量下限條件設定以 90,000 Nm³/h 為設定基準，上限則以 95,000 Nm³/h 為設定基準。
 3. Dome 目標溫度：根據系統設計，Dome 目標溫度是以所欲產製風溫加上 150°C 作為設定值，然根據相關技術資料，Dome 溫度設定只要根據所欲產製風溫加上 100°C，熱風爐於送風階段便可產製原定目標溫度之熱風，且可穩定生產。因此，Dome 目標溫度因子水準設計是以熱風爐產製風溫加上 100°C、125°C 及 150°C 作為實驗參數。
 4. 過剩空氣比：根據計算，1 Nm³ BFG 所需之化學當量空氣量為 0.62 Nm³，1 Nm³ COG 則需約 4.21 Nm³。根據相關研究^[2,10]，熱風爐多孔性陶瓷燃燒器過剩空氣比只要達 1.03~1.05，便可達到在燃燒室完全燃燒之效果。在此過剩空氣比以 1.05 作為設定值下限。另根據現場操作紀錄，過剩空氣比正常操作下最高值介於 1.15~1.2，考量過剩空氣比過高將導致廢氣平均溫度下降，不利 Dome 溫度達設定標準，且此數值在 BFG、COG 之可燃範圍內，因此過剩空氣比上限定於 1.15。

表 2 為 L9 直交表設計及實驗結果，其中 y₁、y₂ 代表相同條件下系統效率之重複試驗結果。

表 2 L9 直交表及實驗結果

項目	A.混合燃氣熱值 (kJ/Nm ³)	B.混合燃氣流量(Nm ³ /h)	C.Dome 溫度(°C)	D.過剩空氣比	y ₁	y ₂
T1	3,496	90,000	1,260	1.05	0.8687	0.8799
T2	3,496	92,500	1,285	1.1	0.8596	0.8475
T3	3,496	95,000	1,310	1.15	0.8291	0.8253
T4	3,580	90,000	1,285	1.15	0.8725	0.8752
T5	3,580	92,500	1,310	1.05	0.8434	0.8417
T6	3,580	95,000	1,260	1.1	0.8271	0.8159
T7	3,663	90,000	1,310	1.1	0.8478	0.8278
T8	3,663	92,500	1,260	1.15	0.8202	0.8264
T9	3,663	95,000	1,285	1.05	0.8217	0.8144

表 2 之測試結果顯示，在 T1 至 T9 共九組不同操作條件下，系統效率介於 81.44%~87.99%。若進一步針對實驗參數及效率之關係，以方程式(8)作 S/N 分析^[9](表 3 及圖 6)，則根據分析結果，我們可以發現，過剩空氣比與系統效率較無明顯關係；操作參數對系統效率之影響性大小順序為混合燃氣流量 > 混合燃氣熱值 > Dome 溫度設定值 > 過剩空氣比。

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10} \left[\left(\frac{1}{n} \right) \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{y_i^2} \right) \right] \quad (8)$$

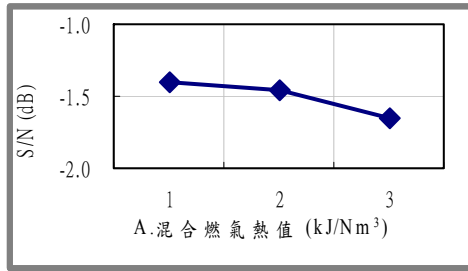
由於系統效率在穩定操作的狀況下越高越好，具望大之特性；因此，在熱風爐送風溫度 1,160 °C 時，混合燃氣流量、混合燃氣熱值、Dome 溫度設定值、過剩空氣比之最佳操作參數組合分別為 90,000 Nm³/h、3,496 kJ/Nm³、1,285 °C，1.05 之組合。在進一步考量四座熱風爐蓄熱狀況差異、蓄熱磚溫度之穩定性並保持現場操作彈性，目前現場除混合燃氣流量視風量需求作彈性調整外，其餘爐操參數皆依 S/N 分析結果作設定。經現場確認試驗結果證明，改善後平均系統熱效率達 85.71%，且由監測結果可知，此操作模式可在熱風爐規範之限制條件下，維持系統穩定運轉。

根據現場長期追蹤結果，運用本研究建立之操作基準可穩定提昇#2BF 熱風爐系統熱效率至 85.2%，已超越先進鋼廠目標水準 83%，總計每年節能效益達 9,004 萬元，CO₂ 減量達 15,406 噸/年。此外，相關技術更已推展應用至其他高爐熱風爐及能源轉換系統，協助達成製程碳排放減量之清潔生產目標。

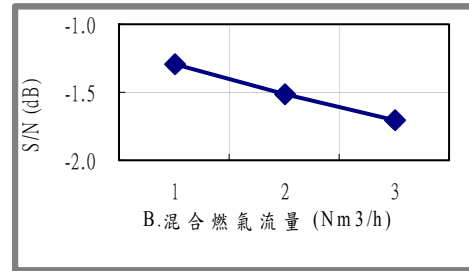
表 3 熱風爐系統熱效率訊號雜音比(S/N Ratio)分析

項目	A	B	C	D
因子水準 1	-1.397	-1.293	-1.522	-1.467
因子水準 2	-1.456	-1.518	-1.431	-1.541
因子水準 3	-1.658	-1.700	-1.559	-1.503
偏差值*	0.260	0.408	0.128	0.075
影響性排行	2	1	3	4

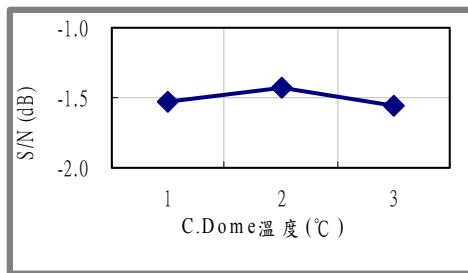
*偏差值=|S/N Ratio_{最大值} - S/N Ratio_{最小值}|



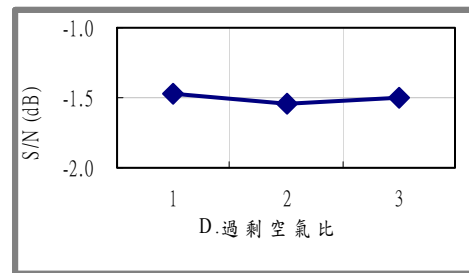
a. 燃氣熱值與系統效率關係



b. 燃氣流量與系統效率關係



c. Dome 溫度與系統效率關係



d. 過剩空氣比與系統效率關係

圖 6 關鍵爐操參數與系統效率關係 S/N 圖

四、結 論

提升製程能源效率、降低二氧化碳排放是中鋼重要經營方針，本計畫以熱力學及燃燒理論為基礎，利用數值分析及田口法等工具，配合現場實驗開發廢熱回收系統性能預測軟體及二號高爐熱風爐最佳化操作技術。藉由上述技術之建立，中鋼#2 BF 熱風爐系統熱效率由 79.1% 提高至 85.2%，已超越先進鋼廠水準，總計每年節能效益達 9,004 萬元，CO₂ 減量達 15,406 噸/年。

五、參考文獻

1. 林佩勳，“二號高爐熱風爐廢熱回收系統性能分析技術建立規劃”，中鋼研究計劃# TE94644 結案報告，95 年 2 月。
2. 林佩勳等，“二號高爐熱風爐合理化操作技術建立暨應用”，中鋼研究計劃 PJ96648 結案報告，97 年 10 月。
3. Pei-Hsun Lin, Pai-Hsiang Wang, Hui-Tien Chen and Wei-Lun Chung., “Efficiency improvement of the hot blast generating system by waste heat recovery”, WIT Transactions on Ecology and the Environment, Vol.105,

- pp113-121, (ISSN:1743-3541), 2007.
4. Gordon J. Van Wylen and Richard E. Sonntag, "Fundamentals of classic thermodynamics", Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1985.
 5. Wilbert F. Stoecker and Jerold W. Jones, "Refrigeration & Air Conditioning", Second Edition, McGRAW-HILL, 1982.
 6. 林佩勳、王佰祥, "熱風爐熱回收效率評估技術建立與應用", 技術與訓練, 三十一卷四期(總號 237 期), pp. 100-105, (ISSN 0254-5888), 中華民國九十五年。
 7. Patankar, S. V., "Numerical heat transfer and fluid flow", Hemisphere, London, 1980.
 8. Thaler, "Technical specification-Related to the delivery of a heat pipe based heat recovery system", DME document No.: TAWR-WR6500-03-1, 2005.
 9. Phillip J. Ross, "Taguchi techniques for quality engineering", McGraw-Hill, 1989.
 10. Chen Yi-sheng, He You-do, He Zhen, Sun Guo-long and Hao Zhi-zhong, "Simulation study on flame shape of combustion of ceramic-grid burners", Industrial furnace, Vol 28, No5, pp 4-6, 2006.

瀝青拌合業異味改善成功案例

羅金泉*、王品凱**、陳子泰***、司洪濤****

摘要

為能有效利用資源，政府開始推動資源再生利用及零廢棄等政策，業者為配合政府政策開始進行瀝青混凝土挖(刨)料之再生製造與利用，惟瀝青廠於再生瀝青混凝土時易因產生 VOCs/異味等問題，而遭民眾陳情或因異味濃度超過法規標準受罰。瀝青廠之 VOCs/異味主要來源係來自於製程中之拌合作業廢氣、刨除料經乾燥機加熱及回收料洩至批次計量斗間隙。由於新材瀝青拌合製程主要原料為砂石，粒狀污染物為主要污染物，故此製程由乾燥機產生之 VOCs/異味較小；而刨除料拌合製程因刨除料含有瀝青，經乾燥機加熱易產生明顯異味。

本廠為改善刨除料再生時產生之 VOCs/異味問題，係將新材瀝青拌合製程與刨除料拌合製程使用之粒料乾燥機予以分開。因新材瀝青拌合製程產生之廢氣主要以粒狀污染物為主，故以旋風集塵器或重力沈降室作為廢氣前處理，再導入袋式集塵器處理，以提高粒狀污染物之處理效率。而將刨除料拌合製程中，由乾燥機產生之廢氣導入廢氣焚化爐，以燃燒氧化方式達到脫臭及符合異味濃度標準。本廠期藉由成功案例介紹以提供遭遇相同問題之瀝青業者參考應用，以減少業者遭民眾陳情或因異味濃度超過法規標準受罰之情形發生。

【關鍵字】廢氣、異味、燃燒、刨除料再生、熱能回收

*三峽瀝青股份有限公司 董事長

**三峽瀝青股份有限公司 總經理

***台灣產業服務基金會綠色技術中心 工程師

****台灣產業服務基金會綠色技術中心 專案副理

一、前 言

瀝青混凝土由骨材及半固體的瀝青所組成，鋪築完成後，瀝青因溫度降回常溫，而恢復其半固體的狀態，不像水泥與水發生的化學變化，產生強度；因此，瀝青混凝土強度的主要來源為由砂石構成的骨架；只有高品質的砂石，才有可能提供瀝青混凝土好的骨架，才足以抵抗大的交通荷重，否則，有再好的瀝青材料，恐亦難彌補因骨架不良造成的車轍變形。

由於台灣地區砂石資源有限，近年來更因河川保護禁採砂石，為能有效利用資源，環保署開始推動資源再生利用及零廢棄等政策，而公共工程委員會、永續發展委員會及營建署亦開始推廣營建資源再生利用等相關政策，業者為配合政府政策開始進行瀝青混凝土挖(刨)料之再生製造與利用。

再生瀝青混凝土與再生紙及再生胎之再製品有所不同，再生紙及再生胎的主要構成材料為使用過的紙張和輪胎，但大部份的再生瀝青混凝土並不是將舊刨除料送回工廠再製成瀝青與粒料，當作生產瀝青混凝土的一部份原料，而是於再生製程時添加 20%~40%之刨除料，其餘則全為全新之砂石與瀝青。

以再生工法生產的瀝青混凝土都可以稱為再生瀝青混凝土，若依據美國交通部在 1993 年 6 月對國會所作的報告，瀝青路面的再生方法可分為工廠熱拌再生、現場熱拌再生、及現場冷拌再生等三種，茲分別敘述如下：

1. 工廠熱拌再生(Central-Plant Recycling)

此種再生工法乃將舊瀝青路面刨除料運回熱拌廠，以嚴密的品管控制，加入新粒料與新瀝青後，可以生產出與傳統熱拌瀝青混凝土相同的產品；隨著熱拌再生近二十年的經驗演進，至今已發展出許多針對傳統熱拌廠之製程修正方式，不管是分拌式或鼓式拌合廠，都可藉由機具設備的修改，而生產高品質的熱拌再生瀝青混凝土。美、日等國的再生瀝青混凝土主要屬於此類，國內目前推廣者亦為此種熱拌再生瀝青混凝土。

2. 現場再生(Hot In-Place Recycling, HIPR)

或稱為表層再生工法(Surface Recycling)，其步驟包括對現有之舊路面加熱、耙鬆(Scarify)、刨起路面層約 25mm 深，之後對現場刨起之 RAP 料於現地作熱生處理，包括添加新粒料、再生劑等材料，隨即鋪回在原來之路面上。

3. 現場冷拌再生(Cold In-Place Recycling, CIPR)

本處理方法乃對已損壞之路面，回收其面層或底層材料，在現場以添加石灰、水泥或乳化瀝青等材料予以穩定處理，填築作為底層，以改善路

面結構，至於面層仍需鋪以熱拌(再生)瀝青混凝土才能提高鋪面品質。

惟瀝青廠於再生瀝青混凝土時易因產生 VOCs/異味等問題，而遭民眾陳情或因異味濃度超過法規標準受罰。鑑於 VOCs/異味為瀝青拌合業常見之空氣污染問題，茲提具改善成功案例供參考。

二、瀝青拌合業製程及污染特性

瀝青拌合製程為先將原料砂石經乾燥機乾燥後進入熱料提昇機及振動篩進行篩分、稱量後進入拌合機與瀝青一同拌合，製造流程及示意圖如圖 1、圖 2 所示。瀝青拌合製程中乾燥機的廢氣排放量佔總廢氣量的 80%，製程單元中乾燥機、熱料提昇機、振動篩、計量斗及拌合機等設備於操作時易產生粒狀污染物，而 VOCs/異味來源係來自於製程中之拌合作業廢氣、回收料經乾燥機加熱及回收料洩至批次計量斗間隙。

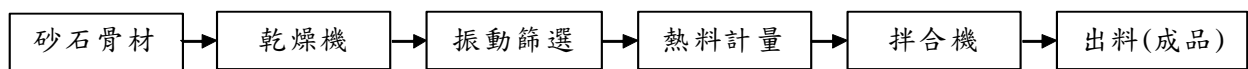


圖 1 瀝青拌合業製程流程圖

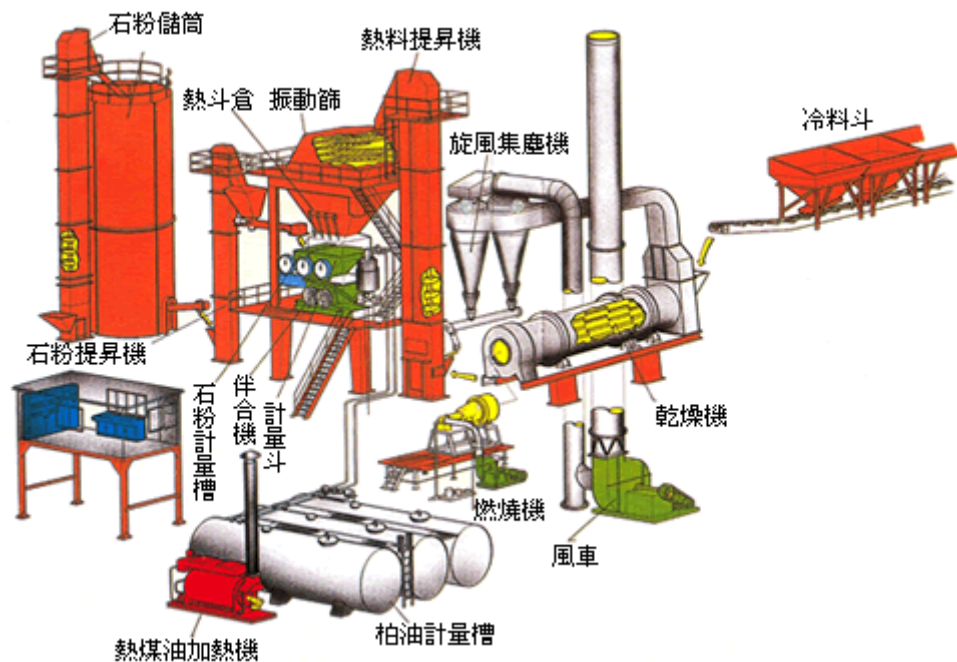


圖 2 瀝青拌合業製程流程示意圖

另，拌合成品卸至卡車之卸料口亦為造成粒狀污染物逸散及 VOCs/異味之污染源。瀝青之製造過程中，因熱解或不完全燃燒所產生之異味係為多環芳香烴化合物(PAH)及其衍生物，PAH 屬半揮發性有機物，具持久不易分解之特性，主要由不包含雜或取代基之芳香環所組成。

三、再生瀝青混凝土產生異味問題之改善方法

本廠共有 3 條瀝青拌合生產線，每條生產線皆有從事新材瀝青拌合及回收料拌合等 2 種生產程序，由於廠內 VOCs/異味未能有效處理，多次遭民眾陳情及保單位取締。

1.改善方法

由於新材瀝青拌合製程主要原料為砂石，粒狀污染物為主要污染物，故此製程由乾燥機產生之 VOCs/異味較小；而回收料拌合製程因回收料含有瀝青，經乾燥機加熱易產生明顯異味。故本廠則將新材瀝青拌合製程與回收料拌合製程使用之粒料乾燥機予以分開(示意圖如圖 3)。新材瀝青拌合製程產生之廢氣主要以粒狀污染物為主，故採旋風集塵器或重力沈降室作為廢氣前處理，再導入袋式集塵器處理，以提高粒狀污染物之處理效率。

另，回收料拌合製程則裝設直燃式焚化爐(如圖 4)，將乾燥機產生之廢氣導入焚化爐，以燃燒氧化方式達到脫臭及符合異味濃度標準。

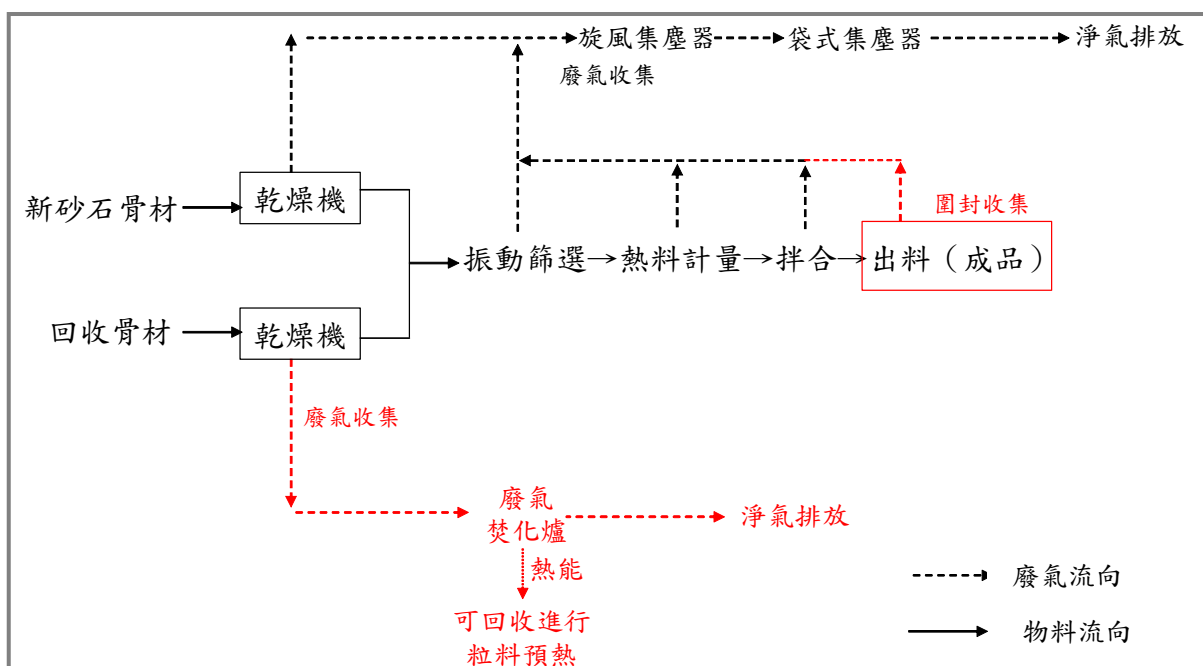


圖 3 乾燥機單元製程改善流程圖

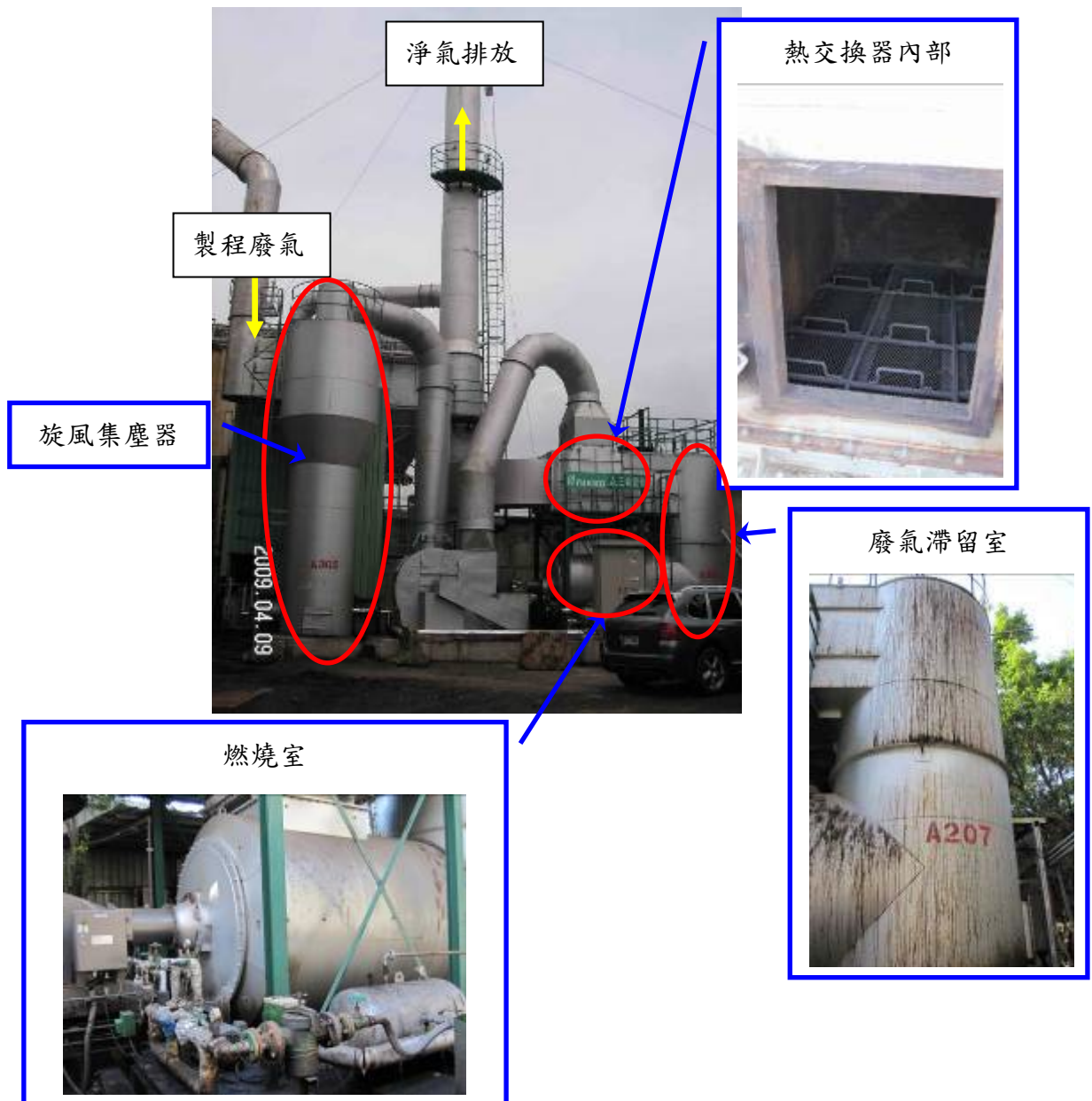


圖 4 直燃式廢氣焚化爐

2. 防制設備操作條件及改善成果

本廠使用之直燃式焚化爐，燃燒溫度約控制於約 750°C ；廢氣於燃燒式內滯留時間為 0.6 秒，其處理效率可達 95% 以上，能有效改善排氣產生異味之問題。本廠使用之直燃式焚化爐為有效節省空間，將燃燒裝置、排風機、熱交換器、燃燒室及廢氣滯留室設計為立體構造。為了有效節省燃料費，於本體上設置熱交器，將進氣溫度提高至 450°C 後再導入燃燒式燃燒(燃燒溫度： 850°C)，經燃燒後之廢氣再經由熱交換器，將溫度降至 500°C 後排放。為能即時瞭解燃燒爐之操作情形，設有中央監控系統(如圖 5)，使可於第一時間解決異常問題。

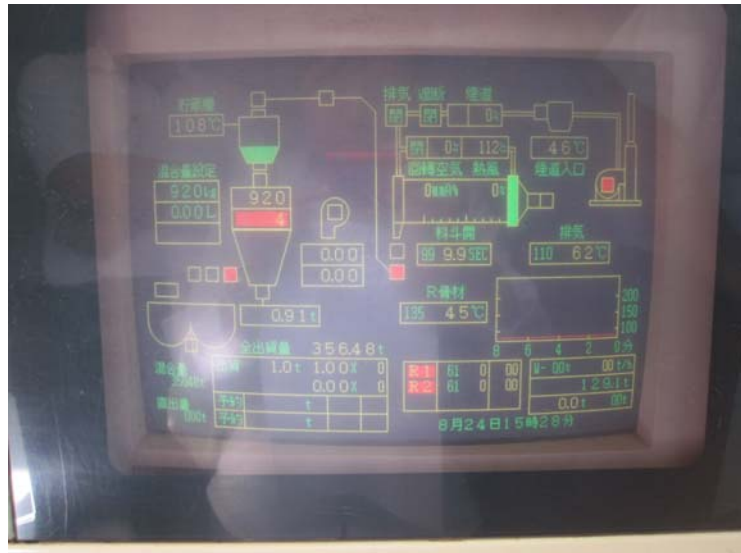


圖 4 中央監控系統

經前述改善方法改善完成後，異味濃度有明顯之改善，異味濃度檢測結果如表 1 所示。

表 1 異味濃度檢測結果

排放管道	改善前	改善後	異味濃度標準 (管道高度介於 18~50 公尺)
新材瀝青拌合製程	4,120	98	2,000
回收料拌合製程		417	2,000

四、結 論

瀝青拌合業近期因瀝青混凝土挖(刨)料之再生製造衍生許多空污問題遭民眾陳情以及既有設備之操作維護不佳遭環保單位告發取締，期望藉由彙整相關可行之改善方案及作法，協助瀝青拌合業改善應用。

五、參考文獻

- 1.林志棟、唐綺玟、陳建達、岳巧琿，「瀝青混凝土挖(刨)除料之再利用評估與管理機制」，95年10月，第7屆鋪面材料再生學術研討會。
- 2.環保署，「瀝青拌合業粒狀污染物排放標準」，88年4月。
- 3.台灣區瀝青工業同業公會網 <http://taia2.myweb.hinet.net/newsletter/newsletter.htm>

議程七

1.以電漿熔融產物水淬熔岩為原料製作人造石之研究

楊昇府、王多美、葉俊彥、李文成、孫金星、曾錦清

2.循環式流體化床(CFB)飛灰作為卜作嵐材料資材化之研究

林凱隆、吳修賢

以電漿熔融產物水淬熔岩為原料製作人造石之研究

楊昇府*、王多美*、葉俊彥*、李文成**、孫金星***、曾錦清****

摘 要

核能研究所近年來開發電漿熔融及資源化再利用技術，將都市垃圾焚化爐灰渣經由高溫熔融轉化成性質穩定的水淬熔岩，並將其再利用為人行道透水磚、道路級配、柏油瀝青及熔岩纖維等資源化產品和材料。為了將水淬熔岩有效資源再利用，提昇水淬熔岩應用廣度與深度，核能研究所研究開發以水淬熔岩為原料來製作人造石，取代原製程之原料天然石粉，冀望能減少天然資源的耗用，避免原料開採對環境造成衝擊。

本研究主要目的在於提供一種水淬熔岩人造石的製作方法及建立產品特性分析方法，以製造出具有高附加價值的水淬熔岩人造石。研究中以控制水淬熔岩混合比例、水淬熔岩粒徑大小及其它製程因子，進行一系列人造石試作並檢測其基本特性，特性檢測包括：(1)抗壓強度，(2)拉力實驗，(3)硬度，(4)比重與吸水性，(5)耐熱，(6)毒性溶出試驗(TCLP)等。同時，在水淬熔岩人造石配比設計中發現，水淬熔岩粒徑粗(38~4.76 mm)、細(2.38~0.075 mm)比例為 1：1 時，可得較低吸水性、較高硬度值；人造石樹脂含量愈多或水淬熔岩含量愈少時，抗拉強度愈高，而抗壓強度並不遵循此規則；另外，莫氏硬度則是在 6 級與 7 級之間。

【關鍵字】電漿熔融、都市焚化爐灰渣、水淬熔岩、人造石

*行政院原子能委員會核能研究所 工程師

**行政院原子能委員會核能研究所 助理研究員

***行政院原子能委員會核能研究所 副研究員

****行政院原子能委員會核能研究所 研究員

一、前 言

核能研究所研發電漿玻璃化技術來處理都市垃圾焚化爐灰渣，焚化爐灰渣經高溫熔融後，液態熔漿再由水淬槽冷卻產生水淬熔岩。水淬熔岩為一玻璃化之物質，其主要成份為 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 系之無機成份所組成，核研所根據水淬熔岩的特性將它資源再利用為透水磚^[1]、道路級配^[2]、瀝青混凝土^[3]、熔岩纖維^[4]、多孔性材料^[5]和纖維水泥增強材料^[6]等開發研究，以減少廢棄物的處置。

人造石材又稱合成石，義大利布萊頓公司（Breton）在 60 年代中期開始研究和試驗人造石的製造和生產，當時的人造石產品主要用於鋪設路面，製作技術非常簡單，把樹脂和碎石攪拌後裝入模具中，生產出大大小小的石塊。目前人造石則是以大理石、花崗石碎料、石英砂及石渣等為主要製造的原料，再與樹脂或水泥等膠結料，經拌和、成型、聚合或養護之程序，最後經研磨拋光、切割而成。常用的人造石有人造花崗石、大理石和水磨石三種。它們可製成如天然石材的花紋、質感和裝飾之效果，其花色、品種、形狀多樣化，並具有強度高、耐腐蝕、耐污染及施工方便等優點。目前常用的人造石有下列四類：

1. 水泥型人造石

以白色、彩色水泥或矽酸鹽、鋁酸鹽水泥為膠結料，製造原料以砂為細骨材，碎大理石、花崗石或工業廢渣等為粗骨材，必要時再加入適量的耐鹼顏料，經配比設計、攪拌、成型和養護硬化後，再進行磨平拋光而製成。如各種水磨石製品。

2. 聚酯型人造石

以不飽和聚酯樹脂為膠結料，加入石英砂、大理石渣及方解石粉等無機填料和顏料，經配比設計、混合攪拌、澆注成型、固化、烘乾及拋光等製作程序。目前國內外人造石、花崗石以聚酯型為最多。

3. 複合型人造石

是由無機膠結料和有機膠結料共同組合而成，以提高產品的性能。如可在水泥型板材上，複合聚酯型薄層組成之複合型板材；或是將水泥型人造石，浸漬於具有聚合性能的有機單體中，並加以聚合而成之複合材料。

4. 燒結型人造石

把斜長石、石英、輝石石粉、赤鐵礦、高嶺土等混合成的礦物粉末，加入 40% 左右的黏土拌合製成泥漿，經製坯、成型和藝術加工後，

再經 1,000°C 左右的高溫燒結而成。如仿花崗石瓷磚、仿大理石陶瓷藝術板等。

本研究之主要目的，在於採用電漿熔融焚化爐灰渣製成之水淬熔岩顆粒為原料，探討其製作為水淬熔岩人造石，以達成廢棄物資源再利用之目的，提昇水淬熔岩應用廣度與深度。

二、實驗材料

實驗使用之廢棄物灰渣來自台灣北部某都市垃圾焚化爐，利用核能研究所電漿爐高溫熔融後，經由水淬槽製成水淬熔岩。水淬熔岩主要化學組成如表 1 所示，主要由 CaO-SiO₂-Al₂O₃ 之無機成份所構成^[1]。而焚化爐灰渣及水淬熔岩毒性特性溶出程序(TCLP)，有毒重金屬檢測成份，則如表 2 所示^[6]。從表 2 中，顯示水淬熔岩之重金屬溶出低於法規標準值，係不屬於有害廢棄物，因此可以將之資源再利用。實驗過程中，以上述水淬熔岩為原料，添加不飽和聚酯樹脂、消泡劑、促進劑和硬化劑進行拌合。以上適用之不飽和聚酯樹脂為英全化學工業股份有限公司所生產，其餘（消泡劑、促進劑和硬化劑等）試劑，則向強亞實業有限公司購置。

表 1 水淬熔岩主要化學組成

化學組成	wt.%
CaO	35.20
SiO ₂	25.30
Al ₂ O ₃	17.62
MgO	2.00
Fe ₂ O ₃	7.96
Na ₂ O	2.73

表 2 焚化爐灰渣和水淬熔岩毒性特性溶出程序分析結果

	Se (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	Cu (mg/L)	Hg (mg/L)	As (mg/L)	Cr ⁶⁺ (mg/L)	Ba (mg/L)
反應灰	<0.01	5.52	<0.01	0.23	0.84	0.07	<0.01	0.12	4.42
底灰	<0.01	<0.01	<0.01	0.11	0.42	<0.05	<0.01	0.08	0.85
水淬熔岩	<0.01	<0.01	<0.01	0.05	0.39	<0.05	<0.01	<0.01	0.28
TCLP criteria	1.0	5.0	1.0	5.0	15.0	0.2	5.0	2.5	100.0

三、實驗方法及步驟

本研究利用水淬熔岩製作人造石，並探討其基本物理化學性質，整體研究架構如圖 1 所示。研究中以控制水淬熔岩混合比例、水淬熔岩顆粒大小及其它製程因子，進行一系列人造石試作並檢測其基本特性，檢測試驗包括：(1)抗壓強度；(2)拉力實驗；(3)硬度；(4)比重與吸水性；(5)耐熱；(6)毒性溶出等。本研究之配比設計原則，為盡量使用水淬熔岩，來取代原有製作人造石製程中之天然石粉原料。有關試驗項目說明如下：

1. 抗壓試驗：試體尺寸為 $\Phi 5 \times 10$ cm，根據 ASTM C39 或 CNS1232 標準進行抗壓試驗。
2. 抗拉試驗：試體大小為 2.54 cm \times 2.54 cm \times 7.62 cm 之 8 字型尺寸，根據 ASTM C190 標準進行抗拉試驗。
3. 吸水率試驗：試體大小為 $\Phi 50.8$ mm \times 3.2 mm 之圓盤尺寸，根據 ASTM D570-98 標準進行吸水率試驗。
4. 比重試驗：試體大小為 $\Phi 50.8$ mm \times 3.2 mm 之圓盤尺寸，根據 ASTM D792-00 標準進行比重試驗。
5. 硬度試驗：試體大小為 $\Phi 50.8$ mm \times 3.2 mm 之圓盤尺寸，根據 ASTM D2240 或 CNS7095 標準進行蕭氏 SHORE (D) 硬度試驗。
6. 耐熱試驗：將試片 $\Phi 30.0$ mm \times 2 mm 與油倒入鐵製容器內，以卡氏瓦斯爐加熱進行相當耐熱試驗比較，讀取試片加熱產生變化的溫度。
7. 毒性溶出 (TCLP) 試驗：毒性溶出 (TCLP) 分析項目將包括汞、鉛、鎘、鉻 (總鉻) 六價鉻及砷等有毒重金屬，根據 NIEA R201.13C 標準進行試驗。

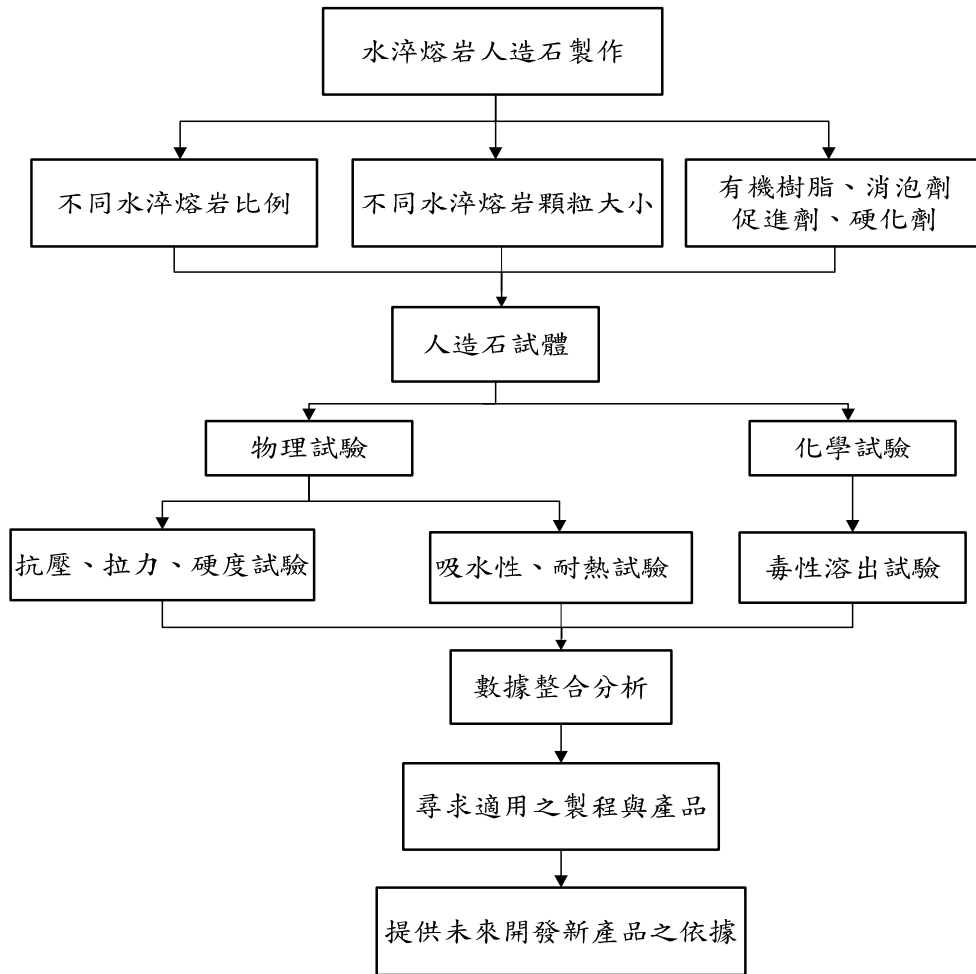


圖 1 研究架構

在不含石粉的水淬熔岩人造石部份，製造的原料中完全不含有天然石粉，而僅將樹脂與各種粗細含量不同的水淬熔岩顆粒，分別依樹脂與水淬熔岩比例為 1：3.5 及 1：4.0 混合，並添加約為 0.01%樹脂量的硬化劑，經製成各種試體，最後再測其物性，並與市售產品相互比較分析，以尋求實驗之最佳配比。另外，含石粉的水淬熔岩人造石的製造，在原料中則含有少量的天然石粉，其樹脂與水淬熔岩添加石粉的比例、硬化劑含量、製成試體後之測試分析，均與上述之不含石粉的水淬熔岩人造石部份相同。

水淬熔岩人造石的製造方法包括下列步驟：

- 1.原料製備：將焚化爐灰渣經電漿熔融處理，可得水淬熔岩顆粒並取適當之粒徑做為人造石之原料。
- 2.本研究依粒徑大小將該水淬熔岩顆粒區分成二種水淬熔岩顆粒，可通過 3/2”號篩(38.1 mm)但無法通過 4 號篩(4.76 mm)者為粗水淬熔岩顆粒；經搗碎研磨後，可通過 8 號篩(2.38 mm)但無法通過 200 號篩(0.074 mm)

者為細水淬熔岩顆粒。

- 3.反應成型步驟：加入適量的樹脂、硬化劑、消泡劑和促進劑與該水淬熔岩顆粒混合攪拌成一流體基材，再將該流體基材澆注入一預定大小之模具，待其固化後形成一本體，並進行脫膜，可製得水淬熔岩人造石。

四、結果與討論

如欲使用水淬熔岩人造石作為建材，其必須具備有一般建材之基本物性，以比重來說，比重較小者在相同體積下重量較輕，一來方便運輸，二來支撐建材用的鋼材使用量亦可減少；以硬度來說，硬度較大者具有較好的耐磨性與抗壓性；以吸水率來說，吸水率較小者不易發生因滲水加上受到熱脹冷縮所導致的建材表面龜裂及整塊建材剝落等問題；亦即，良好之人造石材物性，係以比重低、硬度高及吸水率低為較佳特性。

因此，本研究針對上述各種水淬熔岩人造石的組成成份進行多組配比實驗，包括不含石粉的水淬熔岩人造石和含石粉的水淬熔岩人造石。

1.不含石粉的水淬熔岩人造石物性探討

在不含石粉的水淬熔岩人造石中，當樹脂與水淬熔岩顆粒(粗水淬熔岩顆粒加上細水淬熔岩顆粒)的含量比為 1：3.5 或 1：4.0 時(如表 3 和表 4)，隨著細水淬熔岩顆粒含量的增加，該水淬熔岩人造石材大致呈比重降低、吸水率降低及硬度提高之較佳物性。此與人造石商業產品相比較，本研究所製造的不含石粉水淬熔岩人造石材，具有較低比重、較低吸水率與較高硬度值，顯然其各種特性均較為優良。

表 3 樹脂與水淬熔岩顆粒含量比為 1：3.5

序號	樹脂	水淬熔岩顆粒		比重 (g/cm ³)	吸水率 (%)	硬度
		粗水淬熔岩顆粒	細水淬熔岩顆粒			
1	100	300	50	1.835	0.613	85.7
2	100	250	100	1.809	0.479	85.6
3	100	225	125	1.787	0.457	87.0
4	100	200	150	1.810	0.364	87.6
5	100	175	175	1.790	0.373	87.3
市售人造石	100	相同比例天然石粉		2.110	0.642	85.3

表 4 樹脂與水淬熔岩顆粒含量比為 1：4.0

序號	樹脂	水淬熔岩顆粒		比重	吸水率	硬度
		粗水淬熔岩顆粒	細水淬熔岩顆粒			
6	100	400	0	1.959	0.810	82.3
7	100	350	50	1.802	0.553	86.0
8	100	300	100	1.818	0.517	85.3
9	100	250	150	1.778	0.381	86.6
10	100	200	200	1.767	0.311	87.6
市售 人造石	100	相同比例天然石粉		2.110	0.642	85.3

2.含石粉的水淬熔岩人造石材物性探討

當樹脂含量與粗水淬熔岩顆粒加石粉的總含量的配比為 1：3.5 或 1：4 時(如表 5 和表 6)，含石粉的單層水淬熔岩人造石材比市售人造石具有較低的比重、較低的吸水率，及略低的硬度，雖硬度略低，但差異值不大。

表 5 樹脂與粗水淬熔岩顆粒加石粉的含量比為 1：3.5

序號	樹脂	石粉	水淬熔岩顆粒		比重	吸水率	硬度
			粗水淬熔岩顆粒	細水淬熔岩顆粒			
11	100	100	250	0	2.017	0.532	84.3
市售 人造石	100	相同比例天然石粉			2.110	0.642	85.3

表 6 樹脂與粗水淬熔岩顆粒加石粉的含量比為 1：4

序號	樹脂	石粉	水淬熔岩顆粒		比重	吸水率	硬度
			粗水淬熔岩顆粒	細水淬熔岩顆粒			
12	100	50	350	0	1.939	0.573	83.6
市售 人造石	100	相同比例天然石粉			2.110	0.642	85.3

3. 蕭氏(Shore D)硬度與莫氏(Mohs)硬度之轉換

莫氏硬度尺度是德國礦物學家莫氏(Mohs)設定了一個硬度表，硬度是礦物受損的難易程度。兩塊礦物互相刻劃，受損的一塊硬度較低。它是把礦物的硬度由 1 到 10 共分十個等級，每一個等級都有一種礦物做為標準礦物。以這些礦物和比較的礦物進行刻劃，較軟的礦物會出現刮痕，兩者都有刮痕表示硬度相同，以此訂出它在礦物表上的等級。其中，莫氏硬度 7 級的石英其蕭氏 SHORE (D) 硬度值約 91，石英硬度相當於挫鋼刀，莫氏硬度 6 級的長石其蕭氏 SHORE (D) 硬度值約 68，長石硬度相當於小刀，因此，由表 3-6 可知本研究中之人造石其莫氏硬度接近 7 級。

4. 抗拉強度及抗壓強度檢測

有關水淬熔岩人造石之抗拉強度及抗壓強度試驗檢測並非是全面性的，乃是依據上述不同水淬熔岩人造石外觀、比重、吸水率與硬度值等結果比較分析，發現在水淬熔岩人造石 12 種配比設計其樹脂:水淬熔岩(含石粉) 為 1:3.5 或 1:4 中，當水淬熔岩粗細比例為 1:1 時可得較低吸水性與較高硬度值；因此選擇 3 種配比人造石進行抗拉強度及抗壓強度檢測，其中 2 種配比是屬於水淬熔岩人造石，另外 1 種是市售人造石，抗拉強度及抗壓強度試體如圖 2 所示。



圖 2 抗壓強度(左)及抗拉強度(右)試體

表 7 不同配比水淬熔岩人造石(水淬熔岩粗細比例=1:1)與市售人造石之抗拉強度及抗壓強度檢測結果，發現市售人造石抗拉強度最高，而配比为 200/200 及 175/175 水淬熔岩人造石抗拉強度次之，配比为 225/225 則最小。此現象說明當比較人造石配比中樹脂:水淬熔岩=1:2.5、1:3.5、1:4 與 1:4.5 中，當樹脂含量愈多或水淬熔岩含量愈少時，其抗拉強度愈高；相對地當樹脂含量愈少或水淬熔岩含量愈多時，其抗拉強度愈低。另外，發現抗壓強度並不遵循樹脂含量愈多或水淬熔岩(含石粉) 含量愈少時，其抗壓強度愈高之規則，如 200/200 與 175/175 兩者抗壓強度較

接近也較高，而以 225/225 水淬熔岩人造石抗壓強度為最小；可能原因為水淬熔岩添加量過大，部份水淬熔岩顆粒過大或品質不易控制所造成；因此，選擇合適的水淬熔岩最大粒徑與水淬熔岩最大添加量，是往後研究的需特別考量的重要參數。

表 7 水淬熔岩人造石與市售人造石之抗拉強度及抗壓強度結果

人造石材料	抗拉強度(MPa)	抗壓強度(MPa)
225/225	11.7	96.5
200/200	12.4	105.2
175/175	12.2	100.6
市售人造石	15.8	79.9

5.耐熱試驗

耐熱試驗步驟為(1)將不同配比的試片分類，分為兩種不同的方式進行試驗試片在各種溫度下所產生的變化。(2)將維力清香油倒入鐵製容器內，以卡氏瓦斯爐加熱，把試片投入油中，以溫度計讀取試片產生變化的溫度。(3)以卡氏瓦斯爐直接加熱清香油，清香油加熱速率控制約為 25 °C/min，加熱過程中，試片產生的變化，如局部產生氣泡、全面產生氣泡、試體不產生氣泡、剝落、軟化、破壞的溫度個別記錄下來。(4)加熱至試片破壞後，以夾子將試體夾出，擺回原位置照相紀錄。

試片耐熱試驗中，可發現加熱過程試片有開始冒泡、大範圍冒泡、氣泡消失、試片剝落、軟化、明顯破壞或粉碎，耐熱試驗結果如表 8 所示，試片開始冒泡大部份介於 100°C~110°C，大範圍冒泡大多介於 120~160°C 之間落差較大。試片軟化點其值約為 200°C，由試片軟化至可破壞的溫度上升值皆在 10 % 內；其中，水淬熔岩人造石與市售人造石試體耐熱過程及軟化點溫度較接近。

表 8 水淬熔岩人造石與廠商提供人造石耐熱試驗結果

試體配比	試體 編號	冒小 氣泡	冒氣 泡嚴重	氣泡 消失	試體 剝落	軟化	明顯 破壞	粉碎
200/200	1	100°C	-	170°C	-	234°C	250°C	-
	2	120°C	-	-	230°C	260°C	270°C	-
175/175	1	110°C	150°C	170°C	218°C	240°C	250°C	-
	2	110°C	130°C	190°C	-	210°C	220°C	-
市售人造石	1	110°C	160°C	-	212°C	260°C	268°C	-
	2	116°C	160°C	210°C	-	226°C	246°C	-

6. 毒性溶出(TCLP)試驗

在毒性溶出(TCLP)試驗：毒性溶出(TCLP)分析項目將包括汞、鉛、鎘、鉻(總鉻)六價鉻及砷等有毒重金屬。其中，水淬熔岩人造石材 TCLP 及 pH 值如表 9 所示，pH 值偏中性且毒性溶出遠低於法規標準值。因此，以水淬熔岩為原料的人造石試體，經由 TCLP 的測試後並無重金屬溶出的疑慮，可以取代原製程之原料天然石粉，如此，則能減少天然資源的耗用，避免原料開採對環境造成衝擊。

表 9 水淬熔岩人造石毒性特性溶出(TCLP)試驗結果

	pH 值	Zn	Pb	Cd	Cr	Cu	Hg	As
檢驗值	6.4	<0.0031	<0.041	<0.0056	<0.0052	0.14	<0.00035	0.01
單位	—	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
法規 標準	—	—	5.0	1.0	5.0	—	0.2	5.0

五、結 論

1. 在水淬熔岩人造石 12 種配比設計中發現，樹脂:水淬熔岩=1:3.5 或 1:4 中，水淬熔岩粗細比例=1:1 可得較低吸水性、較高硬度值。
2. 比較水淬熔岩人造石與市售人造石發現，水淬熔岩人造石具有較低比

重、硬度值相當，但吸水性變化大。

- 3.水淬熔岩人造石莫氏硬度介接近 7 級。
- 4.水淬熔岩人造石中樹脂含量愈多或水淬熔岩含量愈少時，其抗拉強度愈高；另由於市售人造石中樹脂含量較多，故其抗拉強度也較高。
- 5.水淬熔岩人造石之抗壓強度並不遵循樹脂含量愈多或水淬熔岩(含石粉)含量愈少時，其抗壓強度愈高之規則，研究發現 200/200 與 175/175 兩者抗壓強度較接近也較高，並較市售人造石為高。
- 6.水淬熔岩人造石與市售人造石試體耐熱過程及軟化點溫度相當接近。
- 7.水淬熔岩人造石試體重金屬溶出低於法規限值，為一安全建材。

六、參考文獻

1. Yang, S. F., Chiu, W. T., Wang, T. M., Lee, W. C., Chen, C. L. and Tzeng, C. C., "Asphalt concrete and permeable brick produced from incineration ash using thermal plasma technology", Journal of Environmental Engineering and Management, Vol. 19, pp. 227-232 (2009).
2. 楊昇府、邱文通、王多美、陳靖良、曾錦清，「電漿熔融水淬熔岩應用於道路工程材料之研究」，2006 清潔生產暨永續發展研討會，第 B10-1~B10-11 頁，台北市(2006)。
3. 楊昇府、邱文通、王多美、陳靖良、曾錦清，「電漿熔岩試做彩色排水瀝青混凝土之研究」，2006 廢棄物處理技術研討會，台中市(2006)。
4. 楊昇府、王多美、李文成、孫金星，「以焚化爐灰渣及其熔岩產物為原料製作纖維棉之研究」，2007 清潔生產暨永續發展研討會，台北市(2007)。
5. 楊昇府、邱文通、王多美、李文成、陳靖良、曾錦清，「以電漿熔岩試做多孔性輕質熔岩板材之研究」，2007 廢棄物處理技術研討會，高雄市(2007)。
6. 楊昇府、王多美、李文成、孫金星、陳靖良、曾錦清，「以自製熔岩纖維增強水泥試體抗壓強度之研究」，2008 廢棄物處理技術研討會，台北市(2008)。

循環式流體化床(CFB)飛灰作為卜作嵐材料

資材化之研究

林凱隆*、吳修賢**

摘要

石化業於煉油廠製程中所使用石油焦因含有部分之硫成分，在燃燒及熱裂解過程中易產生二氧化硫，而導致酸雨等環境污染問題。因此，近年來發展出一種循環式流體化床(Circulating Fluidized Bed, CFB)方法，不僅可提高燃燒效率，同時解決煉油廠所產生之有害污染物等。循環式流體化床燃燒技術是以石灰石作為脫硫劑，將石油焦與石灰石充分混合，進入燃燒鍋爐內燃燒，所產生飛灰經由空氣污染防治設備所捕集下之微粒稱為 CFB 飛灰。目前台灣地區所產生之 CFB 飛灰，年產量約為 32.8 萬噸，亟待處理。本研究係利用循環式流體化床所產生 CFB 飛灰副產品作為卜作嵐材料之資材化研究。實驗結果顯示，CFB 飛灰之化學組成主要以 CaO (37.75%)、SO₃(9.23%) 及 SiO₂(2.18%) 成份居多，且主要晶相為 CaSO₄；經由 TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) 試驗得知，重金屬溶出量皆符合法規標準值無危害環境之虞，且具有資源化再利用潛力。CFB 飛灰水泥漿體之 XRD 分析顯示，C₃S, C₂S, Ca(OH)₂, C-S-H 及鈣鈦石晶相；MIP 試驗結果顯示，OPC 水泥漿體及 CFB 飛灰水泥漿體孔隙體積隨齡期增加有減小之趨勢。由 NMR 圖譜分析得知，於養護齡期第 60 天發現，因受鹼活化反應，使 CFB 飛灰水泥漿體之封閉 SiO₄⁴⁻四面體形成更開放聚矽鏈狀(Q¹)結構，當養護齡期至 90 天時，(單聚合物 Q¹)逐漸轉成聚矽鏈狀的結構(Q²)吸收峰，故 Q¹ 峰逐漸減少，而 Q² 峰逐漸增高現象。綜合以上結論，CFB 飛灰可部分取代波特蘭水泥，其最佳取代量為 10%。

【關鍵字】循環式流體化床、CFB 飛灰、卜作嵐反應、鈣鈦石

*國立宜蘭大學環境工程研究所 教授

**國立宜蘭大學環境工程研究所 研究生

一、前 言

台塑煉油廠製程中石油焦含有高硫量，故石油焦在燃燒及熱裂解同時，產生二氧化硫造成環境污染，形成酸雨等環境問題。因此，近年來發展出一種循環式流體化床 (Circulating Fluidized Bed, CFB)^[1]，可降低環境污染，並可提高燃燒效率，同時解決煉油廠所產生之有害污染物等。循環式流體化床燃燒技術為使用石灰石作為脫硫劑，將石油焦與石灰石充分混合，進入鍋爐內燃燒，所產生飛灰經由空氣污染防制設備所捕集下之微粒稱為 CFB 飛灰，且台灣台塑煉油廠 CFB 飛灰，年產量約為 32.8 萬噸，累積未處理量高達 80 萬公噸有待處理。

1. CFB 飛灰在化學特性上，氧化鈣(CaO)及硫(S)含量極高兩者反應可形成 CaSO_4 ，可應用於水泥製程業、人造粒料、土壤穩定材料及道路基材等。另外，根據文獻提出 CFB 飛灰對環境不具污染性，可直接掩埋方式處理，但台灣地區地小人稠土地取得不易，且將大量 CFB 飛灰有價副產品以掩埋方式處置實屬浪費。且 CFB 飛灰可提供作為濾材、骨材、路基材料、掩埋覆土及水泥摻料等，用途廣泛，不僅可提供高附加價值之產品，作為環境調和型營建材料及環境淨化材料等應用，在永續廢棄物處理、環境效益及環境保護方面，意義重大。故本研究主要目的係針對 CFB 飛灰取代部分波特蘭水泥，並建立 CFB 飛灰應用於波特蘭 I 型水泥漿體水化反應特性，據以評估後續作為資材化之潛力。

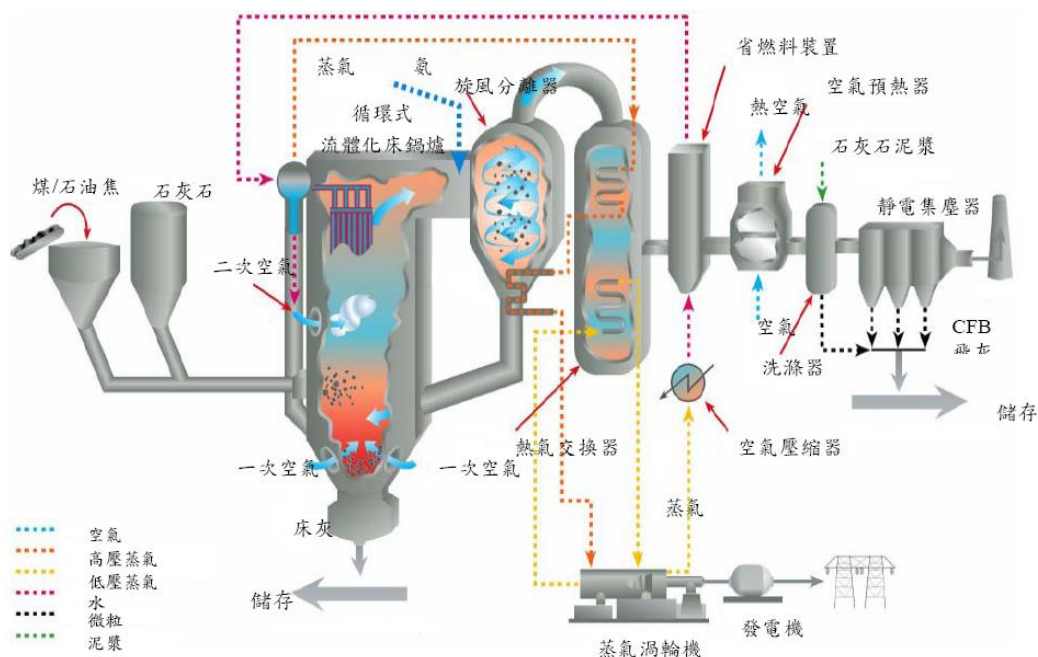


圖 1 循環式流體化床鍋爐流程圖^[2]

二、CFB 飛灰再利用現況

CFB 飛灰是為一種新興工業副產品，因此相關研究尚待建立其完整性，但有關 CFB 飛灰研究亦歸納出幾種，主要原因 CFB 飛灰含有高量(CaO)達 37.75%，及含硫(S)量達 9.23%兩者反應可形成 CaSO_4 ，係屬 C 級飛灰亦可成為建築材料中膠結性材料。根據國外地區 CFB 飛灰，再利用現況，如表 1 所示，大部份各國將 CFB 飛灰以回填方式作為處理，次之成為土壤改良，少部份再利用於水泥製造業，然而 CFB 飛灰再利用率達最高國家為歐洲地區，而 CFB 飛灰產生量最高為美國地區。

台灣台塑煉油廠近年來才引進 CFB 技術，是台灣唯一使用循環式流體化床，且台塑煉油廠所產生出 CFB 飛灰，再利用為初步發展階段，因此台塑煉油廠所產生 CFB 飛灰，只再利用於該廠區道路基底層及農地改質。另外，CFB 飛灰再利用於其他產業，如：CFB 飛灰應用於水泥製程業，由於 CFB 飛灰含有大量石膏(CaSO_4)取代水泥熟料，經過研究顯示，CFB 飛灰取代量為 5~6%，於養護齡期為 28 天，抗壓強度具有提升現象。此外，CFB 飛灰用於新型建材，可成為石膏板，應用於建築之牆壁、天花板底板及面板，且均符合 CNS 4458 規定。而 CFB 飛灰 pH 為 12.7 屬鹼性且對環境無毒性無污染之虞，可用於改良酸性土壤之用途^[3~5]。同時，為了 CFB 飛灰在利用上可更加廣泛，亦出多種改進技術。如以下三點：

- 1.機械激發技術：透過機械方式破壞脫硫灰顆粒凝結，引起表面缺陷，提高脫硫灰活性。
- 2.穩定技術：針對 CFB 飛灰體積膨脹問題，利用化學藥劑改變 CFB 飛灰水化反應，提高體積安定性與強度。
- 3.固化技術：將 CFB 飛灰與水及少量化學藥劑混和，經適當養護後製成粒料。

表 1 CFB 飛灰於國外地區再利用現況統計^[6]

年份	地區	產量 (萬噸/年)	再利用現況
2002	加拿大	13	未妥善再利用及資源化。
2002	美國	125	共利用 95 萬噸，其中 76 萬噸用於回填。
2000	波蘭 Turow 電廠	100	大部分用於電廠附近回填，其中有 1 萬噸透過機械再處理用於混凝土中。
2003	歐洲	100	共利用 100 萬噸，其中 79.2 萬噸用於回填、8.5 萬噸用於土壤改質、5.6 萬噸用於路基材料、4.3 萬噸用於水泥產業、2.4 萬噸用於其他產業。

資料來源：黃暉淇，2008

三、CFB 飛灰之物化特性

本研究所使用之 CFB 飛灰，取自台灣台塑煉油廠。該廠使用循環式流體化床所產生飛灰副產品，外觀呈灰白色粉末狀，比重為 2.54，pH 值為 12.7，屬強鹼性，且卜作嵐活性為 73%。CFB 飛灰經由 XRF 分析，結果如表 2 所示，表中顯示：CFB 飛灰主要成份為 CaO (37.75%)、SO₃(9.23%)及 SiO₂ (2.18%)等。CFB 飛灰重金屬溶出量，如表 3 所示，重金屬 Pb 及 Cu 含量分別為 35.71 mg/kg 與 11.9 mg/kg。而 TCLP 檢驗方法(NIEA R 201.13C)顯示，CFB 飛灰重金屬溶出值皆未超過法規標準值，顯示 CFB 飛灰是為安定性工業副產品。CFB 飛灰 XRD 分析上，如圖 1 所示，CFB 飛灰主要晶相為 CaSO₄。

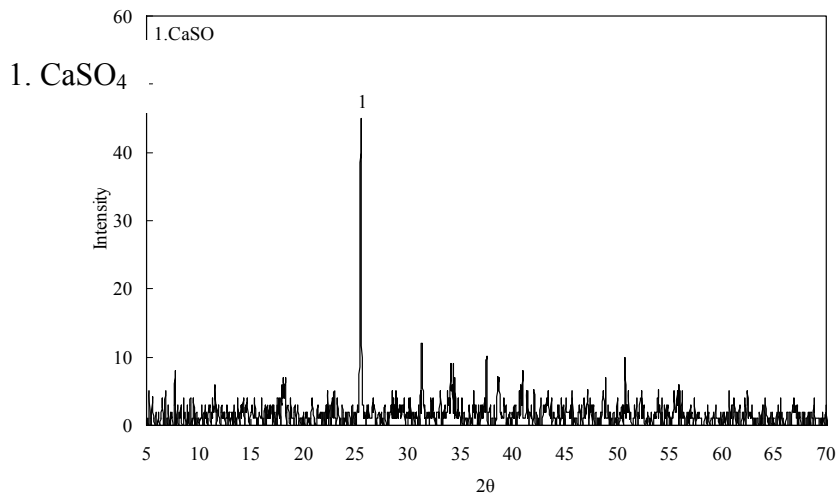


圖 1 CFB 飛灰之 XRD 圖譜

表 2 CFB 飛灰物化學特性

Composition (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
CFB Fly Ash	2.18	2.34	0.46	37.75	1.27	9.23

表 3 CFB 飛灰之重金屬總量及毒性溶出試驗結果

	Pb	Cu	Cd	Cr	Zn
Total Metal (mg/kg)	35.71	11.9	ND	ND	ND
TCLP (mg/L)	0.25	0.013	ND	ND	ND
Regulatory Limits	5	15	1	5	—

*Pb 之偵測極限 < 0.016 mg/kg; **Cd < 0.014 mg/kg; ***Cr < 0.016 mg/kg

四、CFB飛灰應用於水泥漿體水化反應探討

本研究將 CFB 飛灰，經過烘乾研磨並通過 200 號篩控制粒徑。另外，本實驗參考 ASTM C109，以水膠比為 0.40、製作 1 英吋立方 CFB 飛灰水泥漿體，並以隔日拆模，進行養護作業達到養護齡期 7、14、28、60、90 天取出，以面乾內飽合狀態，進行單軸抗壓試驗，並將試體抗壓破壞後，浸泡於甲醇終止水化，且試體經過 105°C 烘箱烘乾 24 小時，以利進行抗壓強度、TG/DTA、MIP、XRD、NMR 等微觀分析。

1. CFB 飛灰水泥漿體抗壓強度發展

圖 2 為水膠比為 0.4 及不同 CFB 飛灰取代量(0-40%)之水泥漿體之抗壓強度發展。結果顯示，不同 CFB 飛灰取代量之水泥漿體之抗壓強度隨養護齡期增加，皆有上升之趨勢，但 CFB 飛灰水泥漿體隨 CFB 飛灰取代量愈高，其 CFB 飛灰水泥漿體之抗壓強度於各齡期皆較 OPC 水泥漿體為低；其中，當 CFB 飛灰取代量為 40% 時，CFB 飛灰水泥漿體之抗壓強度則有明顯降低趨勢。

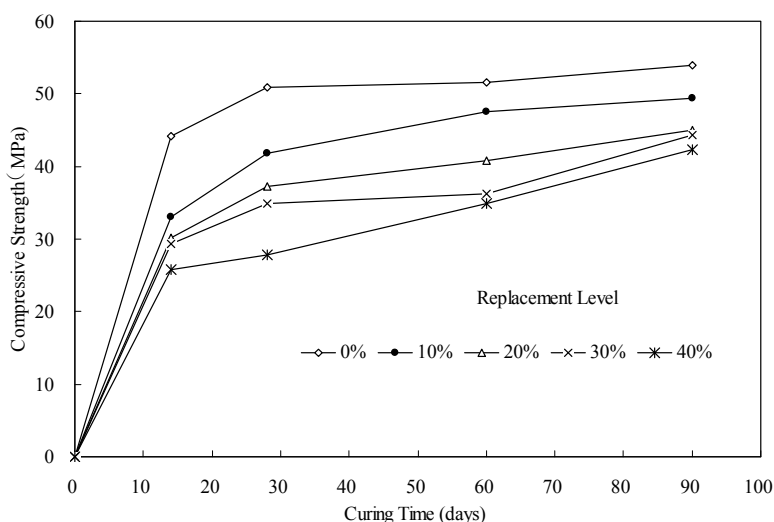


圖 2 CFB 飛灰漿體之抗壓強度發展

2. CFB 飛灰水泥漿體熱重分析

圖 3 為添加 10% 之 CFB 飛灰水泥漿體，於養護齡期為 7、28 及 90 天之熱重分析曲線。由圖中得知，CFB 飛灰水泥漿體經過水化作用後之水化產物，受到高溫作用而於不同溫度下產生化學分解，其分解主要有以下四個階段：(1)40~105°C 為漿體中之水份蒸發(孔隙水及層間水)；(2) 105°C~440°C 為漿體中之鈣氫石、C-S-H 膠體及矽鋁酸鈣水化物分解。

(3)440°C~580°C為 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 分解。(4) 580°C~1,007°C為 CaCO_3 分解。表 4 為純水泥漿體與添加 10%、20%及 30%與 40%之 CFB 飛灰水泥漿體熱失重分析結果。結果顯示：CFB 飛灰水泥漿體於各取代量 10%、20%及 30%與 40%，其 C-S-H 膠體及鈣氫石隨著齡期增加有增加趨勢，且於養護齡期 28 及 90 天 C-S-H 膠體、鈣氫石的含量則有明顯增加 1%~2%，顯示卜作嵐反應則持續產生。此外，CFB 飛灰添加量超過 10%，其 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 含量也伴隨著卜作嵐反應而有明顯減少之趨勢，顯示添加 CFB 飛灰於水泥漿體，會因卜作嵐反應而消耗部分 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 。

表 4 純水泥漿體與 CFB 飛灰水泥漿體熱失重比例

	齡期 (天)	熱失重分佈 (%)			
		40~105°C	105~440°C	440~580°C	580~1,007°C
OPC	7	0.53	23.22	8.39	11.83
OPC	28	0.42	24.28	8.73	14.98
OPC	90	0.49	28.68	12.71	8.42
10%	7	0.37	23.11	8.37	9.11
10%	28	0.35	25.66	9.14	12.43
10%	90	0.41	27.72	10.92	12.10
20%	7	0.23	19.90	7.35	13.65
20%	28	0.44	25.92	10.24	9.26
20%	90	0.40	26.44	9.47	12.59
30%	7	0.31	23.28	10.09	8.18
30%	28	0.46	24.94	9.24	13.13
30%	90	0.20	26.12	7.27	16.17
40%	7	0.50	23.70	8.99	11.71
40%	28	0.17	23.83	6.69	17.76
40%	90	0.27	24.01	8.37	18.18

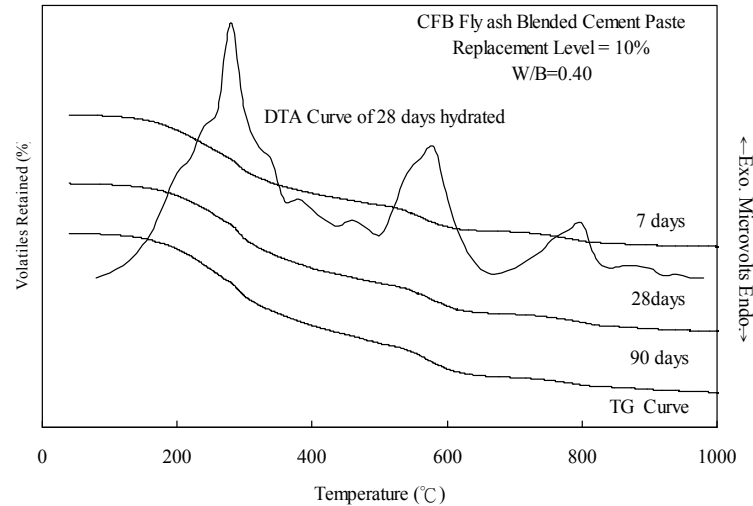


圖 3 添加 10% CFB 飛灰水泥漿體之熱失重分析

3. CFB 飛灰水泥漿體 XRD 分析

圖 4 為純水泥漿體之 XRD 分析圖譜。由圖中顯示，當繞射角(2θ)為 7.94° 時發現托伯莫萊土(Tobermorite)晶相，此晶相由 C-S-H 膠體轉化而成，在 CSH 類別中所屬第 I 型。另外，繞射角(2θ)為 17.97° 、 34.02° 、 46.96° 及 50.73° 時發現有 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 晶相存在。而繞射角(2θ)為 31.93° 時，出現未水化之矽酸二鈣顆粒晶相； 2θ 角為 32.48° 及 34.32° 則發現未水化之矽酸三鈣顆粒晶相。此外，於 2θ 角為 9.07° 、 15.74° 及 18.87° 發現鈣鈣石(Ettringite)晶相生成。

圖 5 為水膠比 0.40 時，添加 10% CFB 飛灰水泥漿體於 28、60 及 90 天養護齡期之 XRD 圖譜。結果顯示，當繞射角(2θ)為 7.94° 發現 Tobermorite 晶相。於 2θ 角為 17.97° 、 34.02° 、 46.96° 及 50.73° 發現 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 水化產物。另外，CFB 飛灰水泥漿體，於 2θ 角為 9.07° 、 15.74° 及 18.87° 發現鈣鈣石晶相，文獻指出水泥漿體含有高量的 SO_3 與 Free-CaO 有助於鈣鈣石的形成^[7~10]。此外，繞射角(2θ)為 32.52° 發現單硫型鋁酸相(Afm)之微弱波峰，由於水泥漿體單礦物 C_3A 消耗 CaSO_4 所致。結果顯示，CFB 飛灰水泥漿體，於養護齡期 90 天時，添加 10% CFB 飛灰水泥漿體鈣鈣石繞射峰強度較為純水泥漿體高，顯示 CFB 飛灰水泥漿體中，於鈣鈣石有增長趨勢。

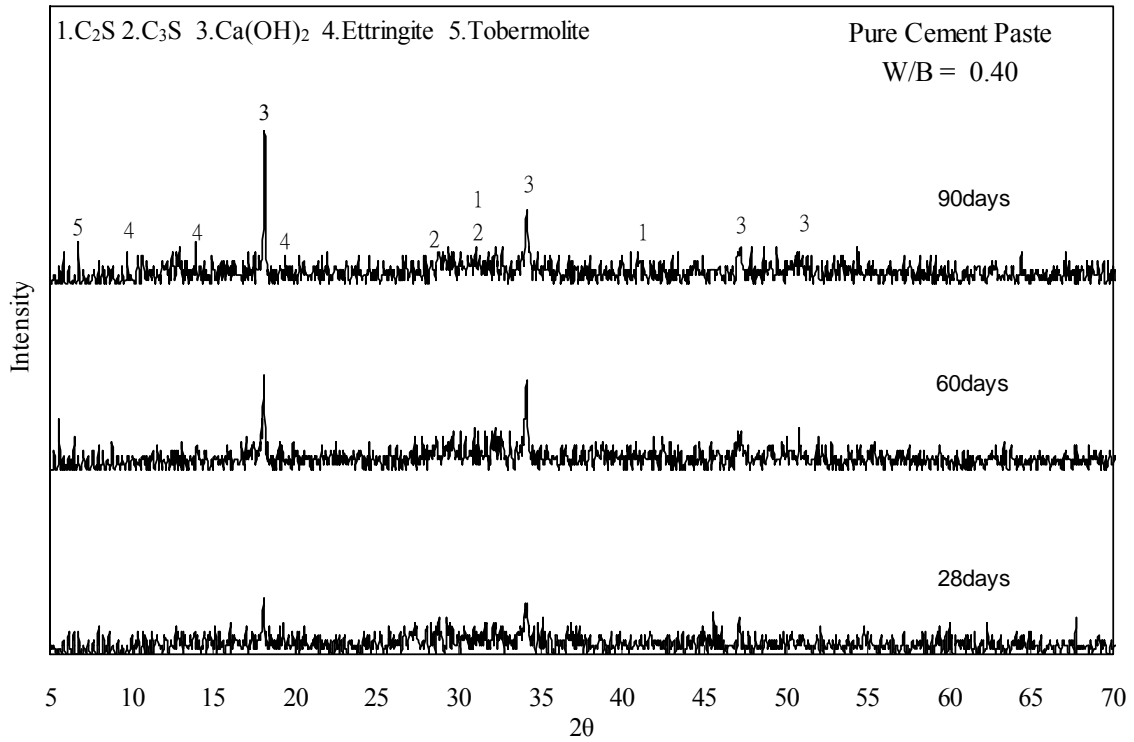


圖 4 純水泥漿體之 XRD 圖譜

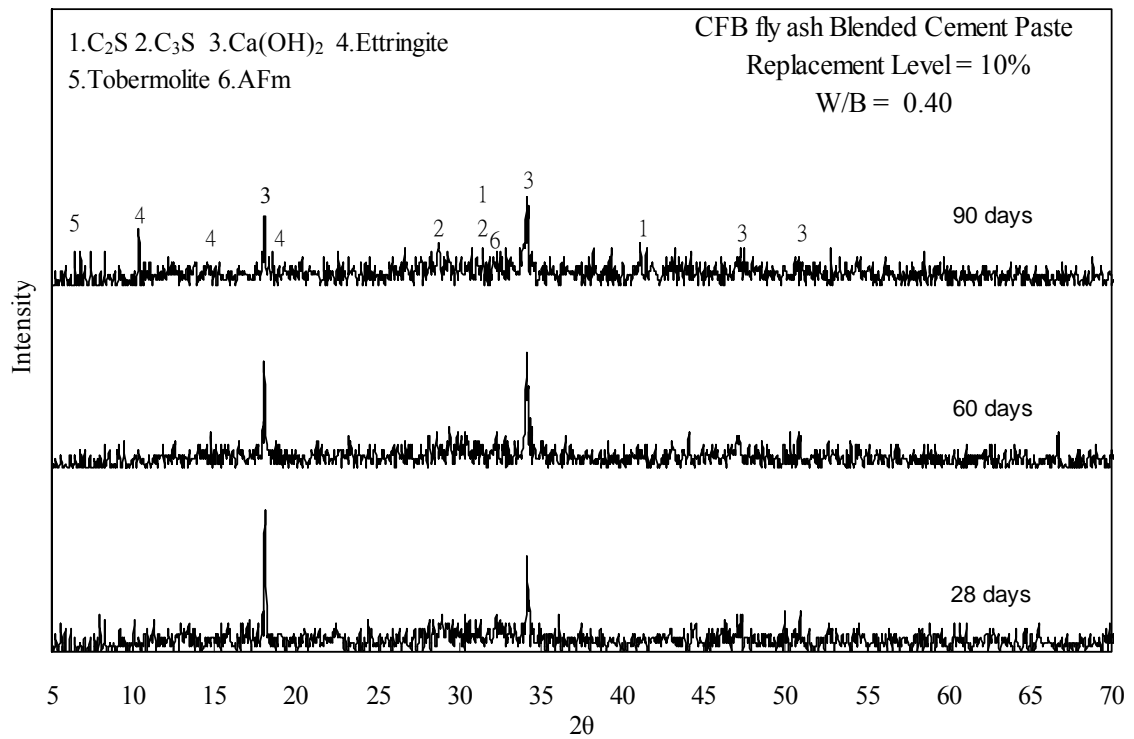


圖 5 CFB 飛灰水泥漿體之 XRD 圖譜

4.CFB 飛灰水泥漿體孔隙分佈大小

圖 6 為純水泥漿體於養護齡期為 28 及 90 天之孔隙大小分佈變化情形。由純水泥漿體孔隙分佈得知，隨養護齡期增加，孔隙分佈逐漸由 10 μm 轉為 1 μm 及 0.1 μm 。另外，當養護齡期增加為 90 天時，膠孔(>0.01 μm)則有明顯增加趨勢。由孔隙體積分佈圖得知，純水泥漿體於養護齡期 28 天，總孔及毛孔體積較為高，但隨著養護齡期增加至 90 天，總孔及毛孔皆有下降趨勢。顯示純水泥漿體隨著養護齡期增加，而孔隙則有逐漸緻密之趨勢。

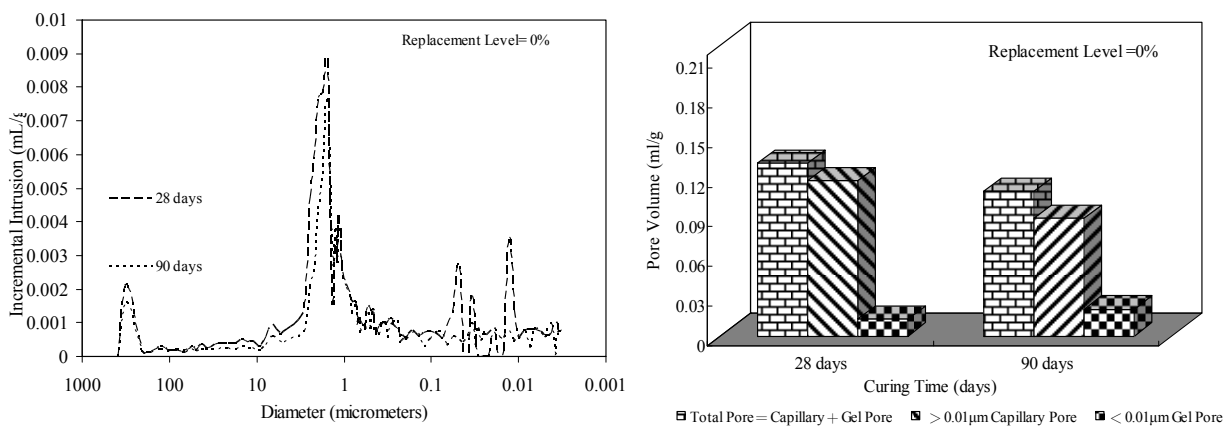


圖 6 純水泥漿體之 MIP 孔隙大小及孔隙體積分佈圖

圖 7 取代量 10%之 CFB 飛灰水泥漿體於養護齡期為 28 及 90 天之孔隙大小分佈圖。結果顯示：CFB 飛灰水泥漿體於養護齡期為 28 天時，孔隙變化無明顯趨向小孔隙，且養護齡期第 90 天時，膠孔(>0.01 μm)並無明顯增加之趨勢。另外，由孔隙體積分佈圖結果顯示，CFB 飛灰水泥漿體，於養護齡期 90 天膠孔體積，並無明顯增加現象，可能係由於 CFB 飛灰含有高量 CaSO_4 ，當與加入水泥漿體中， CaSO_4 會與單礦物鋁酸三鈣(C_3A) 結合，而形成膨脹性鈣鈣石(Aft)等水化產物；故當水泥漿體 CaSO_4 與單礦物鋁酸三鈣消耗完全，則逐漸轉變為單硫型鋁酸鈣(Afm)，由孔隙體積分佈圖顯示，膨脹性鈣鈣石使水泥漿體孔隙增大，故膠孔體積無明顯上升之趨勢。

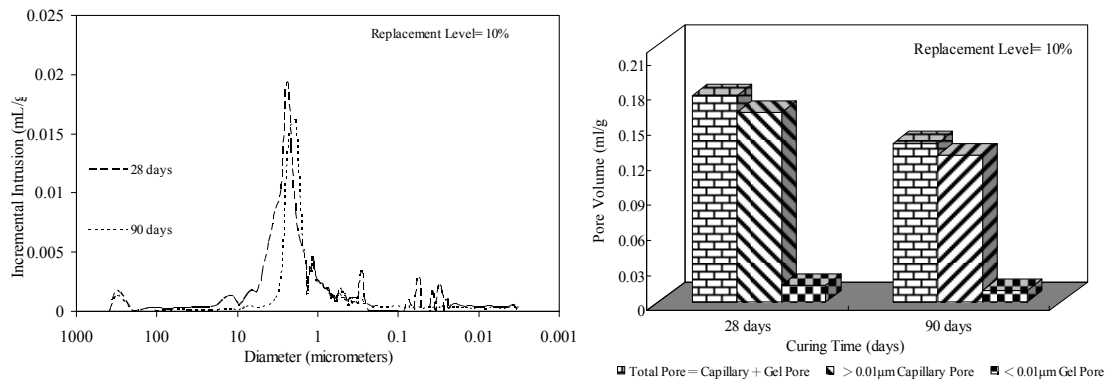


圖 7 CFB 飛灰水泥漿體之 MIP 孔隙大小及孔隙體積圖

5. CFB 飛灰水泥漿體 NMR 分析

圖 8 為添加 10%CFB 飛灰水泥漿體，於齡期 28、60、90 天之 ^{29}Si 核磁共振分析。圖中可觀測到未水化水泥顆粒之單聚合物(Q^0)其所在吸收範圍(-68 至 -78 ppm)具有較多的共振峰之特性，其中 Q^0 峰具有很明顯的波峰高度，相較於其他齡期之 Q^0 峰下為最高。第 28 天之結果顯示，未水化 C_3S 顆粒之 Q^0 峰呈現降低的狀態。當養護齡期至 60 天時，其 Q^0 峰的高度緩慢的下降，且 Q^1 及 Q^2 吸收峰逐漸增高，表示養護齡期為 60 天後，添加 10% CFB 飛灰水泥漿體因受鹼活化反應，使 CFB 飛灰中封閉 SiO_4^{4-} 四面體形成更開放聚矽鏈狀(Q^2)結構。當養護齡期至 90 天時， Q^0 峰的高度逐漸減小，而 Q^2 吸收峰的高度緩慢增長。因此，添加 10% 之 CFB 飛灰水泥漿體 ^{29}Si 核磁共振的結果顯示，隨著養護齡期增加，水化反應持續進行，CFB 飛灰內含有(Si)受鹼活化影響，使封閉 SiO_4^{4-} 四面體結構(單聚合物 Q^0)逐漸轉變成，聚矽鏈狀的結構(Q^2)吸收峰，而 Q^2 峰則有逐漸增高。

表 5 為純水泥漿體與 CFB 飛灰水泥漿體，於各齡期及不同取代量為 10%、20%及 30%與 40%之 NMR 光譜資訊。結果顯示，純水泥漿體水化程度與聚矽陰離子長度，隨著養護齡期增加亦有增加趨勢，顯示純水泥漿體 C-S-H 膠體，具有持續成長並有延展趨勢。另外，添加 10%、20%及 30%與 40%之 CFB 飛灰水泥漿體水化程度與聚矽陰離子長度，隨著養護齡期增加有明顯增加趨勢。但 CFB 飛灰添加量超過 10%，其水化程度於養護齡期 90 天，皆小於純水泥漿體及 CFB 飛灰取代量為 10%之水泥漿體，由於 CFB 飛灰添加量越多，養護晚期則會延遲水化反應，由此得知，CFB 飛灰最適添加量為 10%。

CFB Fly ash Blended Cement Paste
 Replacement Level=10%
 W/B = 0.40

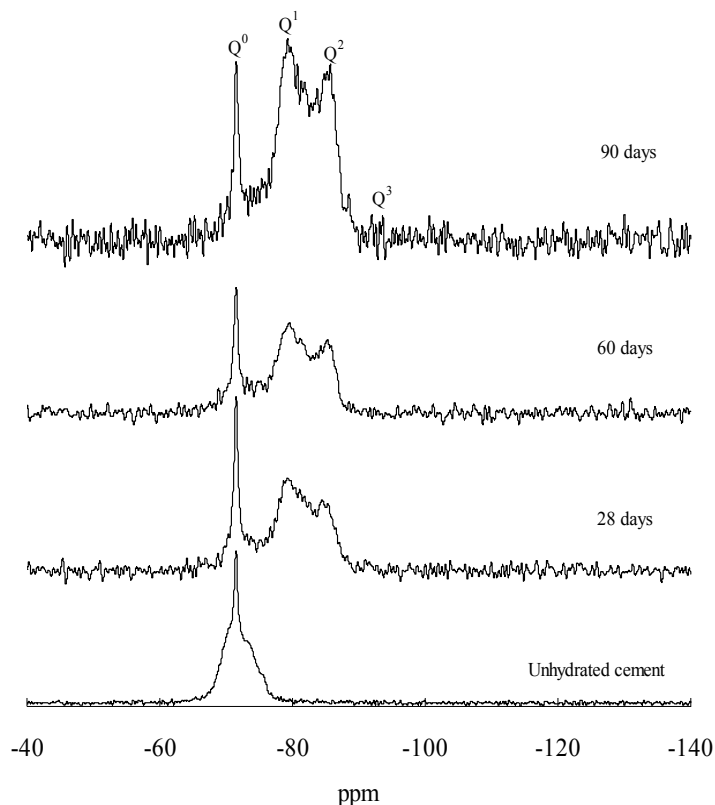


圖 8 CFB 飛灰水泥漿體之 NMR 分析圖譜

表 5 CFB 飛灰之 NMR 光譜資訊

	齡期(天)	²⁹ Si NMR 光譜資訊				總和	水化程度 α (%)	聚矽離子 強度
		Q ⁰	Q ¹	Q ²	Q ³			
OPC	28	363	326	253	59	1000	63.7	3.55
OPC	60	315	382	265	38	1000	68.5	3.39
OPC	90	295	374	287	44	1000	70.5	3.54
10%	28	352	339	259	50	1000	64.8	3.53
10%	60	326	376	274	24	1000	67.4	3.46
10%	90	253	381	322	44	1000	74.7	3.69
20%	28	408	313	235	44	1000	59.2	3.50
20%	60	316	362	288	34	1000	68.4	3.59
20%	90	307	349	305	40	1000	69.3	3.75
30%	28	393	314	238	55	1000	60.7	3.51
30%	60	310	351	298	41	1000	69.0	3.70
30%	90	307	345	306	41	1000	69.3	3.77
40%	28	396	315	234	55	1000	60.4	3.48
40%	60	316	351	283	50	1000	68.4	3.61
40%	90	307	325	308	60	1000	69.3	3.90

五、結 論

- 1.CFB 飛灰之化學組成主要為 CaO (37.75%)、SO₃(9.23%)及 SiO₂ (2.18%)等成份，主要晶相為 CaSO₄。
- 2.CFB 飛灰之 TCLP 分析結果顯示，Pb 及 Cu 溶出濃度分別為 0.25 及 0.013 mg/L，均符合法規限值。
- 3.CFB 飛灰水泥漿體隨 CFB 飛灰取代量愈高，其抗壓強度發展於各齡期皆小於純水泥漿體，故 CFB 飛灰取代量以不超過 10%為原則。
- 4.添加量 10 % CFB 飛灰水泥漿體 XRD 分析顯示，隨著養護齡期增加時，Ca(OH)₂ 於 17.85°~18.34°與 46.54°區域所發現繞射峰有明顯下降，係由於 CFB 飛灰水泥漿體水化產物 Ca(OH)₂ 結合 CFB 飛灰中 SO₃ 形成 CaSO₄。另外，CFB 飛灰於水泥漿體，其鈣釩石晶體較純水泥漿體多，係由於 CFB 飛灰 CaSO₄ 有助於鈣釩石之增長。
- 5.取代量 10%之 CFB 飛灰水泥漿體結果顯示，CFB 飛灰水泥漿體，於養護齡期為 28-90 天時，總孔隙明顯減小，惟膠孔(>0.01μm)並無明顯增加之趨勢。
- 6.NMR 分析得知，添加 10 %之 CFB 飛灰水泥漿體，於養護齡期第 60 天時發現，CFB 飛灰顆粒受鹼活化反應，使得 CFB 飛灰水泥漿體之 SiO₄⁴⁻四面體形成更開放聚矽鏈狀(Q²)結構，當養護齡期至 90 天時，其因 CFB 飛灰因受鹼活化影響，有助於使封閉 SiO₄⁴⁻四面體結構 (單聚合物 Q⁰)逐漸轉成聚矽鏈狀的結構(Q²)吸收峰。

參考文獻

- 1.黃世傑，行政院國家科學委員會專題研究計畫，「內循環流體化床中除硫研究」，成果報告，2006。
- 2.Jackson.N.M., Mack.R., Malek.M., “Pavement Subgrade Stabilization and Construction Using Bed and Fly Ash, ” World of Coal Ash (WOCA) , pp. 7-10 (2007).
- 3.王昱智，「CFB 副產石灰為混凝土膠結材料之配比與特性研究」，碩士論文，國立中央大學土木工程研究所，2008。
- 4.胡倫豪，「副產石灰作為垃圾掩埋場覆土替代材料對垃圾滲出水品質之影響」，碩士論文，朝陽科技大學環境工程與管理系，2006。
- 5.黃兆龍，卜作嵐混凝土使用手冊，財團法人中興工程顧問社，2008。
- 6.黃暉淇，「循環式流化床燃燒飛灰應用於水泥質複合材料之機理與特性研

- 究」，碩士論文，國立台灣海洋大學材料工程研究所，2008。
7. 郭硯華，「CFB 副產石灰於混凝應用之研究簡報」，國立中央大學，2008。
 8. Sievert. T., Wolter. A., Singh.N.B., “Hydration of anhydrite of gypsum (CaSO_4) in a ball mill,” Cement and Concrete Research, Vol.35, pp. 623-630 (2005).
 9. Sheng. G, Li. Q., Zhai. J., Li. F., “Self-cementitious properties of fly ashes from CFBC boilers co-firing coal and high-sulphur petroleum coke,” Cement and Concrete Research, Vol.37, pp. 871-876 (2007).
 10. 黃兆龍，混凝土性質與行為，詹氏書局，2007。

議程八

1. 污泥類廢棄資材製成多孔性輕質材料之應用評估研究

江康鈺、陳冠懃、張靖芬、顏慧茹、簡光勵

2. 利用廢織物生產生質酒精

郭家宏、林伯儒、李振綱

3. 非氰化黃金剝離劑之研究－以IT產業廢BGA板為例

余炳盛、連崇孝、協昌之、詹士儀、張鎮宇

污泥類廢棄資材製成多孔性輕質材料之應用評估研究

江康鈺*、陳冠憶**、張靖芬***、顏慧茹***、簡光勵****

摘 要

本研究應用燒結技術探討兩種不同性質之污泥類廢棄資材(包括淨水及下水污泥)，製成多孔性輕質材料之應用特性及其可行性評估。實驗條件分別控制燒結溫度(1,050°C~1,100°C)及不同之摻配比例(下水污泥摻配比例分別為0%~70%)，研究結果顯示多孔性輕質材料之體密度，隨著下水污泥之摻配比例增加而降低，其中當添加60%下水污泥之燒結產物，其體密度分別為1.4 g/cm³(1,050°C)及1.6g/cm³(1,080°C)，已較傳統建築材料之體密度為低。此外，根據視孔隙率分析結果亦可知，隨著下水污泥之摻配比例增加而明顯增加，可見添加下水污泥有助於燒結製成多孔性輕質化材料。然而，多孔性輕質材料之抗壓強度，則隨視孔隙率增加而降低，研究結果顯示燒結溫度為1050°C之試驗條件，雖有助於產生多孔性結構及輕質化作用，惟其產物之緻密化程度較差，致使抗壓強度低於國家建築磚材之品質規範(150 kg/cm²)。然當燒結溫度增加至1,080°C之試驗條件時，下水污泥之摻配比例達40%以上之燒結產物，其不僅達到緻密化程度及多孔性輕質材料之效果，同時其抗壓強度介於200~400 kg/cm²，符合國家建築磚材品質規範之要求。另根據環境安全性試驗結果顯示，輕質材料之重金屬TCLP溶出濃度，皆遠低於法規管制標準，整體而言，本研究成果不僅解決大量衍生之污泥類廢棄資材處理處置問題，同時有助於拓展多孔性輕質材料之資源化技術應用與發展。

【關鍵字】燒結技術、污泥、多孔性輕質材料

*逢甲大學環境工程與科學系 教授

**中興大學環境工程研究所 碩士班研究生

***逢甲大學環境工程與科學系 碩士班研究生

****逢甲大學環境工程與科學系 博士候選人

一、前 言

台灣每年均產生數量龐大的污泥類無機廢棄資材，有待進一步妥善處理、資源化以及發展整合型之管理策略。近年國內針對污泥類無機廢棄資材之本土資源化技術，已有多元化之發展，諸如灰渣及污泥直接再利用、或利用燒結、熔融等熱處理技術，轉換成環保材料等。燒結技術發展已有相當長之歷史，為一非常成熟之材料化技術，此技術普遍應用在一般陶瓷及精密陶瓷生產、粉末冶金技術及醫學材料等先進工業。近年來亦被應用作為泥渣類廢棄物之處理及再資源化，如焚化灰渣應用於土木建築材料及混凝土製品等之實例，此外，陶瓷材料及奈米材料等示範性研究，亦逐漸受到重視與發展。

近年來國內積極研發綠建築技術與創新綠色材料技術，其中輕質化材料即為目前綠建築設計之重要材料與應用選擇之一，由於輕質化材料屬多孔性，因此，不僅具有改善熱傳導性之功能，同時兼具有隔熱之效能，可充分達到綠建築要求之節能減碳目的。Russ et al.(2005)研究利用釀造穀粒作為增加磚材孔洞之材料，結果顯示燒結之黏土產品中，呈現較高的孔隙度。Veiseh et al.(2003)研究添加聚苯乙烯於磚材以提高隔熱特性，結果顯示增加聚苯乙烯可降低磚材之密度及抗壓強度，同時增加吸水率及提高隔熱效果。Wang et al.(2005)研究利用下水污泥灰本身具有多孔性與質輕的特性，與水泥及發泡劑混拌製成具有高孔隙率、低熱傳性及低比重之輕質隔熱材料。

Cheeseman et al.(2003)研究探討下水污泥灰製成輕質化骨材之可行性，結果顯示在燒結溫度 1,070°C 試驗條件下，燒結試體中較大之分離性孔洞會開始結合而形成不規則孔洞，燒結產品之吸水率降低，抗壓強度增加，同時達到輕質骨材之應用規範。Souza et al.(2004)研究利用油污泥與黏土共同燒結製成多孔性陶瓷材料，結果顯示當操作溫度控制在 1000°C，增加油污泥含量，可使磚體產生多孔性結構，此外，孔隙增加雖降低產品之機械強度，然仍可達到陶瓷材料應用之規範。Algin et al.(2008)研究針對棉花與石灰石工廠廢棄物共同製成磚材之可行性，結果顯示 30%棉花廢棄物添加於石灰石工廠廢棄物之燒結產物，其抗壓及抗折強度分別為 7MPa 及 2.19MPa，均可符合建築材料之應用規範。Abali et al. (2007)研究分別利用含磷石膏及硼濃縮廢棄物製成輕質磚，結果發現硼濃縮廢棄物之燒結產物，易發生碎裂現象，不易製成建築材料，然含磷石膏之燒結產物，則明顯產生輕質化作用，且可得到具有較佳特性之產品。Zou et al.(2008)研究利用淨水污泥與下水污泥共同燒製陶粒，結果顯示可獲得物理及化學特性皆符合標準之陶粒產品。Sutcu et al. (2009)研究廢紙排渣與黏土共同燒製輕質磚，結果發現增加廢紙排渣添加量，可降低產品熱傳導係數達 50%，可有效降低建

築物之能源需求。

有鑑於進一步開發污泥類廢棄資材製備多孔性輕質化材料之可行性，本研究利用淨水污泥與下水污泥兩種不同性質之污泥，藉由改變不同下水污泥之摻配比例及燒結溫度，探討輕質化材料之製備及其相關之材料特性。

二、實驗材料與方法

2.1 實驗材料

表 1 為本實驗所使用材料之基本性質分析結果，其中淨水污泥取自台中縣豐原給水廠經機械脫水後堆置於曬乾床之污泥餅，下水污泥則為台中市福田水資源污水廠經消化後之污泥。下水污泥及淨水污泥之含水率分別為 80.06% 及 43.61%，而灰分含量分析結果顯示，淨水污泥多為不易分解之無機成分，灰分含量達 53.34%，至於下水污泥則以有機成分為主，若以乾基下水污泥之可燃分含量，約為 57.51%。重金屬總量及 TCLP 分析結果如表 1 所示，淨水污泥及下水污泥之鋅總量濃度較高，分別約為 180.53 mg/kg 及 433.59 mg/kg，其次下水污泥中銅含量亦達 226.47 mg/kg。至於 TCLP 分析結果顯示，兩種污泥之重金屬溶出濃度均符合法規標準。

淨水污泥及下水污泥之化學組成分析結果顯示，淨水污泥主要係由 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 及 MgO 所組成，其中以 SiO_2 所佔比例最大，達 61.93%，其次為 Al_2O_3 (11.37%)，此係淨水程序所採用之鋁系混凝劑之故。而下水污泥之無機物化學組成主要包括 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 、 CaO 及 K_2O ，其中亦以 SiO_2 所佔比例最大，約佔 13.87%，至於 Al_2O_3 及 CaO 含量則分別為 5.34% 及 2.57%。根據文獻顯示，污泥中之化學組成 Al_2O_3 為高熔點且耐高溫之物質，可增加燒結試體之化學穩定性及熱穩定性，而 Fe_2O_3 、 MgO 及 CaO 則具有助熔劑作用，可降低燒結反應之溫度，並促使碳相分解，釋放出水及氣體，進而影響孔洞的形成和熱膨脹 (Zou et al., 2008)，至於以方解石形式存在之鈣化合物，則會因熱處理過程之 CO_2 產生，會形成孔洞結構，對於降低材料之熱傳導及輕質化有正面之助益 (Sutcu et al., 2009)。

表 1 污泥廢棄資材之基本性質分析結果

項目	淨水污泥	下水污泥
pH	6.61 ^{*1} ±0.18 ^{*2}	5.01±0.02
含水率(%)	43.61±0.31	80.06±0.34
灰分(%)	53.34±0.05	8.66±0.09
可燃分(%)	3.05 ^{*3}	11.28
<u>重金屬總量濃度(mg/Kg)</u>		
Ni	58.49±1.15	N.D.
Zn	180.53±3.31	433.59±2.49
Pb	68.97±6.98	73.97±3.72
Cd	8.88±1.50	8.64±0.79
Cu	38.07±1.22	226.47±80.70
Cr	63.50±1.80	96.80±5.20
<u>TCLP 濃度(mg/l)^{*4}</u>		
Ni	0.17±0.01	N.D.
Zn	0.72±0.16	3.96±0.10
Pb	0.23±0.08	0.32±0.05
Cd	0.10±0.01	0.09±0.02
Cu	N.D.	0.26±0.03
Cr	0.02±0.00	0.06±0.01
<u>化學組成(%)</u>		
SiO ₂	61.93 ^{*5}	13.87±4.53
Al ₂ O ₃	11.37	5.34±1.09
Fe ₂ O ₃	5.28	3.08±0.59
K ₂ O	3.67	1.44±0.28
MgO	1.19	0.63±0.12
Na ₂ O	0.62	0.29±0.05
CaO	0.49	2.57±0.48

*1.實驗數據為進行五重覆之平均結果

*2. S.D.為標準偏差 $\sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$ 、N.D.: 表示檢測值低於儀器偵測極限

*3.可燃份=100%-水分-灰份

*4.TCLP 規範限值 Zn : 25mg/l、Pb : 5mg/l、Cd : 1mg/l、Cu : 15mg/l、Cr : 5mg/l

2.2 實驗方法及分析項目

試驗首先將淨水污泥與下水污泥置於 105℃ 烘箱乾燥至恆重後備用，污泥經破碎後之粒徑分布如圖 1 及圖 2 所示，可發現淨水及下水污泥主要粒徑皆分布於 149-420μm 範圍內，分別佔 57.35%及 48.97%。後續為使燒結試體有較佳之結構特性，本研究均選擇粒徑為 149-420μm 之範圍作為試驗材料。燒結試體之生胚分別以 0%~70%之下水污泥與淨水污泥進行混合，並添入適當比例之試劑水，增加原料之黏滯性，以利試體成型。將實驗原料進行充分混合後，以改良抗壓強度機及模具加壓成型，壓力控制為 4,000 kg (160

kgf/cm²), 成型時間為 5 分鐘, 成型後生胚之長、寬約為 55 mm, 高度則約為 7-15mm。

將成型後的生胚放入高溫爐中進行燒結。以 5°C/min 升溫速率, 由室溫升至 100°C 停留 2 小時, 用以去除試體內之水份, 以減少在高溫下因水分急遽蒸發而造成燒結體內孔隙不均之現象, 而後以 10°C/min, 由 100°C 升溫至 600°C, 持溫兩小時, 主要目的為將原料中之少許有機物破壞分解, 最後再以 10°C/min 達到 1,050~1,100°C 等不同之燒結溫度進行燒結, 燒結時間為 3 小時。燒結程序完成後, 試體依自然降溫方式降溫至室溫, 約需 7 小時, 圖 3 為燒結試驗之溫度控制曲線。經燒結完成之產物, 分別進行燒失量、視密度、體積變化率、視孔隙率、吸水率等材料特性分析, 此外, 燒結試體並以 X-ray 繞射(XRD)及掃描式電子顯微鏡(SEM), 鑑定其物種及表面結構。

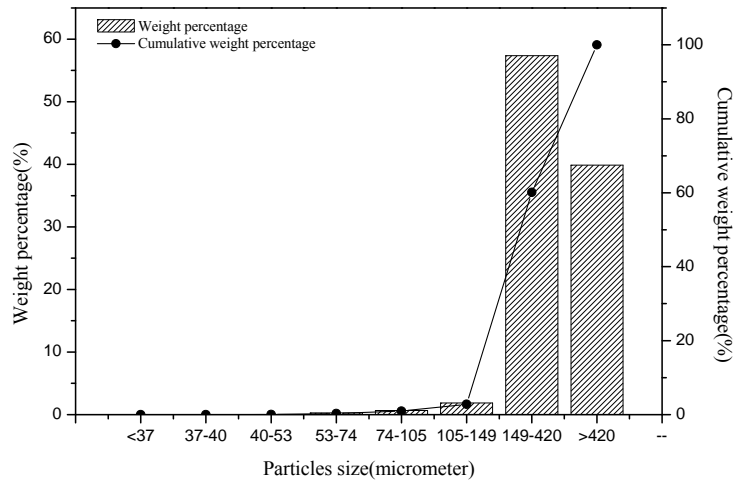


圖 1 淨水污泥粒徑分佈特性

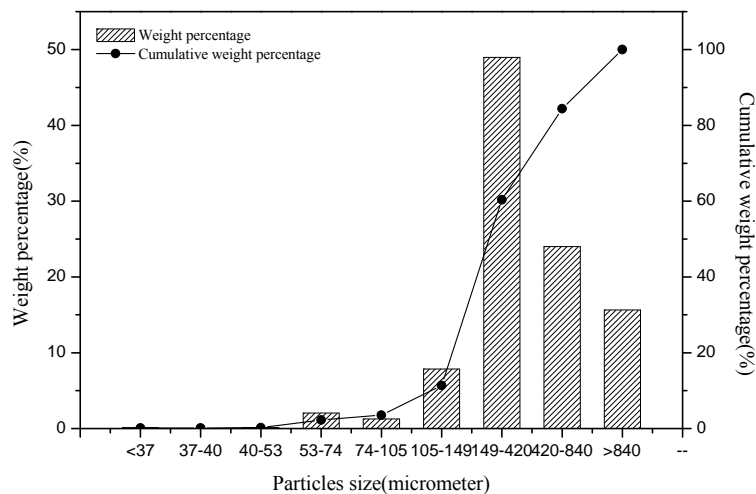


圖 2 下水污泥粒徑分佈特性

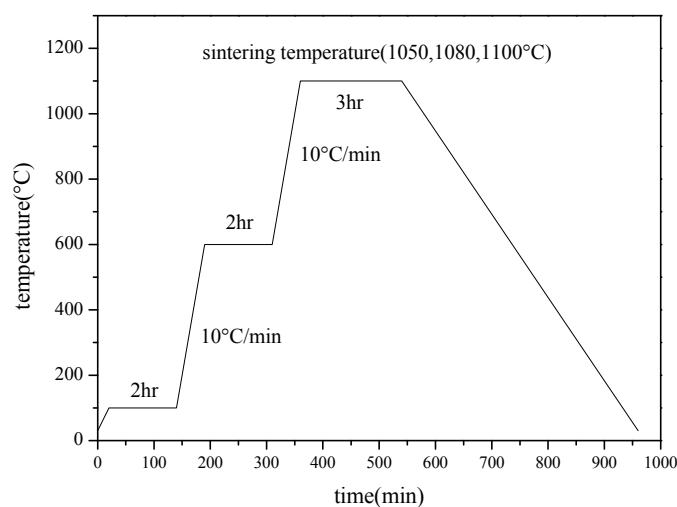


圖 3 燒結過程之升溫曲線

三、結果與討論

3.1 燒失量變化

燒失量係指試體燒結前後重量損失之變化，其變化主要受到燒結過程試體水分蒸發、有機物釋出或無機鹽類分解揮發等因素影響。一般而言，若是試體原料具有高含量的有機物及高溫易分解的無機鹽類，在燒結過程中，前述成分會分解，產生氣體逸散，導致氣孔增加，破壞或改變試體內部細微結構，進而對燒結試體之強度、密度及吸水率等性質產生影響。因此，燒失量試驗結果可作為燒結試體性質相關性之參考依據。

圖 4 為添加下水污泥燒結產物之燒失量變化，分析結果顯示燒結溫度對燒失量影響較小；而相同燒結溫度下，燒失量會隨著下水污泥添加比例增加而增加，以燒結溫度 1,100°C 試驗條件為例，隨著下水污泥添加比例由 0% 增加至 70%，燒失量會從 14.3% 增加至 33.72%，這是由於因燒結前原料摻配混合時，在試體中加入增加試體成型時之黏滯度之水分，故在燒結過程中水分蒸發成水蒸氣逸散，致使燒失量增加，並且由於下水污泥含有大量有機物質，其亦可增加燒結試體之燒失量。相較於文獻中輕質磚材之燒失量結果顯示，當燒結溫度為 1,000°C 及含磷石膏含量 20% 時，燒結產物之燒失量約為 12% (Abali et al., 2007)，且隨含磷石膏添加量增加而增加。根據本研究燒結溫度 1050°C 及 20% 下水污泥添加量之產物燒失量為 23.51%，可知下水污泥作為多孔性輕質材料之添加劑，應有未來發展之潛力。

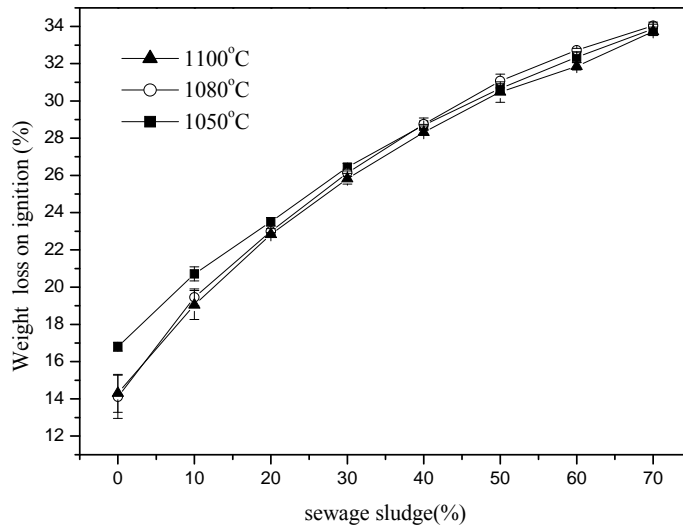


圖 4 輕質材料之燒失量變化

3.2 體積及線性變化率

當試體在進行高溫燒結時，高溫狀態會促使試體顆粒間發生黏結作用，致使試體內孔隙率減少，產生緻密化現象，緻密化現象將使得試體呈現收縮現象，進而造成試體體積及線性之變化。圖 5 為添加下水污泥之燒結產物體積及線性變化，結果顯示燒結樣品之體積及線性變化率，隨下水污泥添加量增加而略為增加，幅度分別約為 5% 及 2%。燒結溫度對燒結試體則有明顯之影響，隨著燒結溫度增加，於相同下水污泥摻配比例條件下，燒結產物之體積及線性變化率明顯有增加的趨勢，其中下水污泥添加比例 40%，其線性變化率由 1,050°C 之 9.32% 增加至 1,100°C 之 15.36%。

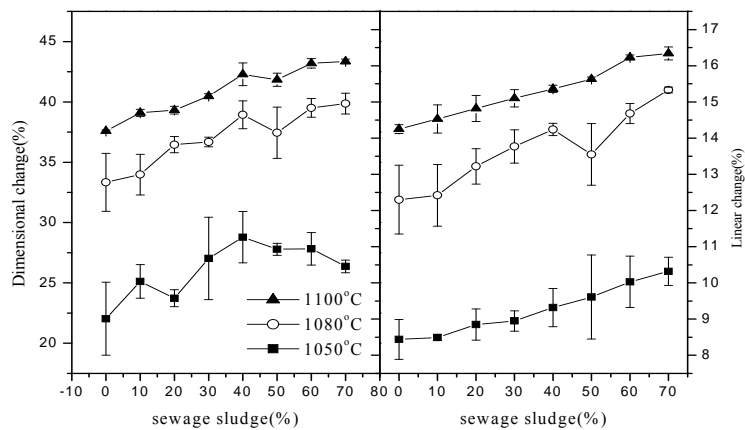


圖 5 輕質材料之體積及線性變化趨勢

3.3 體密度

體密度為探討燒結試體緻密化程度指標之一。一般而言，建築普通用磚之密度值介於 $1.8 \text{ g/cm}^3 \sim 2.0 \text{ g/cm}^3$ 。圖 6 為添加下水污泥之燒結產物體密度變化，結果顯示隨著下水污泥比例增加，體密度會隨之降低，當燒結溫度控制於 $1,100^\circ\text{C}$ ，隨著下水污泥比例由 0% 增加至 70%，體密度會由 2.40 g/cm^3 降低至 1.72 g/cm^3 ，此係下水污泥中有機物質及高溫易分解無機鹽類之去除，導致燒結產物之孔隙增加，進而造成燒結產物體密度，隨下水污泥比例增加而降低。此外，燒結產物體密度隨著燒結溫度增加而有增加之趨勢，以下水污泥添加比例 40% 為例，燒結溫度由 $1,050^\circ\text{C}$ 增加至 $1,100^\circ\text{C}$ ，燒結產物之體密度由 1.46 g/cm^3 增加至 1.88 g/cm^3 。一般而言，燒結溫度增加，將促使燒結試體之頸部成長作用較為完全，顆粒之間緊密結合，促使燒結試體之密度增加。綜合燒結試體試驗分析結果顯示，本試驗製成之輕質化材料，分別操作在燒結溫度 $1,050^\circ\text{C}$ 與添加下水污泥 10~70%、燒結溫度 $1,080^\circ\text{C}$ 與添加下水污泥 40~70%，以及燒結溫度 $1,100^\circ\text{C}$ 與添加下水污泥 60~70% 等試驗條件。

3.4 視孔隙率

孔隙率係指試體中孔洞之多寡，試體孔洞越多孔隙率越大，視孔隙即為開放性孔洞，為可容許水分或氣體通過之區域，若開孔多，將使得水分或氣體容易通過，試體結構會較為脆弱，然而，孔洞的形成可阻斷熱傳導，降低磚的熱傳導係數，可作為隔熱磚材，達到省能原之目標(Sutcu, 2009)。圖 7 為添加下水污泥之燒結產物視孔隙率變化，分析結果顯示視孔隙率隨著添加下水污泥比例增加而增加，以燒結溫度 $1,100^\circ\text{C}$ 實驗條件為例，當添加下水污泥比例為 0%，其視孔隙率為 2.72%，而增加下水污泥比例至 70% 時，視孔隙率則增加至 28.12%。而在不同燒結溫度下，視孔隙率隨著溫度增加而降低，當添加下水污泥配比為 40%，視孔隙率由 $1,050^\circ\text{C}$ 之 43.52% 降低至 $1,100^\circ\text{C}$ 之 19.59%。視孔隙率將直接影響試體密度，孔隙率越大則試體密度越小，根據圖 6 及圖 7 之比較結果顯示，燒結溫度 $1,100^\circ\text{C}$ 之燒結產物，添加下水污泥比例由 0% 增加至 70%，視孔隙率由 2.72% 增加至 28.12%，然而，燒結產物之體密度則由 2.40 g/cm^3 降低至 1.72 g/cm^3 。

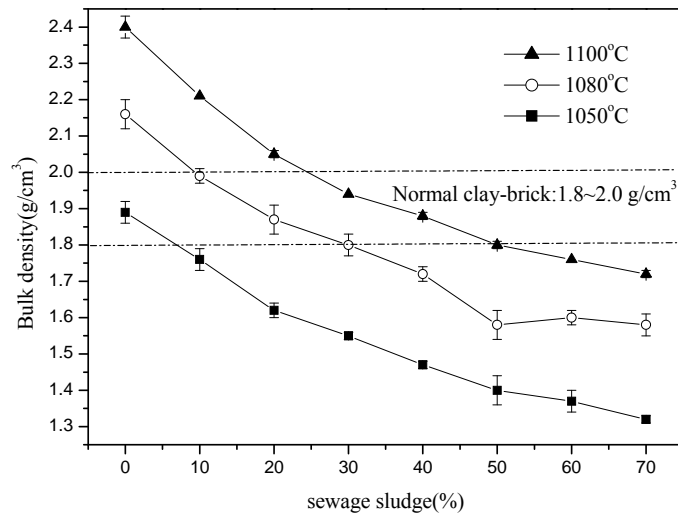


圖 6 輕質材料之體密度變化

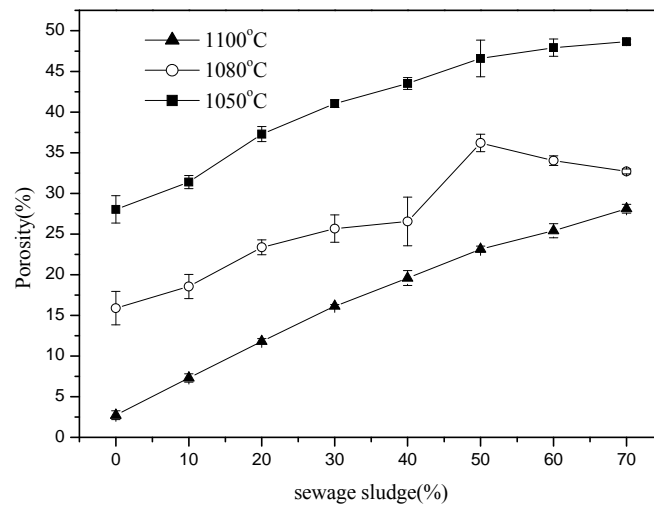


圖 7 輕質材料之孔隙率變化

3.5 吸水率

吸水率與燒結試體中之多孔結構有直接關係，若燒結試體中的孔隙率高，由於其可容許水分通過的空隙多，因此燒結產物之吸水率將隨之增加。圖 8 為添加下水污泥之燒結產物吸水率變化，結果顯示在相同燒結溫度條件下，吸水率將隨著下水污泥比例增加而增加，控制燒結溫度為 1,100°C，當添加下水污泥比例由 0%增加至 70%，燒結產物吸水率將由 1.13%增加至 16.31%。而吸水率亦受到燒結溫度影響，由圖 7 可知，燒結溫度越高吸水率則越低，當下水污泥比例維持於 40%，燒結溫度由 1,050°C 增加至

1,100°C，則吸水率將由 37%降低至 16.31%。

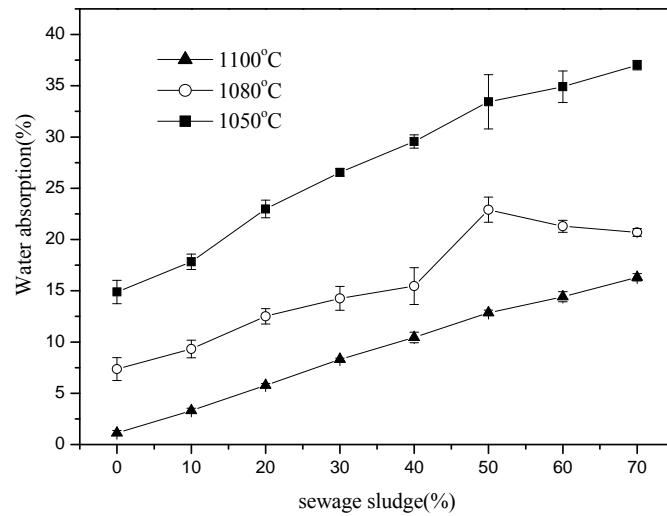


圖 8 輕質材料之吸水率變化

3.6 抗壓強度

圖 9 為添加下水污泥之燒結產物抗壓強度變化，結果顯示燒結試體的抗壓強度隨著下水污泥配比增加而降低，此係燒結試體之孔隙率隨下水污泥添加比例增加而增加，導致密度隨之降低，進而使得抗壓強度降低。其中以燒結溫度 1,100°C 之燒結產物而言，下水污泥添加比例由 0% 增加至 70%，燒結試體之抗壓強度變化由 1,849.33 kgf/cm² 降低至 314.75 kgf/cm²，仍可符合 CNS 建築用普通磚之抗壓強度規範 (150 kgf/cm²)。由圖 9 抗壓強度試驗結果可知，在燒結溫度 1,050°C 與下水污泥添加 0-20%、燒結溫度 1080°C 與下水污泥添加 0-60% 以及燒結溫度 1,100°C 與下水污泥添加 0-70% 等試驗條件下，燒製之輕質材料均可符合 CNS 建築用磚材之規範標準。此外，就輕質化材料之特性而言，燒結溫度 1,080°C 及下水污泥添加 40%~60% 之試驗條件下，其燒結產物之密度已低於 1.8 g/cm³，達到輕質化之效果，若將燒結溫度提高至 1,100°C 時，則下水污泥之添加量可增加至 60% 及 70%。

3.7 燒結產物物種鑑定分析結果

圖 10 及圖 11 分別為燒結溫度 1,050°C 及 1,100°C，添加不同比例下水污泥之 XRD 分析結果，其中未添加下水污泥之燒結產物 XRD 圖譜顯示，當燒結溫度增加，SiO₂ 主波峰的強度會隨之下降，這是由於試體中 SiO₂ 受到溫度作用，而逐漸轉化成非結晶態之玻璃相。而增加下水污泥添加量之燒結產物，可發現產物之 SiO₂ 的強度，亦隨下水污泥添加量增加而降低。此除因下水污泥含量增加，導致試體雜質增加之影響外，致使 SiO₂ 熔點降低，

並增加 SiO₂ 晶體轉為非結晶態玻璃相之數量，因而，使晶相波峰強度減弱。

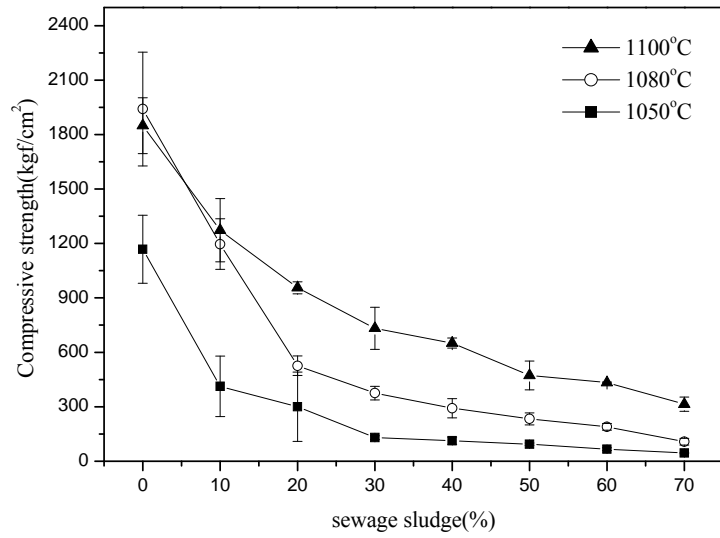


圖 9 輕質材料之抗壓強度變化

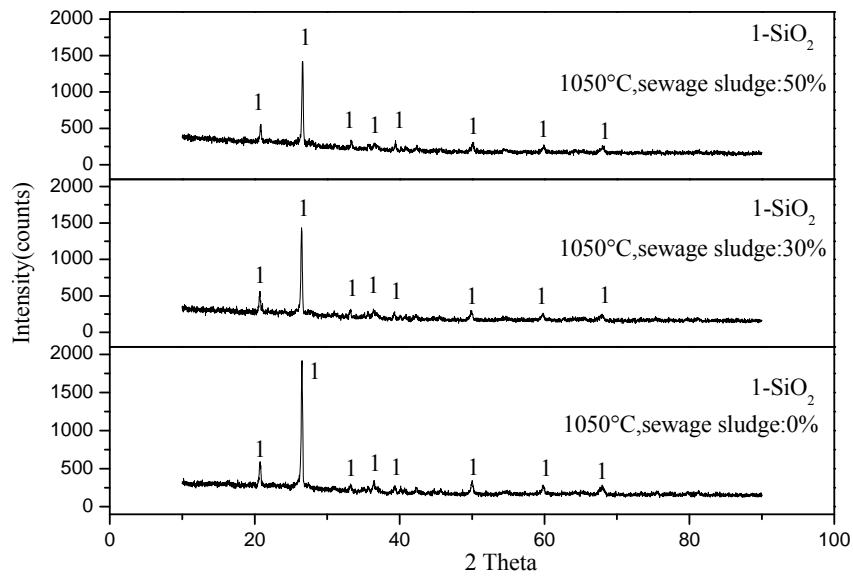


圖 10 1,050°C 燒結試體物種鑑定分析結果

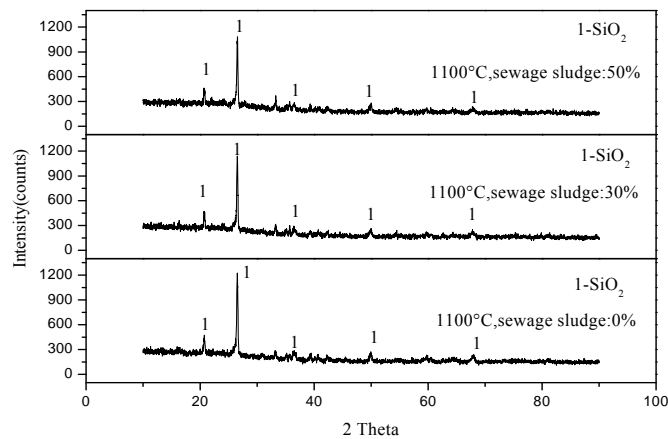


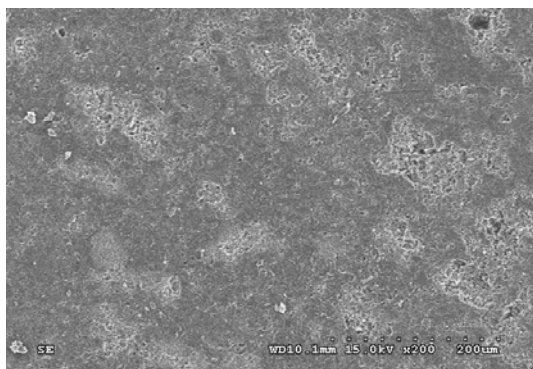
圖 11 1,100°C 燒結試體物種鑑定分析結果

3.8 燒結產物微結構分析

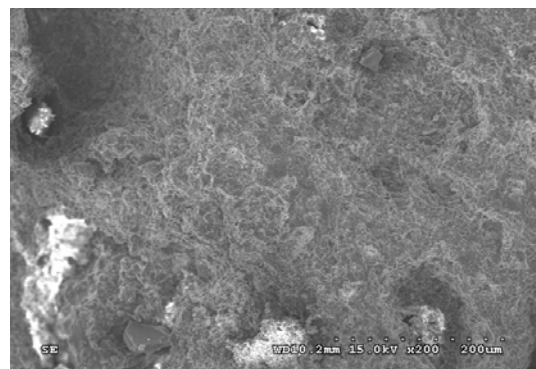
本研究利用掃描式電子顯微鏡(SEM)進一步觀察燒結產物之微細結構與孔洞分佈情形，圖 12(a)及(b)分別為燒結溫度 1,050°C，添加下水污泥 0%及 50%的燒結試體 200 倍 SEM 圖，結果顯示添加下水污泥 50%之燒結產物有較多之孔隙結構，此與先前孔隙度分析結果相符。圖 13(a)及(b)為添加下水污泥 50%及燒結溫度分別為 1,050°C 及 1,100°C 之燒結產物 SEM 分析，結果顯示燒結溫度 1,050°C 之試體內部呈現顆粒狀，試體內部未產生結構變化，而當燒結溫度增加至 1,100°C 時，則明顯看出試體內部已產生熔融現象，進而導致試體緻密化程度提高。

3.9 燒結產物之毒性特性溶出試驗結果

表 2 為添加不同下水污泥比例與淨水污泥共同燒製之輕質材料 TCLP 試驗分析結果，結果顯示本試驗利用兩種污泥類廢棄資材所製成之輕質材料，均符合法規管制標準，具有應用於環境之發展潛力。

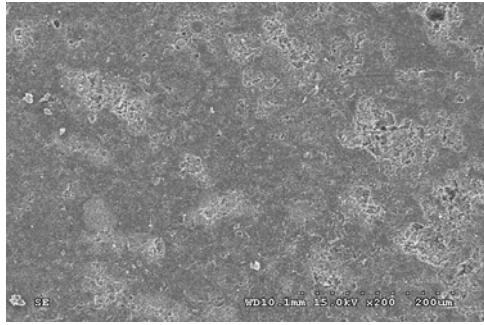


(a) 0% sewage sludge addition

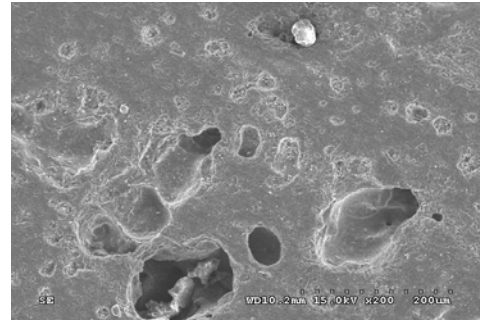


(b) 50% sewage sludge addition

圖 12 1050°C 燒結產物之表面結構分析



(a) 1050 °C



(b) 1100°C

圖 13 添加 50% 下水污泥試驗之燒結產物表面結構分析

表 2 輕質材料之 TCLP 溶出濃度分析結果

	Ni(mg/l)	Zn(mg/l)	Pb(mg/l)	Cd(mg/l)	Cu(mg/l)	Cr(mg/l)	
淨水污泥	0.17±0.01	0.72±0.16	0.23±0.08	0.10±0.01	N.D.	0.02±0.00	
下水污泥	N.D.	3.96±0.10	0.32±0.05	0.09±0.02	0.26±0.03	0.06±0.01	
1050°C	0	0.06±0.01	0.39±0.02	0.12±0.16	N.D.	0.52±0.02	0.01±0.00
	10	0.06±0.00	0.46±0.19	0.03±0.03	N.D.	0.46±0.07	0.02±0.02
	20	0.06±0.01	0.36±0.05	0.26±0.19	N.D.	0.54±0.06	0.01±0.00
	30	0.04±0.01	0.32±0.03	0.17±0.15	N.D.	0.48±0.07	0.01±0.00
	40	0.11±0.02	0.56±0.04	0.09±0.09	N.D.	0.47±0.05	0.02±0.02
	50	0.14±0.08	0.39±0.01	0.54±0.55	N.D.	0.46±0.19	0.01±0.00
	60	0.10±0.00	0.46±0.05	0.92±0.76	N.D.	0.43±0.03	0.01±0.00
	70	0.12±0.02	0.55±0.11	0.06±0.08	N.D.	0.40±0.04	0.01±0.00
1080°C	0	0.07±0.00	0.41±0.11	0.13±0.10	N.D.	0.44±0.18	0.01±0.00
	10	0.05±0.01	0.29±0.04	0.12±0.04	N.D.	0.37±0.05	0.01±0.00
	20	0.07±0.00	0.35±0.03	0.10±0.07	N.D.	0.39±0.06	0.01±0.00
	30	0.08±0.01	0.34±0.10	0.19±0.16	N.D.	0.48±0.10	0.01±0.00
	40	0.08±0.01	0.42±0.09	0.11±0.06	N.D.	0.48±0.10	0.03±0.03
	50	0.04±0.02	0.27±0.02	0.28±0.21	N.D.	0.42±0.07	0.01±0.00
	60	0.15±0.04	0.48±0.09	0.08±0.03	N.D.	0.62±0.10	0.01±0.01
	70	0.12±0.09	0.53±0.05	0.06±0.03	N.D.	0.55±0.09	0.01±0.00
1100°C	0	0.05±0.02	0.39±0.08	0.20±0.18	N.D.	0.32±0.04	0.02±0.00
	10	0.05±0.01	0.42±0.07	0.30±0.12	N.D.	0.34±0.05	0.01±0.00
	20	0.05±0.00	0.43±0.02	0.22±0.06	N.D.	0.40±0.02	0.01±0.00
	30	0.04±0.00	0.33±0.02	0.26±0.10	N.D.	0.44±0.04	0.01±0.00
	40	0.03±0.01	0.35±0.01	0.02±0.00	N.D.	0.39±0.09	0.01±0.00
	50	0.03±0.01	0.39±0.09	0.06±0.04	N.D.	0.42±0.04	0.01±0.01
	60	0.05±0.01	0.40±0.03	0.08±0.06	N.D.	0.40±0.02	0.01±0.00
	70	0.04±0.01	0.38±0.06	0.06±0.04	N.D.	0.43±0.06	0.01±0.00
法規 (NIEA R306.13C)	--	<25	<5	<1	<15	<5	

四、結 論

本研究利用兩種不同性質之污泥類廢棄資材，探討共同燒結製成輕質材料之材料特性及其可行性，初步獲致結論如後。

1. 輕質材料之收縮率受到燒結溫度影響，燒結溫度愈高則收縮率愈大，同時輕質材料之收縮率受到下水污泥添加量增加而增加。
2. 輕質材料之孔隙率隨著下水污泥比例增加而增加，當燒結溫度為 1,100°C 時，隨著下水污泥比例由 0% 增加至 70%，孔隙率會由 2.72% 增加至 28.12%，而燒結試體孔隙率將直接影響輕質材料之吸水率、密度及抗壓強度。其中輕質材料之孔隙率越大，其吸水率亦越大，然其產物之密度及抗壓強度將減小。
3. 根據輕質材料特性及其應用規範結果顯示，燒結溫度 1,080°C 及下水污泥添加 40%~60% 之試驗條件下，其燒結產物之密度已低於 1.8 g/cm³，達到輕質化之效果，若將燒結溫度提高至 1,100°C 時，則下水污泥之添加量可增加至 60% 及 70%。
4. 根據環境安全性試驗結果顯示，輕質材料之重金屬 TCLP 溶出濃度，皆遠低於法規管制標準。本研究成果不僅解決大量衍生之污泥類廢棄資材處理處置問題，同時有助於拓展多孔性輕質材料之資源化技術應用與發展。

五、參考文獻

1. Abali, Y., Yurdusev, M. A., Zeybek, M. S., Kumanlıoğlu, A. A., 2007. Using phosphogypsum and boron concentrator wastes in light brick production. *Construction and Building Materials*, 21, 52-56.
2. Algin, H. M., Turgut, P., 2008. Cotton and limestone powder wastes as brick material. *Construction and Building Materials*, 22, 1074-1080.
3. Cheeseman, C.R., Sollars, C.J., McEntee, S., 2003. Properties microstructure and leaching of sintered swage sludge ash. *Resources. Conservation and Recycling*, 40, 3-25.
4. Russ, W., Mörtel, H., Pittroff, R. M., 2005. Application of spent grains to increase porosity in bricks. *Construction and Building Materials*, 19, 117-126.
5. Sutcu, M., Akkurt, S., 2009. The use of recycled paper processing residues in making porous brick with reduced thermal conductivity, *Ceramics International*, 35, 2625-2631.

6. Toya, T., Nakamura, A., Kameshima, Y., Nakajima, Akira., Okada, K., 2007. Glass-ceramics prepared from sludge generated by a water purification plant. *Ceramics International*, 33, 573-577.
7. Veisheh, S., Yousefi, A. A., 2003. The use of polystyrene in lightweight brick production. *Iranian Polymer Journal*, 12, 323-329.
8. Wang, K.S., Chiou, I.J., Chen, C.H., Wang, D., 2005. Lightweight properties and pore structure of foamed material made from sewage sludge ash. *Construction and Building Materials*, 19, 627-633.
9. Xu, G. R., Zou, J.L., Li, G. B., 2008. Effect of sintering temperature on the characteristics of sludge ceramite. *Journal of Hazardous Materials*, 150, 394-400.
10. Zou, J. L., Xu, G. R., Li, G. B. 2009. Ceramsite obtained from water and wastewater sludge and its characteristics affected by Fe_2O_3 , CaO , and MgO . *Journal of Hazardous Materials*, 165, 995-1001.

利用廢織物生產生質酒精

郭家宏*、林伯儒**、李振綱***

摘 要

全世界所使用的棉纖維與再生纖維素纖維(如 Rayon 和 Lyocell)的年產量分別超過 26 和 3.1 百萬噸。這些纖維素纖維通常使用來製造棉織物。使用纖維素材質的衣服或棉織物最終將會被當成廢棄物而以掩埋或焚化處理掉，因此廢棉織物可以被考慮當成可再生的生質，經由微生物發酵來生產生質酒精。

大部分的廢棉織物通常會有染色或與合成纖維混紡，如果沒有經過前處理，修飾棉纖維表面的染料會抑制纖維素水解酶水解棉纖維。相同地，在混紡織物中的合成纖維亦會妨礙纖維素水解酶水解其中之棉纖維。纖維素溶解法前處理，可將染色或混紡織物中的纖維素纖維完全溶解出來，經再生後，被染料及合成纖維遮蔽之棉纖維會被暴露出來，且纖維素的結晶度亦會大幅降低，因此易被水解酶水解成可發酵的醣。

85%磷酸在 50°C 下即可將纖維素完全溶解，以此法前處理廢織物所得之再生纖維素沉澱物，可以直接進行同步醱素水解醱化及微生物發酵生產出酒精。在纖維素水解酶水解上，處理後較未處理的廢織物其還原醣的釋放速度高出兩倍以上，處理可加速廢織物的液化而有益於同步醱化發酵的進行，在 24 小時內完成發酵，酒精產量為 49.5 g/L，酒精的轉化率分別為 0.47 g 酒精/g 葡萄糖，為理論產率的 94%，相當於 1 噸的廢棉織物可產生約 413 Kg 或 516 公升的酒精。由廢織物水解所得到的有顏色的醱化產物並不會影響 *Zymomonas mobilis* 的生長與發酵酒精。

【關鍵字】廢織物、生質酒精、磷酸前處理、同步醱化發酵

*台灣科技大學化學工程系 博士後研究員

**財團法人紡織產業綜合研究所 研究員

***台灣科技大學化學工程系 教授

一、前言

全世界所使用的棉纖維與再生纖維素纖維(如 Rayon 和 Lyocell)的年產量分別超過 26 和 3.1 百萬噸(JCFA, 2008)。這些纖維通常使用來製棉織物，而棉織物最終將會被當成廢棄物，掩埋或焚化處理掉，這些廢棉織物因此可以被考慮當成可再生的生質經由發酵用來製造酒精。

近年來，以木質纖維素生產替代能源酒精已引起人們廣大的興趣，木質纖維素中之纖維素可經由酵素水解轉化成糖，再接著發酵成酒精，與澱粉類的生質相比較，纖維素的高結晶度，使得它很難被纖維素酶水解，導致一般纖維素的低水解速率及低還原糖轉化率等問題，因此在纖維素生產酒精的製程中，纖維素之酵素水解限制了酒精發酵生產速率。為了提高有效地酵素水解速率，通常需要將木質纖維素或纖維素前處理，以破壞纖維素的高結晶度，增加表面積讓纖維素酶吸附並進行水解反應。近年來非衍生(derivative)性的纖維素溶劑，如離子溶液(Dadi et al., 2006; Liu and Chen, 2006; Rayne and Mazza, 2007)、N-Methylmorpholine- N-oxide (NMMO)(Kuo and Lee, 2009a)、濃磷酸(Zhang et al., 2006; Zhang et al., 2007)和低溫 NaOH/Urea 溶液(Cai et al., 2004; Ruan et al., 2004)皆已被證實能有效地溶解纖維素，而經再生所得之纖維素或木質纖維素，其結晶度已大幅被破壞，比表面積亦會大幅增加，因此可提升纖維素酶水解纖維素的速率與產率。

大部分的廢棉織物其纖維已被染料染色或與合成纖維混紡後染色，如不經前處理而直接進行酵素水解，修飾在棉纖維表面上的染料會妨礙纖維素酶進行水解(Czilik et al., 2002)，同樣地，在混紡纖維中合成纖維的存在會減少棉纖維與纖維素水解酶的接觸(Vasconcelos and Cavaco-Paulo, 2006)，而降低纖維素水解的效果。大部分的傳統木質纖維素前處理法僅能減少纖維素的結晶度，及增加纖維素酶吸附的表面積(Mosier et al., 2005)，但不能移除鍵結有染料的表面纖維，而這些染色的表面卻遮蓋住了大部分可被酵素水解的棉纖維。溶解前處理法是將纖維素完全溶解後再生，因此可將被染料遮蔽及被合成纖維封鎖之棉纖維暴露出來，如此將有利於酵素之水解。85%磷酸已被證實可於 50°C 下快速地(1 小時)將脫脂棉溶解(Kuo and Lee, 2009b)，因此本研究將以濃磷酸來前處理廢織物，探討前處理對酵素水解糖化有色及混紡廢織物之影響。

在纖維素的同步糖化發酵上目前主要的問題在於水解的初速率不夠快，無法提高纖維素基質在發酵液中的含量，高含量的固態基質將造成攪拌上的困難，此外水解收率過低，將導致無法提供足夠的碳源供給微生物發酵。而磷酸前處理可使纖維素基質能快速水解糖化，能及時供給與微生物發

酵產生酒精，醱化程序所產生的產物對酵素水解活性的抑制，亦可由同步發酵所移除，因此可減少酵素的用量與提升醱化與酒精的產率，另外，由於醱化和發酵是在同一個反應槽中進行，具有操作簡單與降低生產成本的效益。本研究以兼氣葛蘭氏陰性菌 *Zymomonas mobilis* 做為同步發酵中使用的菌種，與酵母菌相比以 *Z. mobilis* 生產酒精的優點為其有高的醱攝取比速率、高酒精產率、低的生物量(biomass)產生、不需額外通氣可維持細胞活性等 (Panesar et al., 2006)。目前以磷酸前處理木質纖維素已成功的使用在同步醱化發酵中 (Li et al., 2009)，而廢棉織物經由酵素水解和 *Saccharomyces cerevisiae* 的發酵已證實可用來生產酒精 (Jeihanipour and Taherzadeh, 2009)，本研究使用 85% 磷酸對廢織物進行前處理，並研究有色與脫色的再生廢織物在增進酵素水解的效應，水解液並進行抑菌測試，最後以再生的廢織物當基質與 *Z. mobilis* 直接進行同步醱化發酵生產酒精。

二、研究方法與步驟

1. 材料與試藥

廢棉織物為 100% 棉線織物 (cotton linters; C)、和紅色 T 恤 (RWT) 與 40/60 polyester/cotton 混紡的襯衫 (T/C)。若脫色前處理廢織物，則是以 5 g/L 的 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 與 Na_2CO_3 於 100°C 下反應 1 小時進行脫色。正 (ortho-) 磷酸 85% 購自 Acros (NJ, USA)。Cellulase AP3 (8.5 FPU/g) 來自菌種 *Aspergillus niger* 則是購自 Amano Enzyme Inc. (Nagoya, Japan)，此酵素已被報導含有高量的 β -葡萄糖苷酶 (β -glucosidase) (Nieves et al., 1998)。菌種 *Zymomonas mobilis* ATCC 29191 購自 BCRC (HsinChu, Taiwan)。其他未特別註明的化學藥品均購自 Sigma (St. Louis, MO)。

2. 廢織物的前處理與再生

廢織物剪成約 (0.5×0.5 cm²) 的碎片，取 0.5g 的樣品加入 4 ml 85% 的磷酸溶液中，於 50°C、100 rpm 下攪拌 2 小時後，加入 20 ml 的去離子水使樣品中的纖維素沉澱出來，以 Beckman J2-21 離心機在 7000 rpm 離心 20 分鐘，收集濾液以便將磷酸回收。收集之固態沉降物再以 50 ml 的水於離心管中清洗、離心三次。最後用 3N NaOH 中和此懸浮液至 pH 5-6，再以濾紙過濾水洗收集析出的纖維素。所得的固體即為磷酸處理後之再生廢織物。

3. 酵素水解

0.5 g 處理過的廢織物，加入 25 ml 含 0.02% NaN_3 pH 5, 100 mM 的磷酸緩衝液。水解反應中所使用的 cellulase AP3 濃度為 10 FPU/g 廢織物。

水解反應在 50°C 磁石攪拌下進行並以 DNS 法分析水解期間所產生的還原糖量。

4. 水解液抑菌測試

取 3 ml 不含 NaN_3 之水解液，加入 yeast extract 調成含 5 g/L yeast extract 溶液後，於滅菌釜中滅菌。滅菌後接種 0.1 ml (0.56 g/L) 的 *Z. mobilis*，分別於不同得時間下取樣測還原糖濃度。以 30 g/L 的葡萄糖含 5 g/L 的 yeast extract 溶液當對照組。

5. 同步醱化發酵

再生廢織物的同步醱化發酵於 37°C 50 ml 小瓶中攪拌下進行。總體積為 20 ml 的溶液中包含發酵培養基、cellulase AP3(10 FPU/g 廢織物)、再生廢織物(50-100 g/L)與 *Z. mobilis* (1.5 g DCW/L)。發酵培養基的組成為 yeast extract(5 g/L), KH_2PO_4 (2 g/L), $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (1.5 g/L), $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (1 g/L)在 pH5.0, 0.1 M 磷酸緩衝液中，分別於不同時間下取樣，測酒精與葡萄糖濃度。

Cellulase AP3 粉末在使用前置於 UV 燈下照射 30 分鐘，部分批次發酵實驗未殺菌是指所有基質、養分、酵素僅在 UV 燈下照射 30 分鐘，以滅過菌的磷酸緩衝液將 *Z. mobilis* 懸浮，並以此溶液將基質、養分、酵素調整到所需的濃度。放大實驗時則以 1L 的發酵槽中進行，總體積為 300 ml 的溶液中包含發酵培養基、cellulase AP3(10 FPU/g 基質)、再生廢織物(75 g/L)與 *Z. mobilis* (1.5g DCW /L)。

6. 使用回收菌體

以步驟 5 方法於再生廢織物(75 g/L)濃度下發酵一天後，離心後將固形物接種到下一批。

7. 實驗流程圖

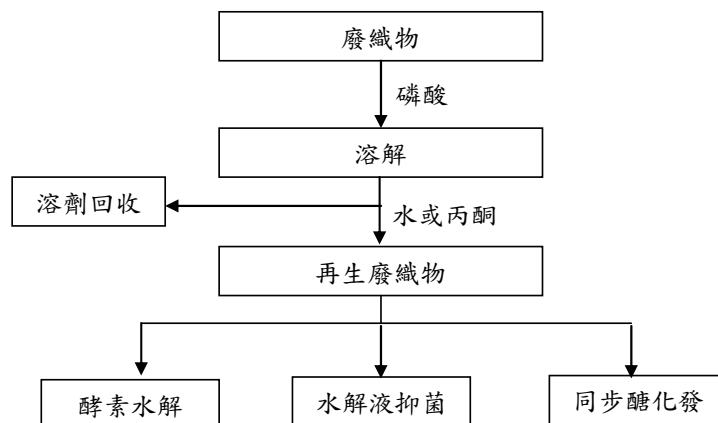


圖 1 實驗流程圖

三、結果與討論

1. 再生廢織物之酵素水解

以磷酸處理後的所得的再生廢織物，除了混紡布因為含有聚酯纖維而有固形物外，其餘樣品皆可完全溶解。再生廢織物在未乾燥的情形下直接進行酵素水解，如圖 2 所示，在水解 1 小時後，分別有 7.3、7.7、6.6、4.6 與 5.1 mg/ml 的還原糖由經過 85%磷酸前處理的再生棉線織物(C)、紅色 T 恤(RWT)、脫色紅色 T 恤(DRWT)、40/60 polyester/cotton 混紡的襯衫(T/C)與脫色的混紡的襯衫(DT/C)中釋放出來，相對的，未處理廢織物僅釋放出 2 到 2.5 mg/ml 的還原糖。換句話說，利用 85%磷酸前處理在水解的初速率上至少增加了 2 到 4 倍。水解 7 小時後水解曲線即接近水平，顯示大部分的再生廢織物在 7 小時內已被水解，水解 48 小時後，純棉材質的廢織物的還原糖產量可高達 17 mg/ml 以上，最終產率在 80-88%，混紡的襯衫的還原糖產量可高達 13 mg/ml 以上，最終產率高於 95%，由於混紡襯衫其纖維素含量為 60%，而水解所加入的酵素量是以樣品的總重來計算，因此有較高酵素/基質比，其實際的酵素/纖維素比值為 16.7 FPU/g cellulose，所以產率較高。然而，未處理廢織物的最終轉化率約只有 25 到 35%，結果顯示，在經由磷酸前處理後水解轉化率可增加 3 到 4 倍之多。廢織物處理前的脫色並未明顯的增加水解速率與產率，其水解曲線與未脫色的廢織物相近。葡萄糖同時也用 HPLC 測量，結果如圖 3 所示，HPLC 測量的結果略低於還原糖測量的值，這是由於水解液中含有少量的纖維寡糖所致，而以 HPLC 測量的葡萄糖計算最終轉化率再生的 C、RWT、DRWT、T/C 與 DT/C 分別為 80%、80%、83%、83%與 81%。

2. 抑菌測試

在進行同步醱化發酵研究前，先測試水解液中含有染料鍵結的還原糖是否會影響微生物生長。在 48 小時水解後，水解液加入 yeast extract 並接種 *Z. mobilis* 觀察還原糖消耗情形。結果如表 1 所示，最初的還原糖含量約 25-32 mg/ml(其中 11.7 mg/ml 還原糖來自 cellulase AP3 粉末)，還原糖持續消耗至 22 小時後即不再消耗，而其間水解液的還原糖消耗速率與葡萄糖對照組相較下並無太大差異。22 小時培養後，再生 C、RWT、DRWT、T/C 與 DT/C 的水解液中還原糖量分別剩下 3.1、3.7、3.3、2.4 和 2.5 mg/ml，經過 22 小時後還原糖即不再被消耗。結果顯示，*Z. mobilis* 可生長並可利用含有染料鍵結的還原糖，由於一般織物的染色率小於 2%，此濃度的染色還原糖釋放到溶液中，並不至於會抑制微生物的生長。以葡萄糖為對照組之實驗，在 22 小時後還原糖剩下 1.1 mg/ml，還原糖沒

被用完的原因可能是高溫滅菌時，葡萄糖與氨基酸所產生之梅納反應，導致有少量的糖沒被消耗完。相對於水解液中剩下的糖略高於對照組的 1.1 mg/ml，乃是由於水解液中含有少量的寡糖與被染料鍵結的葡萄糖無法被 *Z. mobilis* 所利用之故。

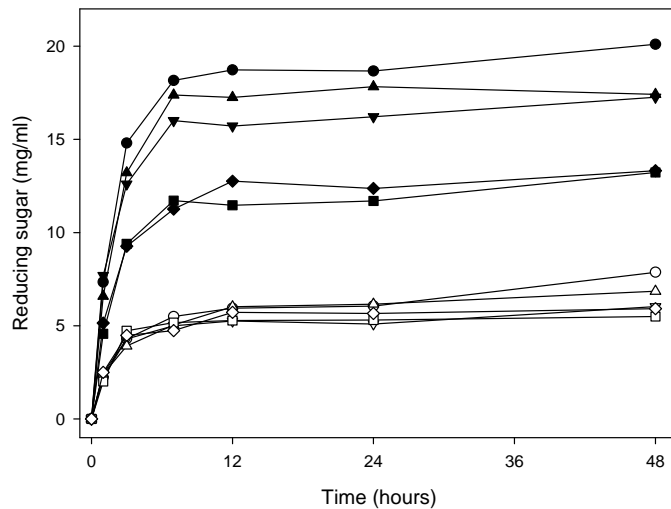


圖2 酵素水解未處理(空心)與再生廢織物(實心)所釋放出的還原糖。水解條件: 20 mg/ml 基質, Cellulase AP3 10 FPU/g 基質於 50 °C。C(●)棉線織物、RWT(▼)紅色T恤、DRWT(▲)脫色紅色T恤、T/C(■)40/60 polyester/cotton混紡的襯衫與DT/C(◆)脫色的混紡的襯衫。

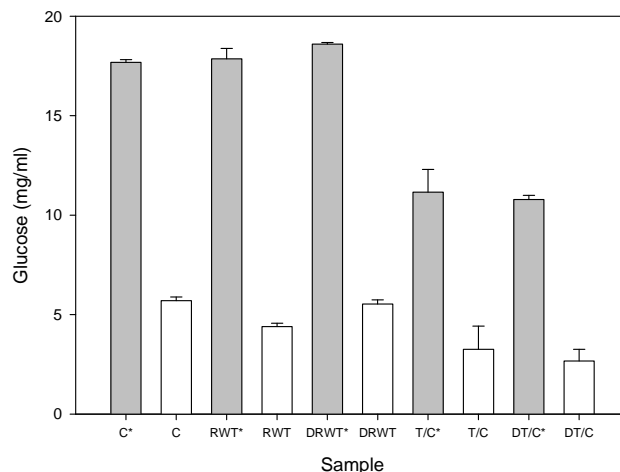


圖3 HPLC定量水解48小時後未處理(空心)與再生廢織物(實心)水解液中的葡萄糖含量。棉線織物(C)、紅色T恤(RWT)、脫色紅色T恤(DRWT)、40/60 polyester/cotton混紡的襯衫(T/C)與脫色的混紡的襯衫(DT/C)。

* 表示樣品經過磷酸前處理。

表 1 再生廢織物酵素水解後其中還原糖被 *Z. mobilis* 消耗情形

Sample	Incubation Time (hours)				
	0 h	4 h	8 h	22 h	32 h
Glucose	30.5	28.4	15.4	1.1	1.0
C	32.6	30.1	17.1	3.1	3.2
RWT	29.7	25.9	19.9	3.7	3.3
DRWT	29.9	28.7	17.3	3.3	3.3
T/C	25.7	23.4	10.8	2.4	2.4
DT/C	25.8	23.6	9.9	2.5	2.4

棉線織物(C)、紅色 T 恤(RWT)、脫色紅色 T 恤(DRWT)、40/60 polyester/cotton 混紡的襯衫(T/C)與脫色的混紡的襯衫(DT/C)。

3. 同步醱化發酵

以 85%磷酸前處理的再生廢織物為基質加入纖維素酶與 *Z. mobilis* 進行同步醱化發酵。使用 50 g/L 的廢織物於同步醱化發酵中生產酒精，結果如圖 4 所示，反應最初時的 29 g/L 的還原糖來自 cellulase AP3 因為其粉末含有約 50%的葡萄糖，在最初 6 小時，最初與所放出的葡萄糖皆被 *Z. mobilis* 同步轉化成酒精，在 12 小時後，酒精與葡萄糖沒有明顯的增加，經過 48 小時的同步醱化發酵，對於再生的 C、RWT、DRWT 酒精產量分別為 29.2、30.9 和 28.4 g/L，殘留在溶液中的葡萄糖分別為 0.4、1.5 和 1.7 g/L。此結果顯示，85%前處理後的染色廢織物可有效地被水解發酵，而廢織物脫色對於提升酒精的產量效果並不明顯。以再生廢織物 50 g/L、醱化轉化率約 80%、最初由 cellulase AP3 帶來的葡萄糖量(29 g/L)與發酵剩餘的葡萄糖濃度來計算，對於再生 C、RWT、DRWT 的酒精的轉化率分別為 0.4、0.42、0.43 g 酒精/g 葡萄糖，分別為理論產率的 80%、84%與 86%。

在混紡廢織物之同步醱化發酵生產酒精，其結果如圖 5 所示，在最初 6 小時，最初與所放出的葡萄糖皆被 *Z. mobilis* 同步轉化成酒精，在 12 小時後，酒精與葡萄糖沒有明顯的增加，經過 48 小時的同步醱化發酵，再生的 T/C 與 DT/C 酒精產量分別為 23.3 和 25.4 g/L，其酒精的轉化率分別為 0.43 和 0.45 g 酒精/g 葡萄糖，分別為理論產率的 86%和 90%。此結果顯示，磷酸前處理後能有效的分離聚酯纖維和纖維素，而可於同步醱化發酵中產生酒精，但由於 T/C 混紡廢織物含有 40%的聚酯纖維，這些聚酯纖維並不會在 85%磷酸前處理或後續的同步醱化發酵中被消化，因此當同步醱化發酵的基質濃度高於 50 g/L 時，由於聚酯纖維含量會太高，導致攪拌困難，以致 T/C 廢織物無法在高於 50 g/L 的基質濃度下進行同步醱化發

醇操作。

因此 75 g/L 以上的基質濃度之同步醱化發酵只以棉質廢織物來進行，為了進一步達到較佳的酒精產量與避免高濃度的碳源與氮源發生梅納反應，培養基並未經過滅菌釜滅菌，75 g/L 基質同步醱化發酵結果如圖 6 所示，發酵可在 12 小時內完成，在 12 小時後，酒精與葡萄糖沒有明顯的增加，經過 48 小時的同步醱化發酵，再生的 C、RWT、DRWT 酒精產量分別為 49.2、49.5 和 47.3 g/L，殘留在溶液中的葡萄糖分別為 2.2、4.1 和 3 g/L，酒精的轉化率分別為 0.45、0.47、0.44 g 酒精/g 葡萄糖，分別為理論產率的 90%、94%與 88%。此顯示同步醱化發酵可成功地在未經高溫滅菌的情況下實行，但基質和培養基須經過 UV 照射滅菌。如此不但能避免高溫滅菌時產生的梅納反應，而提升酒精產率，更能解決大規模生產時所產生的滅菌方面的問題。

為了進一步提升酒精產量，以 100 g/L 的基質濃度進行同步醱化發酵，結果如圖 7 所示，發酵可在 6 小時內完成，在 6 小時後，酒精沒有明顯的增加，但葡萄糖卻持續的累積，經過 48 小時的同步醱化發酵，再生的 C、RWT、DRWT 酒精產量分別為 44.2、43.6 和 47.8 g/L，殘留在溶液中的葡萄糖分別為 25、35 和 28 g/L，酒精的轉化率分別為 0.36、0.39、0.40 g 酒精/g 葡萄糖，由於 *Z. mobilis* 的最大的酒精產量約為 54g/L (Bandaru et al., 2006; Cazetta et al., 2007; Davis et al., 2006)，當到達此微生物最大酒精產量時，酒精會對於同步醱化發酵中的微生物產生抑制 (Li et al., 2009)，以理論產率 0.5 來計算，*Z. mobilis* 最大的醱消耗量為 108 g/L，結果顯示提供過量的醱並無法改變其最大的酒精產量，反而造成抑制現象導致酒精的轉化率降低。由 *Z. mobilis* 最大的酒精產量約為 54 g/L 推算，提供約 110 g/L 的碳源可得到較佳的同步醱化發酵結果。因此考慮 75 g/L 的基質濃度產生的葡萄糖加上 cellulase AP3 所含的葡萄糖約共 110 g/L，此條件即為以 *Z. mobilis* 進行同步醱化發酵的最佳條件。

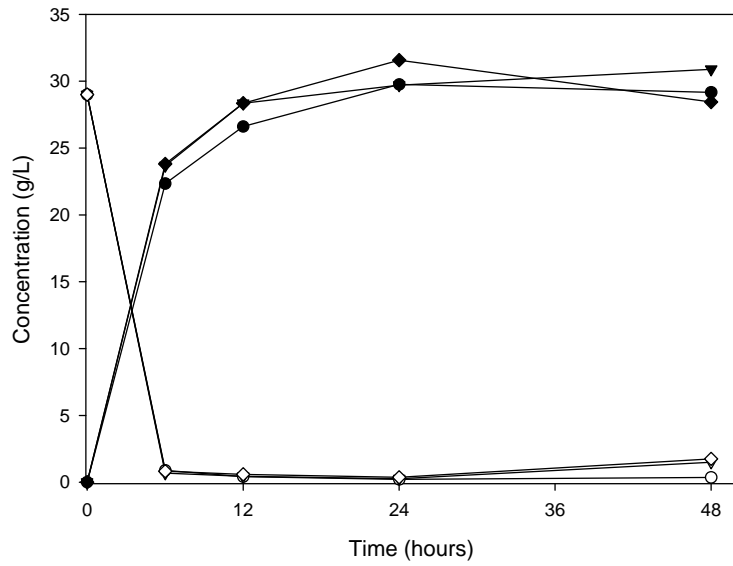


圖 4 50 g/L 濃度的再生廢織物經由同步醱化發酵生產酒精。棉線織物(●)、紅色 T 恤(▼)、脫色紅色 T 恤(◆)；空心為葡萄糖濃度；實心為酒精濃度。

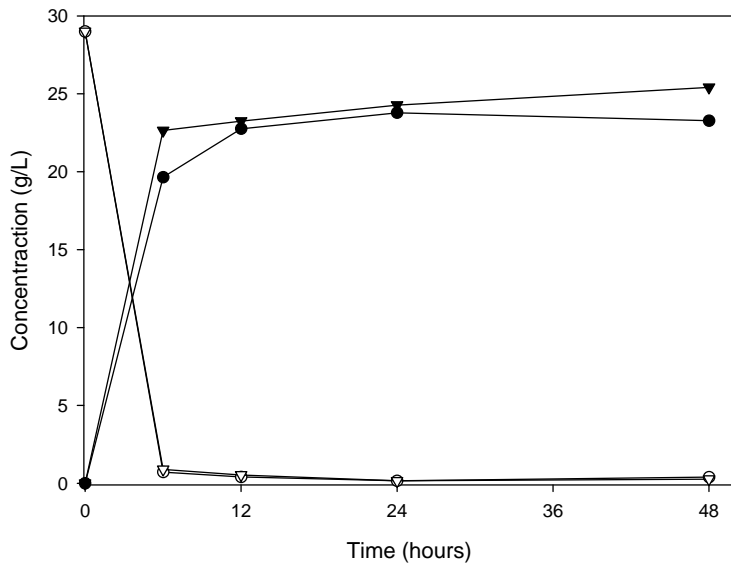


圖 5 50 g/L 濃度的再生廢織物經由同步醱化發酵生產酒精。40/60 polyester/cotton 混紡的襯衫(●)與脫色的混紡的襯衫(▼)。空心為葡萄糖濃度；實心為酒精濃度。

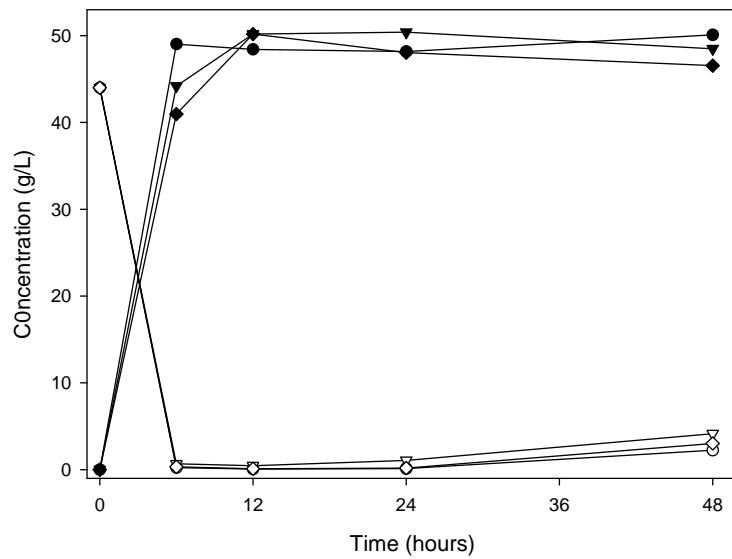


圖6 75 g/L濃度的再生廢織物(未經由滅菌釜滅菌)經由同步醱化發酵生產酒精。棉線織物(●)、紅色T恤(▼)、脫色紅色T恤(◆)；空心為葡萄糖濃度；實心為酒精濃度。

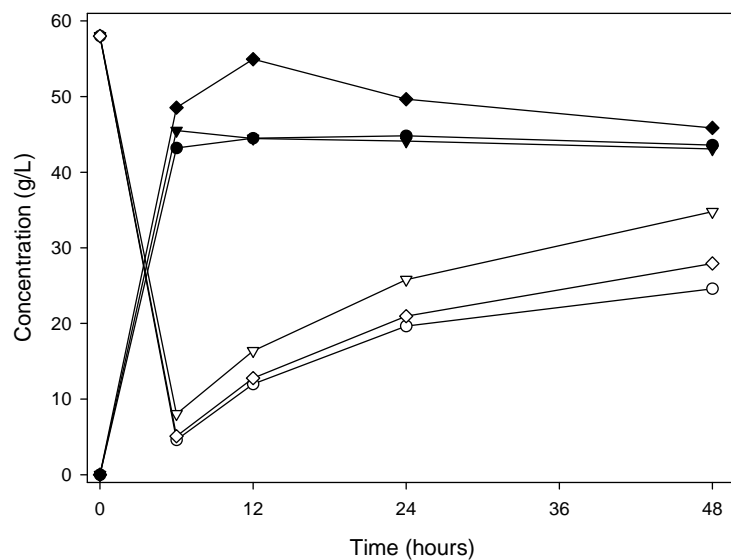


圖7 100 g/L濃度的再生廢織物經由同步醱化發酵生產酒精。棉線織物(●)、紅色T恤(▼)、脫色紅色T恤(◆)；空心為葡萄糖濃度；實心為酒精濃度。

4. *Z. mobilis* 的回收再利用

同步醱化發酵其中一個缺點為菌體無法回收再利用(Olofsson et al., 2008)，因此本研究嘗試回收 *Z. mobilis* 並接種於下一批次的同步醱化發酵。結果如圖 8 所示，75 g/L 的再生 RWT 於未滅菌的情況下進行同步醱化發酵，24 小時後產生 48.8 g/L 的酒精，發酵液經過離心後，將固形物以磷酸緩衝液清洗兩次後接種到第二批次，第二批次的葡萄糖釋放速度與酒精的產生速率較第一批次為慢，主要是因為第一批次所殘留下的固形物導致開始的攪拌比較困難所致，結果顯示，第二批次再經過 72 小時的同步醱化發酵，可產成 42 g/L 的酒精，而殘留的葡萄糖量為 0.35 g/L。此結果亦證實 *Z. mobilis* 可存活在染色廢織物的水解液中。

5. 批量放大實驗

使用 75 g/L 的再生 C 和 RWT 的基質於 1L 的發酵槽進行 300 ml 的放大批量實驗，同步醱化發酵的在六小時的發酵後酒精濃度快速的增加到 38 g/L，整個發酵可在 24 小時內完成，由再生的 C 和 RWT 酒精產量分別達到 45.5、48.8 g/L，酒精的轉化率分別為 0.45、0.47 g 酒精/g 葡萄糖，分別為理論產率的 90%和 94%。結果顯示，高濃度與產率的酒精可由 85%磷酸前處理的再生廢織物經由同步醱化發酵於 24 小時內可得到。

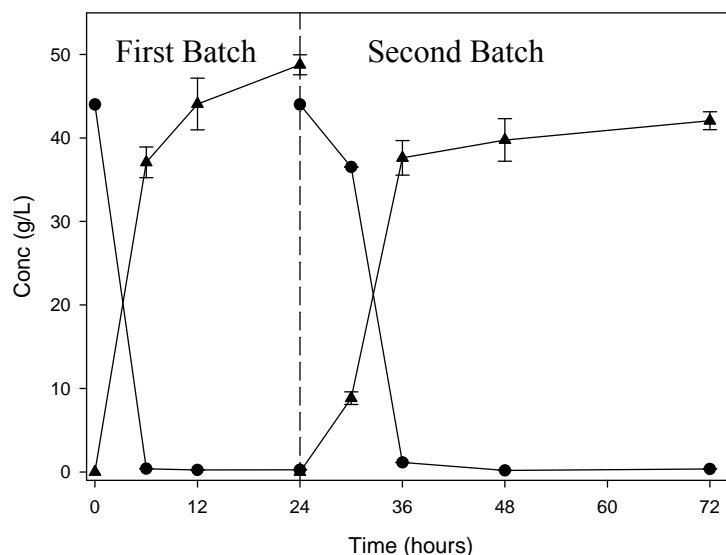


圖 8 回收使用 *Z. mobilis* 於 75 g/L 的再生紅色 T 恤中進行同步醱化發酵。(●) 和 (▲) 分別為葡萄糖與酒精濃度。

四、結 論

本文研究顯示 85%磷酸溶解再生的廢織物可用於同步醱化發酵生產酒精，處理後的廢織物以 cellulase AP3 酵素水解，其葡萄糖轉化率可達 80% 以上，以酵素濃度 10FPU/g 基質之比例添加，水解可在 24 小時內完成，有色廢織物並不會影響水解，水解時由有色的廢織物中所釋放出來的染色還原醣，並不會抑制 *Z. mobilis* 的活性與代謝葡萄糖的能力。T/C 混紡織物由於 PET 部分不溶解於磷酸中，在同步發酵時亦不分解，所以 T/C 基質濃度高於 50 g/L 的同步發酵，不溶解的 PET 會影響反應器之攪拌的情形。以 75 g/L 的廢棉織物在未滅菌下進行同步發酵，可得到較低的葡萄糖殘留與較高的酒精產量與轉化率。另外，同步醱化發酵可在未經過高溫滅菌下進行(僅以 UV 滅菌)，不僅可得較高的酒精發酵濃度，亦可節省操作成本。而經過同步醱化發酵後溶液中的 *Z. mobilis* 證實可回收並用於下一批次的同步醱化發酵中。

五、參考文獻

1. Bandar, V.V.R., Somalanka, S.R., Mendu, D.R., Madicherla, N.R., Chityala, A., 2006. Optimization of fermentation conditions for the production of ethanol from sago starch by co-immobilized amyloglucosidase and cells of *Zymomonas mobilis* using response surface methodology. *Enzyme and Microbial Technology*, 38, 209-214.
2. Cai, J., Zhang, L., Zhou, J., Li, H., Chen, H., Jin, H., 2004. Novel fibers prepared from cellulose in NaOH/urea aqueous solution. *Macromolecular Rapid Communications*, 25, 1558-1562.
3. Cazetta, M.L., Celligoi, M.A.P.C., Buzato, J.B., Scarmino, I.S., 2007. Fermentation of molasses by *Zymomonas mobilis*: Effects of temperature and sugar concentration on ethanol production. *Bioresource Technology*, 98, 2824-2828.
4. Dadi, A.P., Varanasi, S., Schall, C.A., 2006. Enhancement of cellulose saccharification kinetics using an ionic liquid pretreatment step. *Biotechnology and Bioengineering*, 95, 904-910.
5. Davis, L., Rogers, P., Pearce, J., Peiris, P., 2006. Evaluation of *Zymomonas*-based ethanol production from a hydrolysed waste starch stream. *Biomass and Bioenergy*, 30, 809-814.

6. JCFA (Japanese Chemical Fibre Association), (2008). Worldwide Chemical Fiber Production in 2007. http://www.jcfa.gr.jp/english/what_data/worldwide-production2007.pdf.
7. Jeihanipour, A., Taherzadeh, M.J., 2009. Ethanol production from cotton-based waste textiles. *Bioresource Technology*, 100, 1007-1010.
8. Kuo, C.H., Lee, C.K., 2009a. Enhanced enzymatic hydrolysis of sugarcane bagasse by N-methylmorpholine-N-oxide pretreatment. *Bioresource Technology*, 100, 866-871.
9. Kuo, C.H., Lee, C.K., 2009b. Enhancement of enzymatic saccharification of cellulose by cellulose dissolution pretreatments. *Carbohydrate Polymers*, 77, 41-46.
10. Li, H., Kim, N.J., Jiang, M., Kang, J.W., Chang, H.N., 2009. Simultaneous saccharification and fermentation of lignocellulosic residues pretreated with phosphoric acid-acetone for bioethanol production. *Bioresource Technology*, 100, 3245-3251.
11. Liu, L., Chen, H., 2006. Enzymatic hydrolysis of cellulose materials treated with ionic liquid [BMIM]Cl. *Chinese Science Bulletin*, 51, 2432-2436.
12. Nieves, R.A., Ehrman, C.I., Adney, W.S., Elander, R.T., Himmel, M.E., 1998. Survey and analysis of commercial cellulase preparations suitable for biomass conversion to ethanol. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 14, 301-304.
13. Olofsson, K., Bertilsson, M., Lidén, G., 2008. A short review on SSF - An interesting process option for ethanol production from lignocellulosic feedstocks. *Biotechnology for Biofuels*, 1.
14. Panesar, P.S., Marwaha, S.S., Kennedy, J.F., 2006. *Zymomonas mobilis*: An alternative ethanol producer. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 81, 623-635.
15. Rayne, S., Mazza, G., 2007. Rapid Dissolution of Lignocellulosic Plant Materials in an Ionic Liquid. Available from Nature Precedings <<http://hdl.handle.net/10101/npre.2007.637.1>>.
16. Ruan, D., Zhang, L., Zhou, J., Jin, H., Chen, H., 2004. Structure and properties of novel fibers spun from cellulose in NaOH/thiourea aqueous solution. *Macromolecular Bioscience*, 4, 1105-1112.
17. Zhang, Y.H.P., Cui, J., Lynd, L.R., Kuang, L.R., 2006. A transition from

- cellulose swelling to cellulose dissolution by o-phosphoric acid: Evidence from enzymatic hydrolysis and supramolecular structure. *Biomacromolecules*, 7, 644-648.
18. Zhang, Y.H.P., Ding, S.Y., Mielenz, J.R., Cui, J.B., Elander, R.T., Laser, M., Himmel, M.E., McMillan, J.R., Lynd, L.R., 2007. Fractionating recalcitrant lignocellulose at modest reaction conditions. *Biotechnology and Bioengineering*, 97, 214-223.
19. Zilly, M., Langmann, P., Lenker, U., Satzinger, V., Schirmer, D., Klinker, H., 2003. Highly sensitive gas chromatographic determination of ethanol in human urine samples. *Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*, 798, 179-186.

非氰化黃金剝離劑之研究—以 IT 產業廢 BGA 板為例

余炳盛*、連崇孝**、協昌之***、詹士儀****、張鎮宇**

摘 要

近年來，無論是民生資訊產品的汰舊換新，或是高科技產業的製程，均產生大量的電子廢料，其中廢棄的 BGA 板因含高量黃金，成為重要的貴金屬來源。BGA 板的黃金回收通常採用劇毒的氰化物為主要處理藥劑，若操作不慎，不僅對操作人員健康生命造成威脅，對環境也容易造成危害。本文以 5 種毒性較低之非氰化物試劑—硫脲、硫氰酸銨、硫代硫酸銨、硫代硫酸鈉及氯液/次氯酸等，進行 BGA 板之黃金剝離可行性評估。結果顯示硫脲具有最佳之剝離效率，對於金、鎳、銅之溶解速率分別為 0.41、0.36、0.86 mg cm⁻² min⁻¹，對於金之溶出速率甚至較氰化物(0.26 mg cm⁻² min⁻¹)為佳。對 BGA 板樣品之處理，硫脲溶液可於僅 9 分鐘內將黃金溶出 95.87%，相較於氰化物需 15 分鐘之處理時間，明顯地縮短許多，且不希望溶出之鎳及銅分別僅有 7.77%與 0.97%之溶出。硫脲溶液反應速度快，金屬選擇性佳，並於實際之樣品操作表現優良，適合用於剝離廢 BGA 板上的黃金，故極具取代劇毒氰化物，成為較清潔生產的黃金剝離試劑之潛力。

【關鍵字】 硫脲、黃金回收、廢棄物處理、BGA 板

*國立台北科技大學資源工程研究所 副教授

**國立台北科技大學資源工程研究所 研究生

***弘馳股份有限公司 技術副總經理

****弘馳股份有限公司 環保高級專員

一、前言

台灣環保署自民國 86 年 7 月將廢電腦公告為應回收廢棄物，而電子用品之需求逐日上升，無論是民生資訊產品的汰舊換新，或是高科技產業的製程，均產生大量的電子廢料(Lee et al. 2000)；隨著破碎、電選等前處理技術提昇(Veit et al. 2006)，貴金屬及鐵、銅、鋁及塑膠等有價材質亦能妥善回收利用(Lee et al. 2004)，其中黃金之回收，通常需以黃金剝離劑進行黃金的剝離，而目前幾乎各類處理廠如金礦、貴金屬回收廠，所使用的黃金剝離劑均為高濃度的氰化物溶液(Halson et al. 2006)。

氰化物常用於電鍍、金屬清理、回收業、染料及製藥工業。貴金屬回收業亦大量使用氰化物，操作過程中的浸泡、攪拌，以及電子廢料移動過程，都可能揚起許多氰化物懸浮微粒，加以廠區常靜置許多高濃度氰化物溶液，無形中均增加氰化物逸散之機會，相對也容易發生工安意外。

近年由於氰化法之便利，使氰化法提金一直為全世界之大宗，但隨濕式冶金之進步及環保意識抬頭，而漸有人重提非氰化提金法(Michaelis. 2006; Swaminathan et al. 1993)，以符合低毒性、低污染及安全性等要求，故本文尋求其它具較低毒性、高金屬選擇性、高效率及低成本之黃金剝離劑，替代傳統之氰化物黃金剝離劑，期能成為較清潔之生產方法。

二、實驗方法

本文之研究流程如圖 1 所示，詳細步驟分述於後。

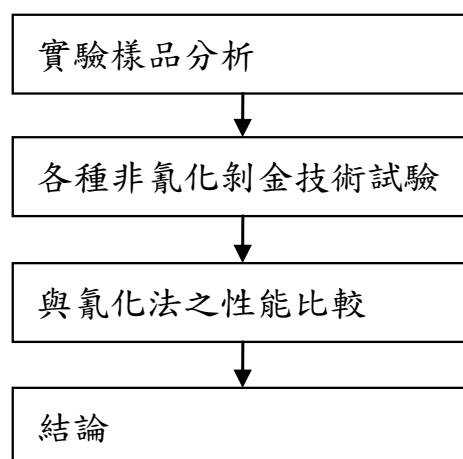


圖 1 本文之研究流程

1. 實驗樣品

本文之樣品為廢 BGA 基板(如圖 2 所示)，可分為表層的金、第二層為鎳、底層為銅，其次為包裹之樹脂，金屬含量為金 7.56g/kg、鎳 29.03g/kg 與銅 393g/kg，其餘為樹脂。

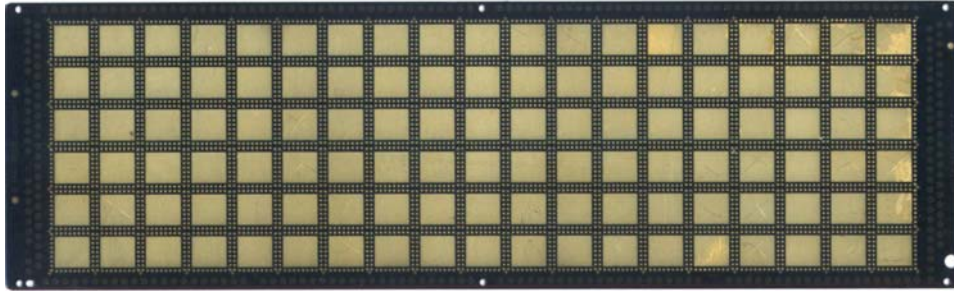


圖 2 本文使用之 BGA 基板(210mm×63mm)

2. 各種非氰化剝金技術試驗

本文首先由文獻資料評估選出五種具有潛能的方法，並設定實驗參數範圍，實驗後再計算其溶出率並加以評估，五種方法分別為硫脲法、硫氰酸銨法、硫代硫酸銨法、硫代硫酸鈉法、氯液法。在實驗過程中亦加入其他輔助條件，如超音波震盪、通入氣泡以加速反應。

3. 與氰化法之性能比較

由於本文處理之印刷電路板，除了聚合物纖維外，主要成份為金、鎳與銅三種金屬，並且以元素態存在，而當以剝離劑對電路板作溶出時，有可能同時溶出三種金屬，導致剝離液中之成份複雜，增加回收時之困難度，因此另以純金、純鎳與純銅三種金屬作為反應樣品，並以前述所得最佳參數進行實驗，以瞭解非氰化金剝離劑以及氰化法對於此三種元素之選擇性。

(1) 剝離元素選擇性比較

將金作為目標溶出物，其餘金屬視為雜質，並以雜質溶出量作為評估指標。本文中以模擬 BGA 基板之元素訂定雜質溶出量。

$$\text{雜質溶出量} : I = \frac{\text{鎳溶出量} + \text{銅溶出量}}{\text{金溶出量} + \text{鎳溶出量} + \text{銅溶出量}}$$

(2) 溶解能力比較

溶解能力分別以反應速率(溶解量／單位面積)與實際溶金量(處理量／剝離劑用量)等指數進行比較，計算方式如下。

$$\text{反應速率： } R = \frac{1}{n\delta t A} \sum_{i=1}^n D_i / i$$

D_i 為在時間為 $(i\delta t)$ 時金屬之累積溶出量(單位：mg)， n 為所取之樣品數， δt 為最後一樣品取樣時間， A 為樣品面積。

$$\text{實際溶金量： } Y = \frac{\text{黃金溶出量}(g)}{\text{加入之藥品量}(g)}$$

實際溶金量依照實驗結果，取黃金溶出量進行計算，所得結果即單位藥品所能溶出之黃金量。

4. 試劑

本研究中所使用之非氰化金剝離劑為 thiourea ($\text{SC}(\text{NH})_2$, 99%, Riedel-de Haën), Ammonium thiocyanate (NH_4SCN , 99.5%, Showa), Ammonium thiosulfate ($(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$, 99%, Alfa Aesar), sodium thiosulfate ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, 99%, shimakyu's pure chemicals)。

5 分析方法

本研究中以感應耦合電漿原子激發光譜儀(Inductively coupled plasma atomic emission spectrometry, 簡稱 ICP-AES)進行實驗之成份分析，型號為 Optima 5300V。

三、結果與討論

1. 各種低毒性非氰化剝金劑試驗結果

研究結果顯示，於實驗中將硫脲法、硫氰酸銨法、硫代硫酸銨法、硫代硫酸鈉法、氯液法，依循文獻整合之參數予以試驗，並加以最佳化後，發現各種非氰化物提金方法均對 BGA 基板具有處理能力，且輔以超音波震盪法後均能提昇溶出速率(Batric et al. 1992; Öncel et al. 2005)，以符合現行處理業之操作時間(15 分鐘)，本文所得之各方法最佳化參數及其對 BGA 基板之溶出率如表 1 及圖 3 所示。

表 1 各種非氰化剝金技術之最佳化參數及其對 BGA 基板之溶出率

方法	條件	溶出率	
		Au	Ni
硫脲法	硫脲濃度 0.3M、pH 值 1.5、Fe ₂ (SO ₄) ₃ 濃度 0.025M、輔以超音波震盪法、15 分鐘	Au	95.87%
		Ni	7.77%
		Cu	0.97%
硫氰酸銨法	硫氰酸銨濃度 0.4M、pH 值 1.5、Fe ₂ (SO ₄) ₃ 濃度 0.0225M、輔以超音波震盪法、60 分鐘	Au	83.48%
		Ni	77.41%
		Cu	3.11%
硫代硫酸銨法	硫代硫酸銨濃度 0.4M、pH 值 10.8、CuSO ₄ 濃度 0.04M、輔以超音波震盪法、30 分鐘	Au	7.47%
		Ni	0.60%
		Cu	0.00
硫代硫酸鈉法	硫代硫酸鈉濃度 0.2M、pH 值 10、CuSO ₄ 濃度 0.04M、輔以超音波震盪法、30 分鐘	Au	1.69%
		Ni	0.03%
		Cu	0.00
氯液次氯酸法	6%次氯酸水溶液 50ml、30%鹽酸 25ml、輔以超音波震盪法、30 分鐘	Au	38.68%
		Ni	29.49%
		Cu	0.53%

BGA 板以各種方法處理後之外觀如圖 4 所示。以硫脲法處理後之樣品外觀平整，顯示可均勻的溶出金，並露出下層之金屬鎳，位於底層之銅則未接觸到浸出液，而沒有溶出的情形，與氰化法處理後之樣品外觀類似。以硫氰酸銨法處理後之樣品之剝離較不均勻，由於硫氰酸銨對於鎳以及金之選擇性較差，但對於銅則較不反應，故表層之金與鎳剝離後裸露出底層的銅。硫代硫酸鹽由分析顯示，表層之金溶出量極低，而保護下層之鎳銅未溶出，但表面顏色改變，推測可能為藥劑吸附於金表面，後再接觸空氣氧化所導致。以氯液/次氯酸法處理之樣品，由於浸出過程中較低之 pH 值，而對基板樹脂造成損壞。

由上述結果可知，以硫脲法處理後之樣品，其外觀較均一化，對於下層之金屬鎳和金屬銅保護較為良好，而有利於後續之處理。

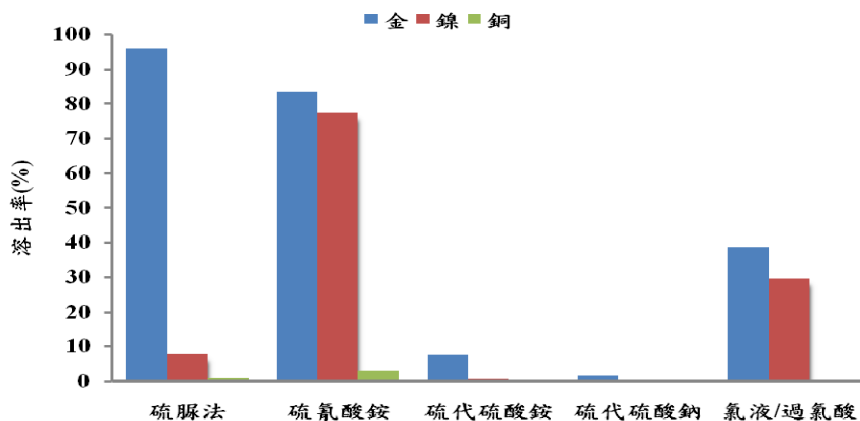


圖 3 各種非氰化剝金技術對廢 BGA 基板之溶出效果

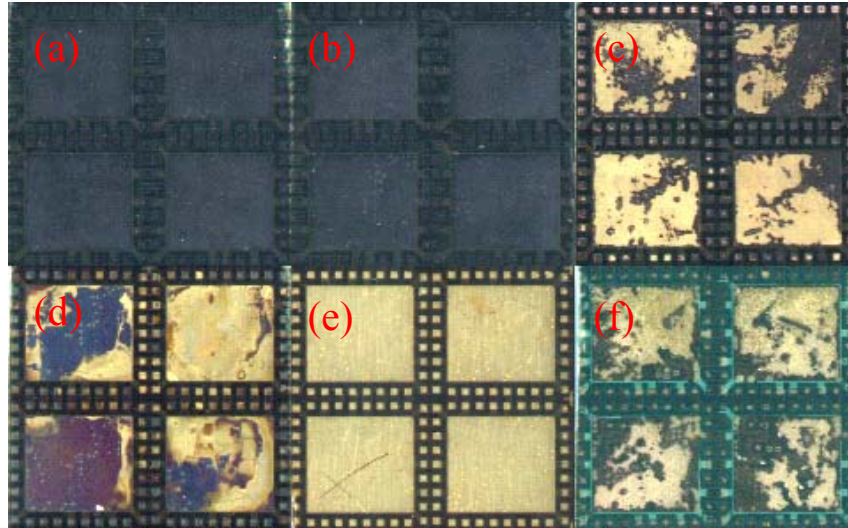


圖 4 以(a)氰化法、(b)硫脲法、(c)硫氰酸鹽法、(d)硫代硫酸銨法、(e)硫代硫酸鈉法及(f)氯液/次氯酸法之 BGA 基板外觀

2. 與氰化法之性能比較

由前文可知硫脲為較為理想之替代金剝離劑，故以硫脲之最佳條件參數進行其對於金、鎳、銅溶出性能研究，以進一步比較硫脲法與氰化法之選擇性及反應速率，為了與氰化法之效能進行比較，亦以相同之方式進行氰化法性能試驗(條件為 NaCN 20g/L, Au-78 4g/L, 50°C)，結果如圖 5 及圖 6 所示。

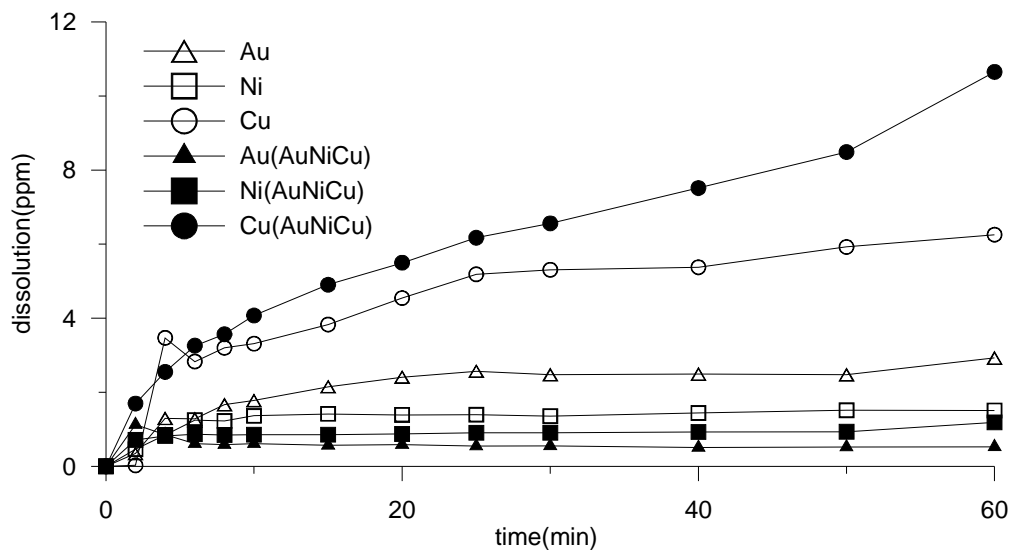


圖 5 硫脲反應速率與選擇性實驗於不同浸出時間浸出液之金屬含量

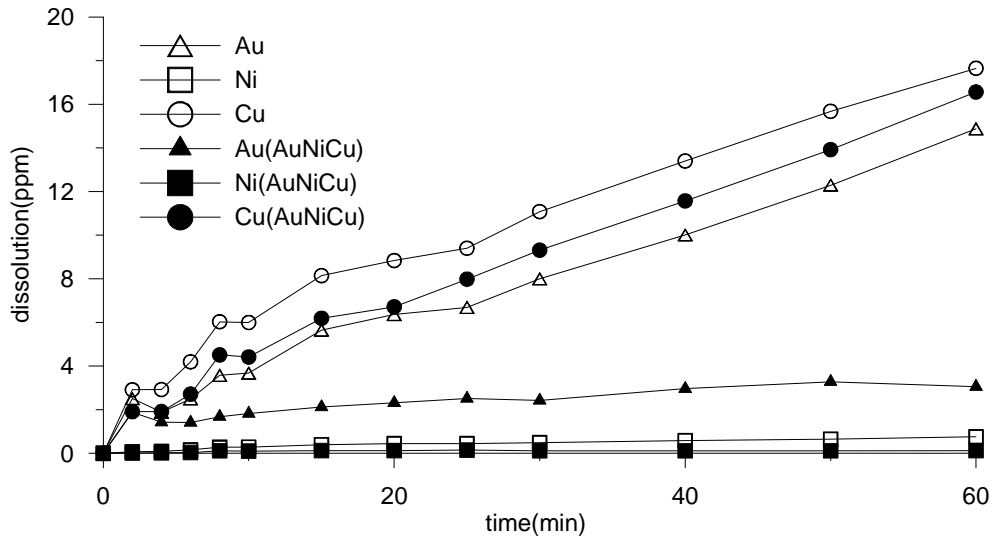


圖 6 氰化鈉反應速率與選擇性實驗於不同浸出時間浸出液之金屬含量

(1) 選擇性比較

當氰化鈉以及硫脲法，在金鎳銅三種金屬同時存在時浸出至 20 分鐘，其金屬浸出量均不同，氰化法浸出金 37.5mg、鎳 0.3mg、銅 76.1mg，硫脲法浸出金 19.8mg、鎳 28.1mg、銅 143.1mg，若把鎳與銅視為雜質，則兩方法之雜質溶出量分別如下，並可作為選擇性比較之依據：

$$\text{氰化法雜質溶出量：} I_{CN} = \frac{0.3 + 76.1}{37.5 + 0.3 + 76.1} = 67.08\%$$

$$\text{硫脲法雜質溶出量：} I_{TU} = \frac{28.1 + 143.1}{19.8 + 28.1 + 143.1} = 89.63\%$$

由以上計算，顯示在本文目前所得之參數下氰化法仍然擁有略好之選擇性。但在非氰化剝金技術試驗中，以實際之廢棄物樣品進行處理時，能得到金溶出率達到 95.87%，且鎳與銅分別只有 7.77% 與 0.97% 之效果，顯示硫脲在處理實際樣品時，仍有一定之效果潛力。

(2) 溶解能力比較

氰化鈉的實際溶金量，以單獨對純金片進行浸出者，所紀錄之金片損失重量計算，顯示每公克氰化鈉可浸出 0.044g 之黃金。

$$\text{氰化鈉實際溶金量：} Y_{CN} = \frac{\text{金片損失重量}}{\text{所加入氰化鈉重量}} = \frac{0.1758g}{4g} = 0.044 \text{ gg}^{-1}$$

硫脲的實際溶金量，以單獨對純金片進行浸出者，所紀錄之金片損失重量計算顯示每公克硫脲可浸出 0.012g 之黃金。

$$\text{硫脲實際溶金量：} Y_{TU} = \frac{\text{金片損失重量}}{\text{所加入硫脲重量}} = \frac{0.0659g}{5.7g} = 0.012 \text{ gg}^{-1}$$

反應速率之計算，取反應開始至 20 分鐘為止以切合實際操作情況，可分為單獨對金片、鎳片與銅片，以及三者同時浸出時金、鎳和銅各別之反應速率，其計算可表示如下：

$$R = \frac{1}{n\delta tA} \sum_{i=1}^n Di/i = \frac{1}{30\text{min} \times 10\text{cm}^2} \left(\frac{D_1}{1} + \frac{D_2}{2} + \frac{D_3}{3} + \frac{D_4}{4} + \frac{D_5}{5} + \frac{D_{7.5}}{7.5} + \frac{D_{10}}{10} \right)$$

計算結果如表 2 所示，可知硫脲法之反應速率快於氰化法，但在鎳銅存在之情況下硫脲法之反應速率下降，接近於氰化法，對於本文所使用之 BGA 基板則因金被覆於最表層，反應速率會較接近金單獨存在之情形，而能較快速地處理 BGA 基板。

表 2 氰化法與硫脲法之金銅鎳溶出率比較

單位：mg cm⁻² min⁻¹

		氰化法	硫脲法
溶金速率		0.26	0.41
溶鎳速率		0.05	0.36
溶銅速率		0.36	0.86
金鎳 銅共 存	溶金速率	0.24	0.25
	溶鎳速率	0.02	0.32
	溶銅速率	0.30	0.92

四、結 論

1. 本文試驗硫脲、硫氰酸銨、硫代硫酸銨、硫代硫酸鈉及氯液/次氯酸等等 5 種較低毒性非氰化金剝離試劑，於廢印刷電路板(BGA 基板)之黃金剝離效果，結果顯示硫脲具有較佳之處理效果。
2. 以硫脲法進行 BGA 基板剝金之試驗，得到最佳之結果為金溶出率 95.87%，鎳與銅之溶出分別僅有 7.77%與 0.97%，其金剝離速度快，對鎳與銅之溶出情形亦不高，兼具了反應速率與選擇性。
3. 本文分別進行氰化鈉與硫脲溶液之溶金能力比較，結果顯示，在選擇性方面硫脲法及氰化法之雜質溶出率分別為 89.63%及 67.08%，硫脲溶解金屬之速率為 Cu > Au > Ni，類似於現行使用之氰化法。目前研究成果雖然硫脲之溶金量為每公克硫脲只可溶解 0.012g 黃金，相較於氰化鈉之溶金量

為每克氰化鈉可溶解 0.044g 黃金較低。後續的研究將可能再提昇硫脲溶解能力，加以考慮工安與環境訴求的低毒性需求，硫脲仍極具潛力。

4. 本文所使用之廢 BGA 基板因金被覆於最表層，反應速率會較接近金單獨存在之情形，因此在此狀況之下，硫脲能在實廠處理中能較現行氰化法更安全且快速地處理 BGA 基板，提供一個更為清潔生產選擇。

五、致 謝

本文獲得經濟部工業局 SBIR 計畫 1Z960405 經費支持，並承蒙業界學界先進之指教，在此敬致誠摯的謝意。

六、參考文獻

1. C.H. Lee, S.L. Chang, L.M. Wang, L.C. Wen, Management of scrap computer recycling in Taiwan, *Journal of Hazardous Materials A73* (2000) 209-220.
2. H. M. Veit, A.M. Bernardes, J.Z. Ferreira, J.A.S. Tenório, C.d. F. Malfatti, Recovery of copper from printed circuit boards scraps by mechanical processing and electrometallurgy, *Journal of Hazardous Materials B137* (2006) 1704-1709.
3. C.H. Lee, C.T. Chang, K.S. Fan, T.C. Chang, An overview of recycling and treatment of scrap computer, *Journal of Hazardous Materials B114* (2004) 93-100.
4. G. Hilson, A. J. Monhemius, Alternatives to cyanide in the gold mining industry: what prospects for the future? *Journal of Cleaner Production* 14 (2006) 1158-1167.
5. H.V. Michaelis, The prospects for alternative leach reagents: Can precious metal producers get along without cyanide? *Engineering and Mining Journal* 188, No. 6 (1987) 42-44.
6. C. Swaminathan, P. Pyke, R.F. Johnston, Reagent trends in the gold extraction industry, *Minerals Engineering* 6 n1 (1993) 1-16.
7. P. Batric, Z. Taili, Application of ultrasonic in extractive metallurgy: sonochemical extraction of nickel, *Metallurgical transactions. B, Process metallurgy* 23 n1 (1992) 13-22.
8. M. Salim Öncel, Mahir İnce, Mahmut Bayramoğlu, Leaching of silver from solid waste using ultrasound assisted thiourea method, *Ultrasonics Sonochemistry* 12 (2005) 237-242.

議程九

1. 飛灰副產品資源化作爲鋼液保溫劑之技術開發

李育成、林冠儒、黃大松、王文賢、李勝棠

2. 從電弧爐煉鋼集塵灰中利用水熱法備製奈米氧化鋅之合成及其性質研究

蕭立殷、王永宏、方錦塘、王文琳

3. 廢PCBs合成高純度奈米氧化銅

余炳盛、翁維聰、林彥廷、王品嫻

飛灰副產品資源化作為鋼液保溫劑之技術開發

李育成*、林冠儒*、黃大松*、王文賢**、李勝崇***

摘 要

火力發電廠飛灰副產品已逐漸被開發作為混凝土添加物、輕質骨材或煉鋼鑄粉等之原料。惟中鋼動力工場所產出之飛灰因含約 30% 碳成份，導致資源化途徑受限，並衍生難以去化之問題。其次，中鋼為確保鋼液品質，每年約使用 4,540 噸碳化稻殼保溫劑，以防止鋼液二次氧化及減少溫降。有鑑於稻殼原料有短缺之隱憂，茲為避免保溫劑缺貨或價格飆漲，因此，中鋼乃進行飛灰保溫劑資源化再利用技術開發，藉以解決飛灰去化及開發碳化稻殼保溫劑之替代品。

本研究首先應用燃燒技術以降低中鋼自產飛灰之碳含量，並利用實驗計劃法進行黏結劑之選用研究，以突破造粒技術，建立最適造粒條件，以及探討保溫性能與對鋼液清淨度之影響，並量產試製至煉鋼廠進行現場試用評估。研究及試用結果顯示，中鋼已成功開發出「顆粒狀飛灰保溫劑」，證實其保溫效果與碳化稻殼保溫劑相當，且對鋼液之復硫與復碳之影響相當小。經現場試用結果證實無論是保溫性、渣性、流動鋪展性及粉塵污染性等方面，表現均相當優異；尤其可大幅降低成本，每年約可節省二千萬元，極具經濟效益，因此，中鋼已擬定具體量產計畫，未來將自產物美價廉產品，自給自用，並擬全面取代現用碳化稻殼保溫劑，且得以同時解決飛灰去化問題與碳化稻殼保溫劑短缺之隱憂。

【關鍵字】 飛灰、造粒、鋼液保溫劑

*中國鋼鐵股份有限公司新材料研究發展處/鋼鐵鋁品研究發展處 研究員

**中國鋼鐵股份有限公司煉鋼廠 副組長

***中聯資源股份有限公司 主任工程師

一、前言

在鐵水或鋼液運送過程或精煉處理之等待階段，為了防止溫降，一般皆需在其表面覆蓋一層保溫材料，稱為保溫劑。現今最常用之保溫劑為碳化稻殼灰，除可絕熱保溫外，尚可隔絕空氣，防止鐵水或鋼液二次氧化。保溫劑由於直接與鐵水或鋼液接觸，對鋼品品質影響甚巨，因此選用上須格外謹慎。良好的保溫劑應具備比重小、保溫效果佳、流動鋪展性佳、含碳量少、可形成液態渣、不影響鋼液清淨度、對耐火材料內襯侵蝕小、不致造成粉塵問題等。中鋼煉鋼廠保溫劑之年用量約 4,540 噸，因此在選用上，亦須兼顧料源穩定、易取得、價廉以及生產基地靠近煉鋼廠等特性，以節省成本。

保溫劑可分為單層型與複層型兩種；前者直接覆蓋在鐵水或鋼液表面上，可為顆粒狀或粉狀，常見的材質為碳化稻殼，其導熱係數低，保溫效果佳，惟碳含量較高，易使鋼液發生增碳之副作用；加以熔點高，不易形成液渣層，破渣不易，取樣困難；且比重小，運輸成本高。複層型保溫劑為雙層式，上層為絕熱保溫材質，下層大多為氧化鈣或氧化鎂質之鹼性混合物，與鋼液接觸後易形成液渣層，具有吸附鋼液介在物之效果，主要用於冶煉高級特殊清淨鋼種。

所謂的「飛灰」，即火力發電廠利用煤礦為燃料，高溫燃燒後所形成的殘餘粉狀灰燼，屬於固體廢棄物。近年來，飛灰已逐漸被開發作為水泥、輕質骨材或混凝土添加物等材料，亦曾被使用作為煉鋼鑄粉原料。中鋼動力工場使用一般煤燃燒發電所產出之飛灰廢棄物年產約 13,200~16,800 噸，民國八十八年間曾嘗試在現場推動將飛灰作為保溫劑，惟因粉塵飛揚等環保問題而作罷。目前已改用環保飛灰，所產出之飛灰廢棄物約 7800 噸/年，全部用於混拌礦泥，外送水泥廠，惟未來中鋼固雜料處理工場回收礦泥比率增加後，飛灰將有過剩問題，有必要未雨綢繆予以資源化再利用。

有鑑於稻殼原料有短缺之隱憂，茲為避免保溫劑缺貨或價格飆漲，因此，中鋼乃進行飛灰保溫劑資源化再利用技術開發，藉以解決飛灰去化及開發碳化稻殼保溫劑之替代品。

二、研究方法

2.1 原料

1. 中鋼動力場環保煤飛灰：化學組成和結晶相，如表 1 所示。

2. 黏結劑種類：

(1) 黏土-I：主要結晶相為高嶺土(Kaolinite)、白雲母(Muscovite)。

(2)黏結劑-W

(3)黏結劑-C

表 1 中鋼動力場飛灰化學成份分析

材 料	飛灰 (乾)	環保 煤飛 灰(乾)	飛灰 (乾)	底灰 (溼)	環保 煤底 灰	飛灰	前段未混燒環保煤飛灰				後段已混 燒環保煤 飛灰
供應商	中鋼動力場					台電大林廠	中鋼動力場				
SiO ₂	41.10	35.48	31.1	12.1	74.00	52.86	35.97	29.78	24.28	24.94	36.91
Al ₂ O ₃	14.00	19.03	10.9	3.32	6.58	24.25	17.90	16.16	19.13	22.18	18.07
Total Fe	--	--	--	--	--	--	14.07	10.88	10.82	10.75	13.96
FeO	--	--	--	--	--	--	0.63	--	--	--	0.91
Fe ₂ O ₃	2.49	20.25	5.13	4.64	16.12	9.45	19.32	15.56	15.48	15.37	18.89
TiO ₂	0.77	0.761	0.55	0.15	0.321	1.84	--	0.782	0.847	0.939	--
Cr ₂ O ₃	--	--	--	--	--	--	0.009	--	--	--	0.007
MgO	0.54	2.49	0.39	0.38	0.671	1.12	5.75	6.007	6.524	6.223	5.60
CaO	0.96	10.12	0.61	2.26	2.57	2.32	15.03	13.16	14.25	12.65	14.39
MnO	0.03	0.241	--	--	0.164	--	0.219	0.197	0.215	0.253	2.30
Na ₂ O	0.21	0.272	0.55	0.07	0.271	0.18	0.176	0.368	0.372	0.377	0.170
K ₂ O	0.68	0.621	0.55	0.13	0.227	1.14	0.798	1.094	1.653	2.361	0.865
S	0.24*	0.284	--	--	0.332	--	0.258	0.210	0.370	0.570	0.208
P	--	--	--	--	--	--	0.068	0.076	0.079	0.089	0.077
C	32.72	19.52	31.8*	48.2	25.97	4.63	2.710	--	--	--	4.020
Fixed Carbon	--	--	--	--	--	--	0.015	2.730	1.460	0.160	0.011
L.O.I. (1000°C)	35.50	--	19.1	75.6	--	5.40	3.760	--	--	--	5.480
XRD 結 晶 相 分 析	α-Quartz; Mullite; Organic or Amorphous					Tridym- ite; Fe ₂ O ₃	α- Quartz; Tridymi- te	Cristob- alite: α- Quartz; Mullite; Organic or Amorph.	Tridymi- -te; α- Quartz; Organic or Amorp- hous	α- Quartz; Mullite etc.	α-Quartz; Fe ₂ O ₃ Ca ₃ Al ₂ O ₆ ? Clcium-al umimum oxide
軟化點(°C)	1358	1272	1190	1400	1368	--	--	--	--	--	--
熔融點(°C)	1410	1276	1244	1480	1465	--	--	--	--	--	--
流動點(°C)	1480	1290	1275	1540	1530	--	--	--	--	--	--
體密度 (g/cm ³)	0.39	0.54	0.60	0.49	--	--	--	--	--	--	--
熱傳導係數 (w/m°C)	0.8	--	0.5	0.5	--	--	--	--	--	--	--

2.2 飛灰保溫劑性質分析

1. 成品性質分析

(1) 熱性質分析

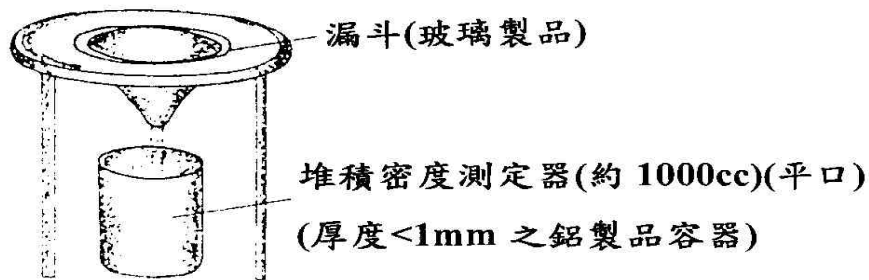
主要利用高溫顯微鏡與 DIN51730，分析各種飛灰與保溫劑之軟化點 (Softening Temperature)、熔融點 (Melting Temperature) 和流動點 (Flowing Temperature)，藉以瞭解材料在熱間使用時之行為。

(2) 流動鋪展性試驗

利用 Flow Table (測試不定型耐火材料流動值之設備，惟並不敲擊桌面) 來量測當錐形鐵框 (上圓直徑約 70mm，下圓直徑約 100mm，高約 60mm) 拿開後，各種粉狀及顆粒狀保溫劑能流動鋪展之直徑範圍，以直徑大小來表示流動鋪展性之優劣。

(3) 堆積密度

所謂“堆積密度”係指粉料質量與所佔體積之比。該體積包括顆粒所佔體積及顆粒間空隙所佔體積。堆積密度受容器大小、填充方式等因素影響。測定時應按一定的方法進行。通常是從一定的高度讓試料通過一漏斗定量自由落下 (如圖 1 所示)。鬆散充填後的密度，稱為疏充填堆積密度。密實充填後的密度，稱為密充填堆積密度。本報告係以前者為主，並且取 5 次分析值之平均值。



漏斗與容器間之距離不得高於容器高度之 1/4

圖 1 疏充填堆積密度測試設備圖

2.3 煉鋼廠現場試用評估

顆粒狀飛灰保溫劑在煉鋼廠所有相關使用單位之全面且大量 (10 噸) 的試用。評估重點包括 (1) 保溫性/保溫效果 (首爐及次爐以後之鋼液溫度變化)；(2) 渣性軟硬程度/取渣難易程度 (以軟渣為優)；(3) 流動鋪展性 (目測為主)；(4) 粉塵污染程度等；(5) 火焰大小等項目。

三、結果與討論

3.1 中鋼動力場環保煤飛灰 C 含量變化

中鋼動力工場燃煤鍋爐飛灰 LOI 值介於 20~30%，未燃碳偏高，不能作為極低碳飛灰保溫劑或水泥添加熟料，利用價值偏低。中鋼研發單位在動力常密切配合下，探討將飛灰 LOI 值降至 10% 以下之可行操作條件，並達到提升利用價值及能源使用效率之雙重目的。研究結果顯示，透過磨煤機篩選器設定(Classifier Setting)、磨煤機出口粉煤溫度、廢氣含氧率之提高等，可以降低飛灰 LOI 值；尤其篩選器設定由 4.0 調升至 4.5，可將大於 60mesh 粗粒徑粉煤百分比降至 1% 以下，係降低飛灰 LOI 值最有效方法。當篩選器設定、磨煤機出口粉煤溫度、廢氣含氧率分別為 4.5、55°C、3.0% 時，係現行最佳可行之操作條件，可將飛灰 LOI 值穩定控制於 10% 以下。未來應再配合各燃燒器之粉煤管粉煤流量及二次風量分佈平衡調整，使各燃燒器燃燒更均勻，進一步降低飛灰 LOI 值。因此，中鋼利用燃燒技術已可降低飛灰碳含量，提升回收再利用價值，並可直接作為顆粒狀飛灰保溫劑之原料。

如表 1 所示，中鋼動力場環保煤飛灰經低碳燃燒技術改善後，C 含量由原來的 19.52wt%(環保煤飛灰)或 25.97wt%(環保煤底灰)，大幅降低至 2.71wt%(未混燒)或 4.02wt%(已混燒)。

3.2 中鋼動力場環保煤飛灰及保溫劑對 C、S 成份之影響

利用中鋼動力場飛灰(含碳量高約 33wt%)與其所製造出來之顆粒狀飛灰保溫劑對鋼液[C]、[S]成份之影響如表 2 所示。由表中資料顯示，飛灰或顆粒狀飛灰保溫劑(各約 1kg)散佈在鋼液(200kg)表面，並與鋼液反應後，會立即造成鋼液復碳(但幾乎不會復硫)，約增加 0.0103~0.0144%(103~144 點)。此乃因飛灰中富含碳成份(高約 33wt%)所致。同樣地，在連鑄作業時，分鋼槽鋼液量約達 30~50 噸，依比率換算復碳量約 0.0009 點，對鋼液不良影響亦極小。因此，就實際煉鋼與連鑄作業流程而言，飛灰與顆粒狀飛灰保溫劑(添加量約 0.5~1.2kg/ST)對鋼液造成復硫或復碳之不良影響相當小，故基本上可做為鋼液或鐵水表面的覆蓋材料。目前中鋼又將飛灰碳含量降至 10wt% 以下，更可直接作為顆粒狀飛灰保溫劑之原料。

因此，中鋼所建立之低碳燃燒技術大幅降低飛灰碳含量，故採用此種低碳飛灰作為顆粒狀保溫劑之原料，就不需擔心造成鋼液復碳或復硫之影響。

表 2 飛灰(碳含量約 33wt%)與顆粒狀飛灰保溫劑對鋼液[C]、[S]成份變化之影響

實驗流程	取樣時間(min.)	C (wt%)	復碳量 ΔC (點)*	S (wt%)	復硫量 ΔS (點)*
原始鋼液(200kg)	0	0.0026	--	0.0066	--
加入 1kg W5 動力場 飛灰(上層並未溶解) (15min.後加以攪拌)	3	0.0071	+45	0.0069	+3
	6	0.0100	+74	0.0071	+5
	9	0.0120	+94	0.0069	+3
	12	0.0080	+54	0.0068	+2
	15	0.0160	+134	0.0068	+2
	20	0.0170	+144	0.0068	+2
原始鋼液(200kg)	0	0.0018	--	0.0012	--
加入 1kg 顆粒狀飛灰 保溫劑(上層並未溶 解)	3	0.0083	+65	0.0015	+3
	6	0.0110	+92	0.0016	+4
	9	0.0150	+96	0.0017	+5
	12	0.0180	+99	0.0018	+6
	15	0.0220	+103	0.0019	+7

註：1 點=0.0001wt%

3.3 飛灰保溫劑成品性質分析

1. 成品性質分析

(1) 熱性質分析

中鋼自行生產顆粒狀環保煤飛灰保溫劑之熱性質分析，係依據 DIN 51730 規定執行變形溫度、軟化點、熔融點與流動點等分析。分析結果如表 3 所示，結果顯示顆粒狀環保煤飛灰保溫劑變形點約 1,355~1,378°C (平均約 1,372°C)，軟化點約 1,447~1,479°C (平均約 1,470°C)，熔融點約 1,517~11,536°C (平均約 1,525°C)，流動點約 > 1,577°C。

對比於先以前所開發之一般煤飛灰顆粒狀保溫劑(軟化點約 1,200~1,256°C，熔融點約 1230~1270°C，流動點約 1,275~1,305°C)(如表 4 所示)，以及中鋼現用顆粒狀稻殼保溫劑(軟化點約 1,337°C，熔融點約 1,380°C，流動點約 1,510°C)(如表 4 所示)，雖然諸性質溫度較高，但熔融點平均約 1,525°C，故在煉鋼廠之鋼液容器內使用時，最下層與鋼液/爐渣接觸部份會形成液態，不僅現場操作人員容易取樣，而且，可隔絕空氣，防止鋼液二次氧化，更可能較易吸收上浮的非金屬介在物，有利於鋼液清淨度，此亦為使用飛灰保溫劑優點之一。

表 3 顆粒狀環保煤飛灰保溫劑熱性質分析

顆粒狀環保煤飛灰保溫劑	樣品 A	樣品 B	樣品 C	樣品 D	平均值
變形溫度或燒結溫度(°C)	1,355	1,378	1,375	1,378	1,372
軟化點(°C)	1,478	1,447	1,479	1,476	1,470
熔融點(°C)	1,517	1,520	1,536	1,528	1,525
流動點(°C)	≥ 1,575	≥ 1,575	≥ 1,580	≥ 1,578	≥ 1,577

表 4 各類飛灰與保溫劑之 XRD 結晶相及熱學性質分析

材 料	飛灰 (乾)	環保煤 飛灰(乾)	底灰 (溼)	飛灰	底灰	低碳顆粒狀 稻殼保溫劑	T62 試製一般煤飛 灰保溫劑	
供應商	中鋼動力場			台電大林廠		國產品	第一次	第一次
XRD 結晶相分析	α-Quartz; Mullite; Organic or Amorphous					Cristobalite; α-Quartz; Mullite; Organic or Amorph.	α-Quartz; Mullite etc.	α-Quartz; Mullite; Kaolinite; etc.
軟化點(°C)	1,358	1,272	1,190	1,400	1,368	1,337	1,201	1,256
熔融點(°C)	1,410	1,276	1,244	1,480	1,465	1,380	1,231	1,270
流動點(°C)	1,480	1,290	1,275	1,540	1,530	1,510	1,275	1,305
體密度(g/cm ³)	0.39	0.54	0.60	0.49	--	0.56	0.47	0.48
熱傳導係數 (w/m°C)	0.8	--	0.5	0.5	--	0.6	--	--

(2) 流動鋪展性試驗

目前所生產顆粒狀環保煤飛灰保溫劑之流動鋪展最大直徑約 206.26~238.25mm (平均約 222mm)，亦即可鋪展覆蓋的面積為原有面積之 3.24~4.69 倍，如表 5 所示。其它國產顆粒狀保溫劑流動鋪展最大直徑約 182.54~183.79mm，亦即可鋪展覆蓋的面積為原有面積之 2.33~2.38 倍；現用粉狀保溫劑流動鋪展最大直徑約 152.30~158.81mm，亦即可鋪展覆蓋的面積僅為原有面積之 1.32~1.55 倍。因此，顆粒狀保溫劑才具有較佳的流動鋪展性。雖然本項實驗係在常溫下進行，與現場熱間使用環境或有不同，但拋入鋼液容器內瞬間的流動行為應無區別，故要擁有良好的流動鋪展性，仍非顆粒狀保溫劑莫屬。因此，本研究建議不宜使用粉狀保溫劑，不僅流動鋪展性差，且亦有粉塵飛揚問題。

(3) 堆積密度

目前所生產顆粒狀環保煤飛灰保溫劑之堆積密度約 0.86g/cm³，約與現用國產顆粒狀保溫劑 0.80-0.85g/cm³ 相當。

表 5 各種保溫劑之流動鋪展性試驗

種 類	可鋪展之最大直徑(mm)	可鋪展面積增加比率(%)
中鋼動力場之飛灰	159.66	155
粉狀高碳碳化稻殼	158.81	152
粉狀極低碳碳化稻殼	152.30	132
C<15%顆粒狀碳化稻殼保溫劑	169.20	186
一般顆粒狀碳化稻殼保溫劑	182.54	233
極低碳顆粒狀碳化稻殼保溫劑	183.79	238
一般煤顆粒狀飛灰保溫劑	175.19~176.59	207~212
環保煤顆粒狀飛灰保溫劑	206~238.25	324~469

3.4 煉鋼廠現場試用評估

1.2000 年自行開發一般煤飛灰保溫劑樣品兩次在現場試用各項評估性質比較：

- (1)保溫性：顆粒狀飛灰保溫劑在盛鋼桶至分鋼槽之溫降分別為 23~48℃ 間，而現用粉狀碳化稻殼保溫劑則為 28~38℃ 間；而在分鋼槽澆鑄時之溫降分別為 6~11℃ 間，而粉狀碳化稻殼保溫劑則為 5~9℃ 間。就溫降比較而言，自行開發一般煤顆粒狀飛灰保溫劑與粉狀碳化稻殼保溫劑，互有領先。惟先前之研究⁽³⁾即指出粉狀碳化稻殼保溫劑之保溫性優於顆粒狀碳化稻殼保溫劑，故自行開發之顆粒狀飛灰保溫劑有此實績，已相當可貴，足見其保溫性已屬相當不錯。
- (2)渣性：自行開發之一般煤顆粒狀飛灰保溫劑屬軟渣，與粉狀碳化稻殼保溫劑相當，但優於顆粒狀碳化稻殼保溫劑。
- (3)流動鋪展性：煉鋼廠依”目測”認定自行開發之顆粒狀飛灰保溫劑之流動鋪展性與現用品，不分軒輊。
- (4)粉塵污染性：自行開發之顆粒狀飛灰保溫劑之粉塵污染相當小，優於粉狀碳化稻殼保溫劑，與顆粒狀碳化稻殼保溫劑相當。
- (5)綜合評估：經由此兩次現場試用結果顯示，以動力場一般煤飛灰製成的顆粒狀飛灰保溫劑，其保溫性略遜於粉狀碳化稻殼保溫劑，但渣性、流動鋪展性及粉塵污染性，均不輸於現用的粉狀或顆粒狀碳化稻殼保溫劑，可取代之，並宜加速量產大量試用評估。

2.2007-2008 年自行開發工環保煤飛灰保溫劑在現場大量(10 噸)試用結果

自行開發之保溫劑已在煉鋼廠六單位各 10 噸之所有試用評估，結果顯示：飛灰保溫劑之保溫性能及操作性皆不亞於現用碳化稻殼保溫劑，所有使用單位皆認為可取代之。

四、結 論

1. 中鋼動力場環保煤飛灰經低碳燃燒技術改善後，C 含量由原來的 19.52wt%，大幅降低至 2.71wt%(未混燒)或 4.02wt%(已混燒)。就實際煉鋼與連鑄作業流程而言，顆粒狀煤灰保溫劑對鋼液造成復硫或復碳之不良影響相當小，故飛灰碳含量降至 10wt% 以下，更可直接作為顆粒狀飛灰保溫劑之原料。
2. 目前所生產顆粒狀環保煤飛灰保溫劑熔融點約 1525°C，在鋼液容器內使用時，與鋼液/爐渣接觸部份會形成液態，易取樣，較易吸收上浮介在物，有利於鋼液清淨度。
3. 顆粒狀環保煤飛灰保溫劑之流動鋪展最大直徑約 222mm，優於其它國產現用保溫劑(152~184mm)。堆積密度約 0.86g/cm³，約與現用國產品(0.80~0.85g/cm³)相當。
4. 顆粒狀環保煤飛灰保溫劑已在 2008 年 10 月於煉鋼廠六單位完成各 10 噸之試用評估，顯示保溫性、渣性、流動鋪展性及粉塵污染性，均不輸於現用產品，所有使用單位皆認為可取代之。

五、參考文獻

1. 黃大松等，”燃煤鍋爐飛灰未燃碳降低改善”，中鋼技術與訓練，Vol. 34, No.2, 2009 年 6 月。
2. 李育成、林冠儒，”煉鋼用保溫劑替代品開發”，中鋼內部研究報告，TS88699，2000。
3. 李育成，林冠儒，”開發飛灰作為保溫劑”，中鋼研究報告(TS79057)，1991。

從電弧爐煉鋼集塵灰中利用水熱法備製

奈米氧化鋅之合成及其性質研究

蕭立殷*、王永宏**、方錦塘***、王文琳****

摘要

電弧爐煉鋼集塵灰是一種在電弧爐煉鋼時所產生的煙塵，經集塵機收集而得。電弧爐煉鋼集塵灰的主要是由金屬氧化物組成，如鐵，銅，鋅，錳，鉛的氧化物。全世界每年約七萬噸的電弧爐煉鋼集塵灰在電弧爐煉鋼過程中產生。由於電弧爐集塵灰中富含大量的重金屬，若直接掩埋，極易對環境產生衝擊，而危害到土壤、地下水及附近之生態。傳統的處理係以固化掩埋方式處理，會造成體積增加及仍須掩埋等缺點，且固化只是減緩溶出速度，並未能完全根絕污染之問題。有鑑於集塵灰對環境生態可能造成危害，國內外有許多的研究針對此進行資源化再利用之研究，主要有回爐冶煉、玻璃化法、濕法冶金與火化冶金等四種。過去主要以火法冶金為主要的處理方式，此方法所得之產品為含有氯、鉛、鐵之氧化鋅，只能當做鉛鋅礦冶煉，利用價值不高，其法仍有過度耗能以及冶煉過程中戴奧辛產生的問題。

本研究將採用多段濕法冶金方式處理電弧爐集塵灰，先利用多段濕法冶金將集塵灰中鋅金屬溶解並分離得到硫酸鋅溶液，再利用水熱法合成氧化鋅奈米粒子。合成法乃將金屬鹽類前驅物溶液與氫氧化鈉溶液迅速混合並強烈攪拌下，產生沉澱物，並用蒸餾水洗滌，然後在室溫下乾燥而得。利用場發射穿透式電子顯微鏡觀察得知本研究的氧化鋅奈米粒子粒徑範圍為 40 奈米。因此，奈米粒子產生的水熱法在本研究可有助於減少環境的負擔由電弧爐粉塵，增加發展奈米材料的來源，並降低原材料成本。

【關鍵字】電弧爐集塵灰、濕法冶金、氧化鋅

*鴻寶金屬資源股份有限公司 研發經理

**鴻寶金屬資源股份有限公司 研發工程師

***鴻寶金屬資源股份有限公司 副總經理

****工業技術研究院能源與環境研究所 研究員

一、前 言

氧化鋅已在橡膠業、塗料業、催化、壓敏電阻等領域都有重要的應用。由於氧化鋅具有很寬的帶隙(3.37eV)和在室溫下具有 60meV 的高激發結合能而成為一重要半導體材料^[1]。最近的研究顯示，和成的方式會對氧化鋅的微結構與化學性質造成影響。^[2,3]因此，目前合成方法，如化學氣相沉積^[4-7]，熱蒸鍍^[8,9]，氣相沉積法^[10,11]，熱分解法^[12-13]，電漿法^[14]，濺射法和雷射蒸鍍法^[15,16]，分子磊晶法^[17]，水解法^[18,19]，電化學沉積法^[20]和熱溶劑法^[21]，固相反應法^[22]，溶膠凝膠^[23]，沉降法^[24]。由於水熱法被發現在合成奈米材料的粒度上分佈均勻、結晶性好的一個重要方法。因此，它近二十年來以成為一重要合成奈米氧化鋅方法^[25-30]。最近，一維氧化鋅奈米棒，二維氧化鋅奈米薄片，二維氧化鋅奈米帶束，三維氧化鋅奈米方塊和零維奈米顆粒經由不同條件水熱合成法展示有趣的性質^[31]。

電弧爐煉鋼集塵灰是一種在電弧爐煉鋼時所產生的煙塵，經集塵機收集而得。電弧爐煉鋼集塵灰的主要是由金屬氧化物組成，如鐵，銅，鋅，錳，鉛的氧化物。全世界每年約七萬噸的電弧爐煉鋼集塵灰在電弧爐煉鋼過程中產生。由於電弧爐集塵灰中富含大量的重金屬，若直接掩埋，極易對環境產生衝擊，而危害到土壤、地下水及附近之生態。傳統的處理係以固化掩埋方式處理，會造成體積增加及仍須掩埋等缺點，且固化只是減緩溶出速度，並未能完全根絕污染之問題。有鑑於集塵灰對環境生態可能造成危害，國內外有許多的研究針對此進行資源化再利用之研究，主要有回爐冶煉、玻璃化法、濕法冶金與火化冶金等四種^[32-37]。過去主要以火法冶金為主要的處理方式，此方法所得之產品為含有氯、鉛、鐵之氧化鋅，只能當做鉛鋅礦冶煉，利用價值不高，其法仍有過度耗能以及冶煉過程中戴奧辛產生的問題。

本研究將採用先前多段濕法冶金方式處理電弧爐集塵灰的方法^[38]，先利用多段濕法冶金將集塵灰中鋅金屬溶解並分離得到硫酸鋅溶液，再利用水熱法合成氧化鋅奈米粒子。合成法乃將金屬鹽類前驅物溶液與氫氧化鈉溶液迅速混合並強烈攪拌下，產生沉澱物，並用蒸餾水洗滌，然後在室溫下乾燥而得。利用場發射穿透式電子顯微鏡觀察得知本研究的氧化鋅奈米粒子粒徑範圍為 40 奈米。因此，奈米粒子產生的水熱法在本研究可有助於減少環境的負擔由電弧爐粉塵，增加發展奈米材料的來源，並降低原材料成本。

二、實驗流程

實驗中的硫酸鋅溶液，是先利用濃硫酸(98%, Riedel-deHaën, MO, USA)與去離子水(Deionized Water)調配成酸性浸出液。將煉鋼集塵灰與浸出液重量比控制在 1:5，在室溫下反應時間 120 分鐘所得^[38]。

實驗流程如圖 1 所示，將備置好的硫酸鋅溶液(220g/L)^[38]與氫氧化鈉(98%, Riedel-deHaën, MO, USA)水溶液，在反應槽中(圖 2)快速攪拌下相互混和，白色沉澱物在攪拌下迅速產生。經過過濾、水洗、烘乾等步驟，最後得到白色粉末。利用以 $\text{CuK}\alpha$ 輻射源($\lambda=1.5406 \text{ \AA}$)的 X 光繞射儀(XRD, LabX XRD-6000, Shimadzu, Japan)對白色粉末進行晶相鑑定與分析。利用場發射電子顯微鏡(FE-SEM, JSM-7600F, JEOL, Japan)對白色粉末進行微結構分析。奈米氧化鋅利用滴定法決定氧化鋅濃度^[39]，並採用感應耦合電漿原子發光分光儀(ICP-AES, Perkin Elmer Optima 2000DV, Wellesley, USA)進行雜質分析。

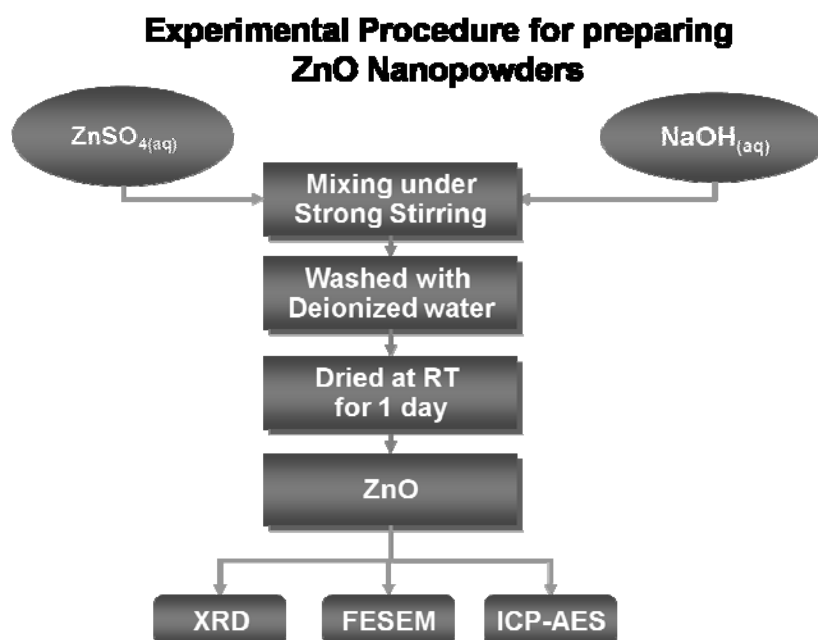


圖 1 實驗流程示意圖



圖 2 反應槽

三、結果與討論

圖 3 為奈米氧化鋅 XRD 繞射圖。它顯示了與文獻相符(JCPDS card no.36-1451)之晶格常數 $a = 3.249\text{\AA}$ ， $c = 5.206\text{\AA}$ 的六方鎢采結構(hexagonal wurtzite structure)與空間群為 P63mc。利用 Scherrer's 公式(Scherrer formula)所得到的粒徑尺寸是在 40-42 奈米範圍。

圖 4 為奈米氧化鋅電子顯微鏡圖，由電子顯微鏡顯示此奈米氧化鋅為柱狀六方結構的形貌，粒徑在 40-60 奈米範圍。這與用 XRD 繞射圖 Scherrer's 公式(Scherrer formula)所得到的粒徑尺寸相符合。

利用 CNS-2203 方法滴定氧化鋅濃度結果顯示，奈米氧化鋅純度為 99.54%，表 1 為感應耦合電漿原子發光分光儀化驗結果，顯示鉛、鎘重金屬已在前處理中被除去。

由結果得知，經由多段濕法冶金對集塵灰進行溶解、除雜後^[38]，所得到的硫酸鋅溶液，在適當的反應條件下，可得到奈米等級氧化鋅。近一步的研究顯示，當反應時間增長時，由於氧化鋅為六方鎢采結構，因此奈米氧化鋅將會呈柱狀型態增長，如圖 5 所示。

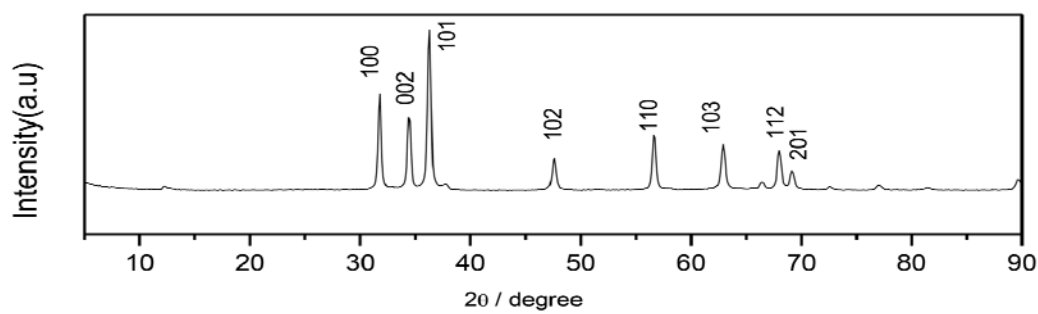


圖 3 奈米氧化鋅 X 光繞射圖

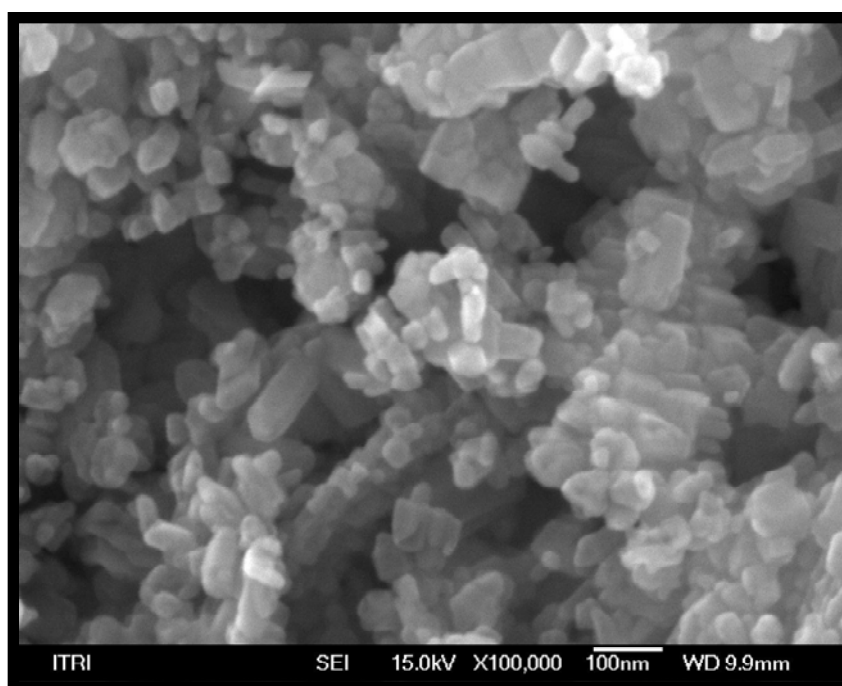


圖 4 為奈米氧化鋅電子顯微鏡圖

表 1 奈米氧化鋅樣品以感應耦合電漿原子發光分光儀分析結果

元素	鉛	鐵	鉻	鎘
含量 (ppm)	ND	7	5	ND

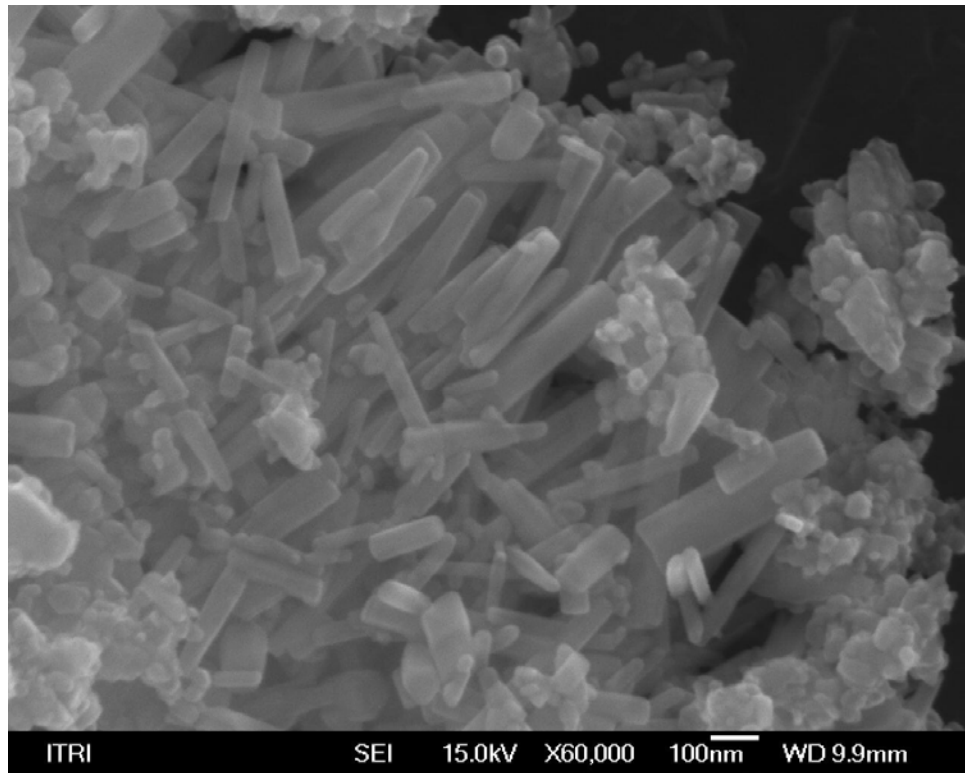


圖 5 為奈米氧化鋅電子顯微鏡圖

四、結 論

- 1.經由感應耦合電漿原子發光分光儀、X光繞射、滴定法之定量、晶相、雜質分析之結果可知，可大量生產純度 99.54%之氧化鋅。
- 2.經由場發射電子顯微鏡顯示，本次實驗之氧化鋅為分散良好之粒徑 40 奈米之氧化鋅。
- 3.由實驗發現，可藉由反應時間的調控，來有效的控制奈米氧化鋅的粒徑大小。

五、參考文獻

- 1.D. C. Reynolds, D. C. Look, B. Jogai, J. E .Hoelscher, R.E. Shetriff, M.T. Harris, M.J. Callahan, J. Appl. Phys., 88 (2000) 2152
- 2.K. G. Kanade, B. B. Kale, R. C. Ayier, B. K. Das, Mat. Res. Bull., 41 (2006) 590
- 3.K. G. Kanade, B. B Kale, Jin-Ook Baeg, Sang Mi Lee, Chul Wee Lee, Sang-Jin Moon, Hyunju Chang ,Mater. Chem. Phys., 102 (2007) 98

- 4.S. C. Liu , J. J. Wu, J. Mater Chem., 12 (2002) 3125,
- 5.J. J. Wu, S. C. Liu, J. Phys. Chem. B., 106 (2002) 9546,
- 6.J. Zang, W.Y. Yu, L.D. Zhang, Phys. Lett., (2002) 299, 276,
- 7.J. J. Wu S.C. Liu, Ad-Mater, 14 (2002) 215
- 8.H. T. Ng, B. Chen, J. Li, J. E. Han, M. Meyyappan, J. Wu, S. X. Li, E. E. Haller, Appl. Phy.Lett., 82 (2003) 2023
- 9.J. Q. Hu, Q. Li, X. M. Meng, C. S. Lee, S. T. Lee, Chem. Mater.,15 (2003) 30
- 10.L. C. Compos, M. Tonezzer, A. S. Ferlauto, V. Grillo, R. M. Paniago, S. Oliveria, L. O. Laderia, R. G. Lacerda, Adv. Mater., 20 (2008) 1499
- 11.W. I. Park, Y. H. Juh, S. W. Jung ,G. C. Yi, Appl. Phys. Lett., 82 (2003) 964
- 12.N. Audebrand, J. P. Auffredic, D. Louer, Chem. Mater., 10(1998) 2450
- 13.P. D. Coozzoli, M. L. Curri, A. Agostiano, G. Leo, M. Lomasolo, J. Phys. Chem. B, 107 (2003) 4756.
- 14.L. F. Dong, Z. L. Cui , Z. K. Zhang, Nanostruct. Mater., 8 (1997) 815
- 15.P. Ayyub, R. Chandra, P. Taneja, A. K. Sharma, R. Pinto, Appl. Phys. A.,73 (2001) 67
- 16.P. Zu., Z. K. Tang, G. K. L. Wong, M. Kawasaki, A. Ohtomo, H. Koinuma and Y. Segawa, Solid State Commun., 103 (1997) 459.
- 17.Y. W. Heo, V. Vadarajan, M. Kaufman, K. Kim, D. P. Norton, E. R. En, P. H. Fleming, Appl. Phy. Lett., 81 (2002) 3046
- 18.J. J. Wu, S. C. Liu, C.T. WU, K. H. Chen, L. C. Chen, Appl. Phys Lett. 81 (2002) 1312.
- 19.T. Tani, L. M. Adler, S. E. Pratsinis, J. Nanopart., 4 (2002) 337
- 20.R. Liu, A. A. Vertegel, E. W. Bohannon, T. A. Sorenson, J. A. Switzer, Chem. Mater., 13 (2001) 508
- 21.X. M. Sun, X. Chen, Z. X. Deng, Y. D. Li, Mater. Chem. Phys., 78(2003) 99.
- 22.Y. L. Du, M. S. Zhang Y. Deng, Q. Chen, Z. Yin, W. C. Chen, Chin Phys. Lett., 19 (2002) 372
- 23.D. Mondelaers, G. Vanhoyland, H.V. Rul, J.D. Haen, M.K. Van Bael, J. Mullens, L. C. V. Poucke, Mater. Res. Bull., 37 (2002) 901
- 24.Q. S. Yi, X. M. Wu, Z. C. Tan, J. Inorg. Mater., 16 (2001) 620
- 25.N. Sakagami, J. Cryst. Growth, 99 (1990) 905

- 26.H. Nishizawa, T. Tani, K. Matsuka, Committee of American Ceramic Society, (1984) C-99.
- 27.W. J. Li, W. J. Shi, *J. Mater. Res.* 14 (1999) 1532
- 28.T. Trindade, J. D. Pedrosa de Jesus, P. O. Brien, *Mater. Chem.*, 4 (1994) 1611
- 29.T. Yoshida, M. Tochimoto, D. Schlettwein, D. Wohrle, T. Sugiura, H. Minoura, *Chem Mater.*, 11 (1999) 2657
- 30.W. J. Li, W. J. Shi, W. Z. Zhong, Z. W. Yin, *J. Cryst. Growth*, 203 (1999) 186.
- 31.P. Gao, Y. Chen, Y. Wang, Q. Zhang, X. Li, M. Hu, *Chem. Commun.*, (2009) 2762
- 32.J.G.M.S. Machado, F.A. Brehm, C.A.M. Moraes, C.A. Santos, A.C.F. Vilela, J.B.M. Cunha, Chemical, physical, structural and morphological characterization of the electric arc furnace dust, *J. Hazard. Mater. B* 136 (2006) 953–960.
- 33.G. Laforest, J. Duchesne, Characterization and leachability of electric arc furnace dust made from remelting of stainless steel, *J. Hazard. Mater. B* 135 (2006) 156–164.
- 34.A.J.B. Dutra, P.R.P. Paiva, L.M. Tavares, Alkaline leaching of zinc from electric arc furnace steel dust, *Miner. Eng.* 19 (2006) 478–485.
- 35.S.A. Mikhail, A.M. Turcotte, J. Aota, Thermoanalytical study of EAF dust and its vitrification product, *Thermochim. Acta* 287 (1996) 71–79.
- 36.M. Siebenhofer, H. Schweiger, K. Lorber, Upgrading of zinc from galvanic sludge and steel furnace dust, *Sep. Sci. Technol.* 32 (1–4) (1997) 759-773.
- 37.S. Yamada, Y. Hara, Simultaneous recovery of zinc and iron from electric arc furnace dust with a coke-packed bed smelting-reduction process, *Iron Steel Eng.* 75 (8) (1998) 64–67.
- 38.L.Y. Hsiao, Y.H. Wang, and J.H. Wang, "Municipal Mineral Smelter-Ecological Zinc Metal Production Technology Development", in *Proceedings of 2008 International Conference on Eco - Technology*, Nov. 27, 2008, Taipei, Taiwan, pp.341-349
- 39.CNS-2203

廢 PCBs 合成高純度奈米氧化銅

余炳盛*、翁維聰**、林彥廷***、王品嫻***

摘 要

近年來氧化銅被廣泛應用於半導體、電子陶瓷、電子磁性材料等科技產業。本研究以廢印刷電路板(PCBs)取代金屬銅作為合成原料，並搭配一套環保、節能之新技術合成高純度奈米氧化銅。

廢 PCBs 之成份，主要是由 70~90%之玻璃纖維與環氧樹脂等非金屬加上 6~30%之金屬所組成，而金屬部分以銅的比例最高。在傳統處理方法上，廢棄物處理公司均將其經破碎、研磨及靜電分選等處理後，製成銅含量約 80%之粗銅產品，販售至國外煉銅，若欲得到高純度氧化銅產品，需經過純化、熔煉及後續合成等繁瑣製程。

本研究先以硝酸浸置廢 PCBs，並控制其氧化還原電位，以幫助銅的溶出及抑制雜質溶出，將其中之金屬銅轉變為高純度之硝酸銅水溶液，再加入甘胺酸(燃料)形成前驅物，最後加熱至燃點即可合成純度 99%以上、粒徑大小為 20~50 nm 之氧化銅產品。此新技術能避免火法冶煉之污染，減少二氧化碳的產生，節省能源之消耗，並大幅提昇廢棄物資源化之價值，以達到節能減碳，資源永續應用之目的。

【關鍵字】氧化銅、廢 PCBs、GNP 合成法

*國立台北科技大學資源工程所 副教授

**福泰多科技股份有限公司 總經理

***國立台北科技大學資源工程所 研究生

一、前言

目前國際上積極推行廢電機電子設備指令、有害物質限用指令及使用能源產品生態化設計指令草案等三項指令，針對具高污染、有害廢棄物、高耗能等特性的科技產品，明確定出有關降低廢棄電機電子設備、有害物質限用與生態化設計等規定。可見隨著全球化環境保護意識的提升，環境問題已由過去局部性、區域性的範圍，逐漸擴展為全球性的問題，而環保議題也由「污染控制」到「污染預防」更擴及「綠色科技」及「永續發展」。

印刷電路板(Printed Circuit Board, PCB)產業為國內兩大電子工業零件製造業之一，也是台灣近年來資訊電子工業突飛猛進的幕後功臣，該產業不但在產值上高居世界前幾位，且產量逐年持續增加。PCB 產業生產過程與使用後所產生之大量廢 PCB，其組成成分約百分之 70~90 為玻璃纖維與環氧樹脂等非金屬，另外約百分之六至三十為金屬部分，包含金、銀及銅等高回收價值之金屬，其中以銅的含量為最高，隨著電路板之層板越多^[1]，銅含量也越多。

目前對廢電路板之處理方法主要是以火法冶金的方式，回收其中的有價金屬銅。使用火法煉銅技術及其熔爐設備之成本很高，每公噸大約為 1,400~1,600 美元，且其提煉出來的為純金屬銅，就算純度再高，售價也只能達倫敦金屬交易市場的價格。因此國內資源處理業者處理廢 PCB，所得含銅金屬之產物售出價格有限，通常是按純銅金屬交易價格乘以廢 PCB 處理後所得銅含量百分比，另外還需扣除處理費及運費等，故經濟價值不高。而且後續火法冶金可能排放煉銅廢水，造成溪流河川重金屬污染，海域嚴重污染產生分層，其煉銅過程所排放之硫化物毒氣，亦造成空氣嚴重污染。火法冶金所造成的污染，不僅引起煉銅廠周邊居民嚴重反彈，同時也對環境造成無法抹滅的傷害。

因此本研究開發出由廢棄 PCB 中回收銅金屬，並合成高附加價值之氧化銅技術，且此項技術擁有大量處理能力，且能降低處理過程中可能之污染，以落實零污染及零廢棄物，產製綠色產品提升廢 PCB 附加價值，達到資源永續之目標。

二、實驗方法及步驟

本研究以廢棄電路板經過物理破碎及靜電分選後之產物作為樣品，研究流程如圖 1 所示。本研究樣品中含金屬及非金屬等成分，為防止其中因比重

不同而有分層等不均勻之現象，將樣品先經過多次二分器的混合攪拌後再以二分器分裝至小袋，取適量原料進行酸溶步驟，分別以硫酸及硝酸浸置，並設置各項參數(固液比、酸之濃度、溫度、時間)比較銅溶出之效率。接下來對過濾後之液體分別進行燃燒法與沉澱法合成氧化銅之實驗，在燃燒法與沉澱法實驗中，都先以化學藥品進行實驗，待得到最佳參數後，再以廢 PCBs 樣品進行實驗，最後將氧化銅產物以 XRD、SEM、EDS 及 ICP 等儀器進行其成分分析及微結構，評估最具經濟效益且產物精純的方法作為本研究最終實驗流程。

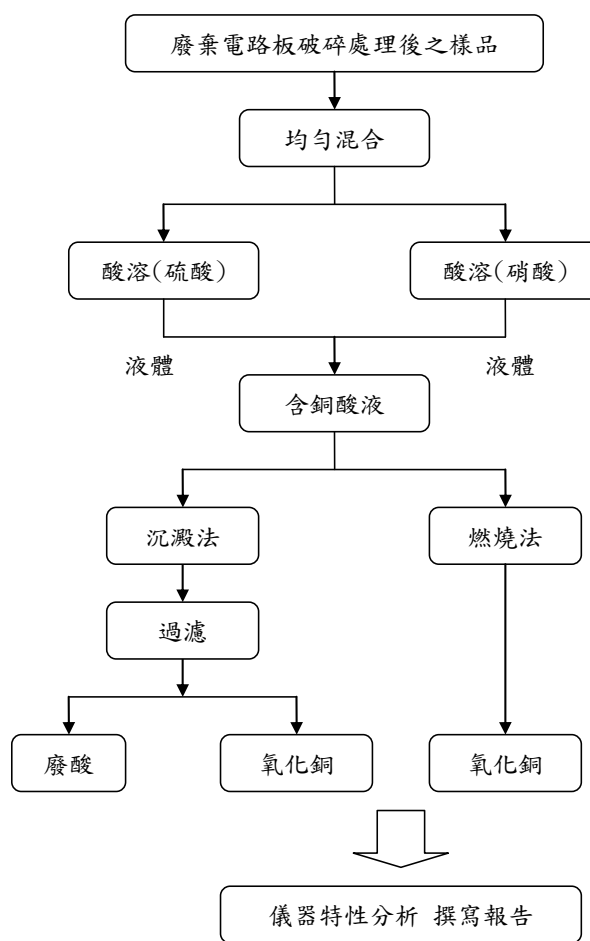


圖 1 研究流程圖

表 1 為酸溶實驗參數表及實驗編號，初始酸液濃度都設定在 1N 及 5N，以比較酸液的不同、溫度及反應時間等參數對實驗之影響。

為了能確實了解硝酸濃度、反應溫度、固液比等實驗參數對於酸溶之影響，本實驗也使用純金屬銅片進行模擬酸溶實驗，實驗編號及對應參數見表 2~3。

表 1 酸溶實驗之參數設定

酸液種類	硫酸								硝酸							
	1N				5N				1N				2.5N			
溫度	20°C		70°C		20°C		70°C		20°C		70°C		20°C		70°C	
反應時間	1h	8h	1h	8h	1h	8h	1h	8h	1h	8h	1h	8h	1h	8h	1h	8h
實驗編號	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8

表 2 銅片酸溶實驗參數表

參數	實驗 A	實驗 B	實驗 C	實驗 C+臭氧	實驗 D1	實驗 D2	實驗 D+臭氧
HNO ₃ 濃度	2.5N	2.5N	2.5N	2.5N	2.5N	2.5N	2.5N
HNO ₃ 體積	250ml	250ml	100ml	100ml	50ml	100ml	100ml
溫度	20°C	55°C	55°C	55°C	55°C	55°C	55°C
固液比	1 : 125	1 : 125	1 : 50	1 : 50	1 : 25	1 : 25	1 : 25
Cu 片規格	2*1*0.63 cm*2 片	2*1*0.63 cm*2 片	2*1*0.63 cm*2 片	2*1*0.63 cm*2 片	2*1*0.63 cm*2 片	4*2*0.63 cm*2 片	4*2*0.63 cm*2 片

表 3 銅片酸溶實驗(調控 ORP 值)參數表

參數	實驗 D3	實驗 E1	實驗 E2
HNO ₃ 濃度	2.5N	2.5N	2.5N
HNO ₃ 體積	100ml	40ml	80ml
溫度	55°C	55°C	55°C
固液比	1 : 25	1 : 20	1 : 20
Cu 片規格	4*2*0.63cm*2 片	2*1*0.63 cm*2 片	4*2*0.63cm*2 片

三、實驗結果及討論

圖 2 為酸溶實驗之結果，由圖 2(a)可觀察到當使用 5N 之硝酸進行實驗時，反應非常劇烈，在實驗過程中不斷冒出黃褐色氣體，鑒於上述反應過於激烈，故在後續實驗將硝酸濃度 5N 更改為 2.5N 進行。而使用硫酸進行實驗時，可發現溶液顏色仍為透明且樣品會行成球狀，故可得知銅並未溶解於酸液中，因此溶解效果不佳，因此後續實驗將以硝酸進行。



圖 2 (a)硝酸 5N 20°C 反應情形 (b) S3 反應結束後情形

接續將探討溫度之變化對於酸溶實驗之影響，結果如圖 3 所示，發現溫度對酸溶之銅的溶解有極大影響，在實驗進行 15 分鐘時，溫度為 55°C 的實驗 B 之溶出率就已是實驗 A 之最終結果的大約兩倍，而最終實驗 B 之溶出收率為實驗 A 的十倍之多，可見溫度在酸溶實驗中是一項非常重要的因素，提高反應溫度可大幅提升硝酸與銅片間的反應速率，所以在後續銅片酸溶實驗中，將溫度固定在 55°C 作為本研究之實驗參數。

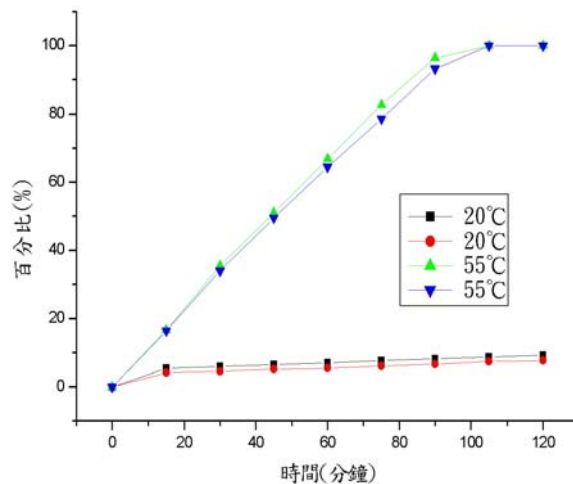


圖 3 不同溫度酸液對銅溶出效果之比較

上述固液比 1 : 125 之實驗 B 中回收率可達 100%，故進行實驗 C 時降低其固液比至 1 : 50，盼能找出最低極限固液比。實驗 C(圖 4)與實驗 B 之曲線大致相同，約在反應進行 90 分鐘後可完全反應完，可見在固液比 1 :

50 時酸液量便綽綽有餘的。由圖 4 也可觀察到，時間與溶出率百分比大致也呈線性關係。

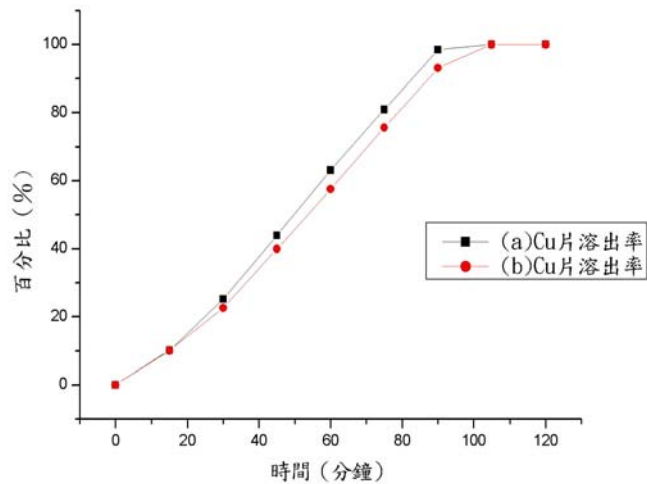


圖 4 實驗 C 酸溶時間與溶出率百分比關係

酸溶實驗過程裡，氧化還原電位(ORP)的變化也是影響實驗結果的重要參數，故由實驗 C 開始，便以 ORP 控制器在反應中每十五分鐘紀錄其 ORP 電位值，觀察酸溶過程中 ORP 值之變化。實驗 C 之 ORP 電位在反應一開始大幅上升，至大約 900 後隨劇烈的反應漸漸下降，隨反應時間越久，ORP 電位也漸趨平穩。觀察此實驗，在酸溶進行的同時，ORP 值會漸下降，當反應越劇烈則 ORP 值下降的速度也越快(表 2)。

表 2 加入臭氧與否之 ORP 電位比較

分鐘	實驗 C	實驗 C+臭氧
0	595	759
15	847	854
30	835	848
45	826	848
60	822	846
75	818	858
90	816	849
105	--	848
120	--	847

比較實驗 C 與實驗 C+臭氧兩部分之結果(圖 5)，明顯看出在固液比 1:50 情況下，持續通入固定流量的臭氧雖然使 ORP 電位值穩定(表 2)，但酸溶效率大幅降低至原先的一半左右，如此並不能有效提升酸溶實驗反應速率，由此可得知，持續通入固定流量的臭氧對於本實驗並無幫助。

酸溶反應在此固液比 1:50 情況下，反應速率快且持續至反應結束，並可完全將樣品酸溶，當通入臭氧後會使 ORP 值上升，且穩定在 850 左右，與實驗 C 的 ORP 值 820 左右比較，發現溶出率在較低之 ORP 值較好，因此可得知，隨臭氧量上升至 850 之 ORP 值，並不是酸溶反應合適的環境，故後續調控 ORP 值之實驗，將以未通入臭氧反應中溶出率較好的 ORP 值範圍為基礎。

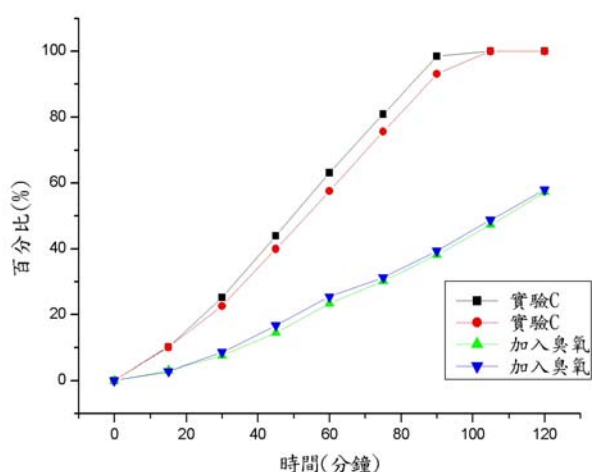


圖 5 加入臭氧與否酸液對銅溶出效果之比較

在實驗 C 固液比 1:50 情況下可將銅片完全酸溶，所以實驗 D1 再將固液比降低至 1:25(圖 6)，銅片(a)溶出率 92.8%，銅片(b)溶出率 92.4%，發現相較於前述之固液比 1:125 及 1:50 狀況下溶出率些微降低，曲線至 60 分鐘後逐漸平緩，不似上述實驗 B 及 C 呈線性關係，此實驗需要較多時間反應才可完全酸溶。

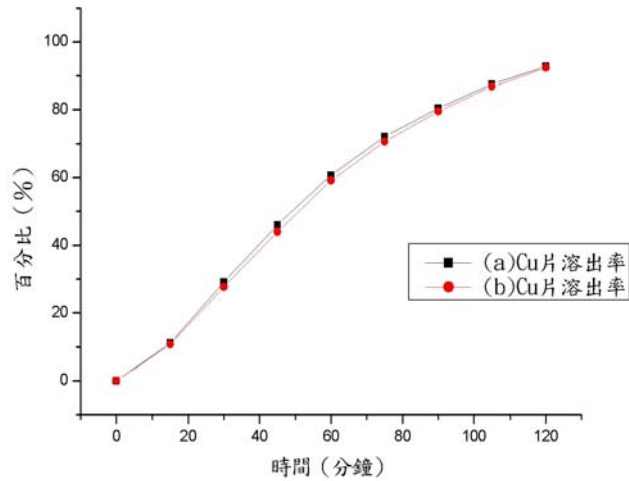


圖 6 實驗 D1 酸溶時間與溶出率百分比關係

實驗 D2 可與實驗 D3 作一比較，實驗 D3 在相同參數條件下控制其 ORP 值，由圖 7 可看出經由 ORP 值的調控，酸溶反應速率大大提升，溶出率曲線也非常穩定的成長，並且在不到兩小時即已反應完成，證明此實驗選取的 ORP 值範圍 810 至 825，對於酸溶反應極為適合，本研究對後續樣品之酸溶實驗，也將以此 ORP 值範圍作為本研究之實驗參數。

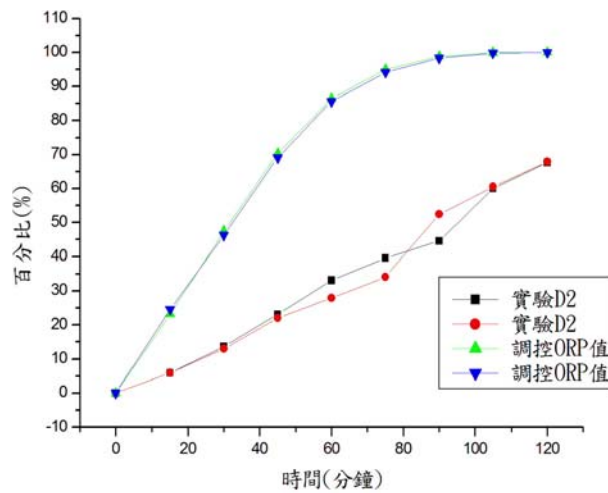


圖 7 調控 ORP 值與否酸液對銅溶出效果之比較

在上述討論中發現以固液比 1:25 也可將銅片完全酸溶，故再將固液比降低為 1:20 並調控其 ORP 值以觀察結果，由圖 8 可發現銅片(a)溶出率 76.84%，銅片(b)溶出率 74%，都較實驗 D3 固液比 1:25 之 100% 低出許多，反應在前 45 分鐘內溶出率上升較快，隨時間增加曲線逐漸平緩，因此實驗固液比的降低，反應中酸液不夠，使酸溶效率降低。

實驗 E2 為固液比 1 : 20 酸液及銅片皆放大兩倍後(圖 8)，銅片(a)溶出率 52.63%，銅片(b)溶出率 51.29%，回收率相較於實驗 E1 又降低更多，可見在固液比 1 : 20 之下，酸液對於實驗來說是極度不足夠的，若以此比例進行實驗，實驗之時間將會拉長許多，故在後續樣品之酸溶實驗上，將以能完全溶解銅片之最小固液比 1 : 25 來進行。

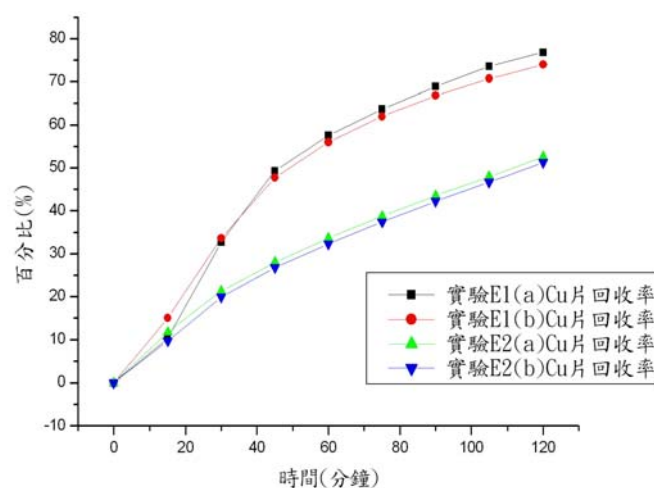


圖 8 相同固液比之縮放其酸液對銅溶出效果之比較

接續將探討氧化銅之合成，本實驗先使用硝酸銅溶液進行模擬並搭配沉澱法及溶液燃燒法進行氧化銅合成，首先探討沉澱法，本實驗以 0.1M 氫氧化鈉與氨水作為沉澱劑，滴定加入與少量去離子水混合之硝酸銅溶液，直至出現混濁伴隨著深色沉澱物，經過烘乾後，經水洗所得到的粉末進行 XRD 分析，由結果(圖 9)可得知使用沉澱法無法以單階段製程合成純相的氧化銅，故後續使用溶液燃燒法進行合成。

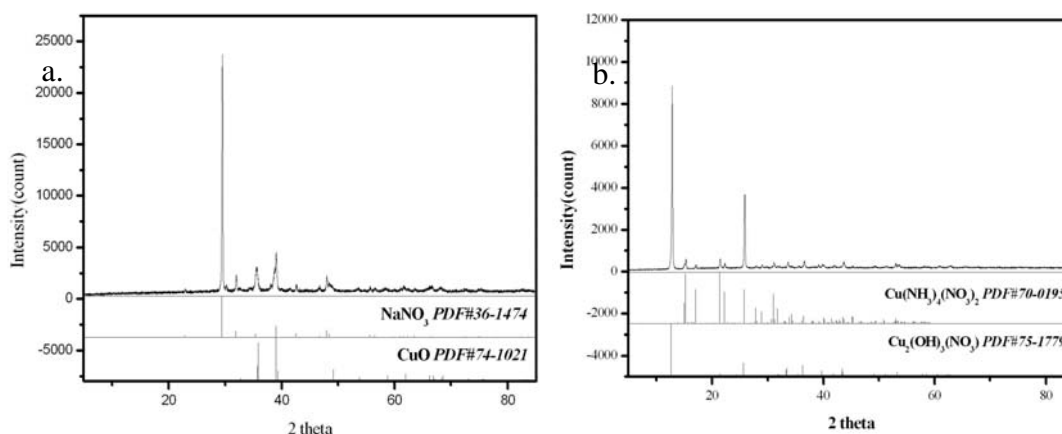


圖 9 沉澱法 a.氫氧化鈉 b.氨水所得產物 CuO 之 XRD 圖

圖 10 使用燃燒法在 F/O 比=0.5、0.56、0.6、0.7 條件下合成氧化銅之 XRD 圖，由上往下依序為 0.5、0.56、0.6、0.7。由此四種比例比較的結果可發現，當 F/O 比為 0.7 時，產物成份是由 Cu₂O 與 CuO 同時存在，而隨著比例越小(圖中越向上)，Cu₂O 相逐漸消失，在 F/O 比為 0.6 時，產物以 CuO 為主，至 F/O 比 0.5 時，Cu₂O 雜相幾乎完全消失，當燃料 Glycine 過多時，也就是超過化學計量比時，過多的燃料(強還原劑)會將二價銅離子還原，甚至還原為零價之銅金屬，就如上述 F/O 比為 1 的實驗中，產物為銅金屬，當 F/O 比為 0.7 及 0.6 時，多餘的燃料，將二價銅離子逐漸還原為一價，使產物中出現 Cu₂O 雜相，不過隨 F/O 比降低至化學計量比 0.5，產物即接近單純之 CuO 相。

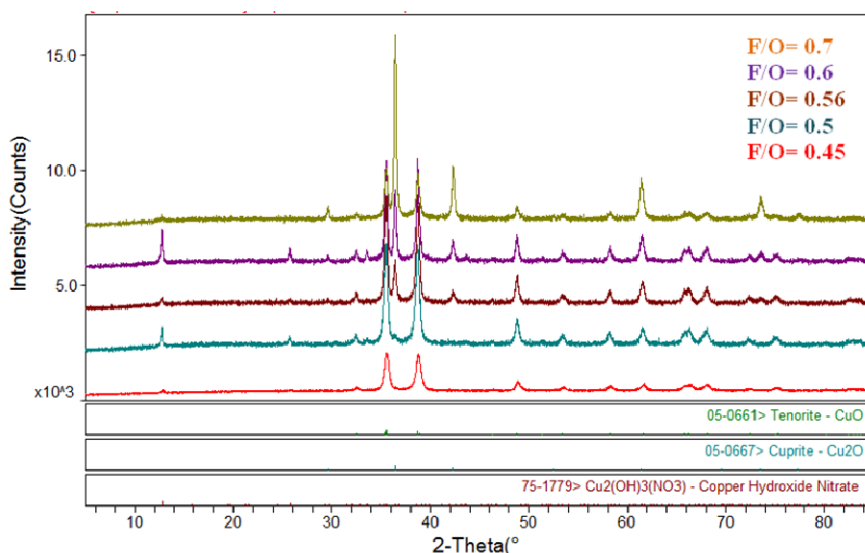


圖 10 F/O 比=0.5、0.56、0.6、0.7 之氧化銅 XRD 圖

由上述銅片酸溶實驗中，得到之最佳參數(表 3)，以此用於本研究之樣品上，再參考前述燃燒法得到之較佳 F/O 比 0.45，完成此實驗。

表 3 酸溶之最佳參數

HNO ₃ 濃度	2.5N
HNO ₃ 體積	50ml
溫度	100°C
固液比	1 : 25
ORP 值	810~825

表 4 為使用真實樣品，在不同燃料比下所合成之結果，由結果可得知使用真實樣品所合成之結果與模擬實驗相同，燃料比之多寡會影響產物之價態。

表 4 樣品燃燒法各實驗參數與結果






F/O	0.45	0.5	0.56	0.6	0.7	1
成份	CuO	CuO	CuO Cu ₂ O	CuO Cu ₂ O	CuO Cu ₂ O	Cu
圖片						
顏色	黑色	黑色	黑色	深咖啡	咖啡	金屬光澤

圖 11 為當 F/O=0.45 時，產物之 XRD 圖，由結果可觀察到，在此條件下產物為單純的 Tenorite CuO 相，並未有任何雜質，因此可得知，使用溶液燃燒法能成功合成純相之氧化銅產品。

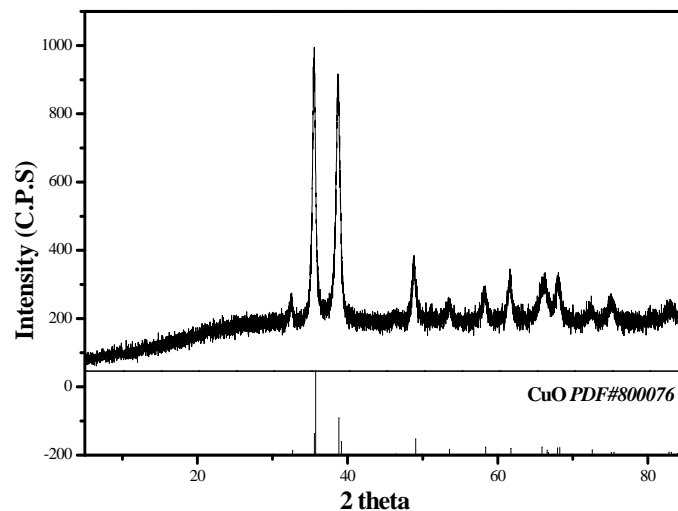
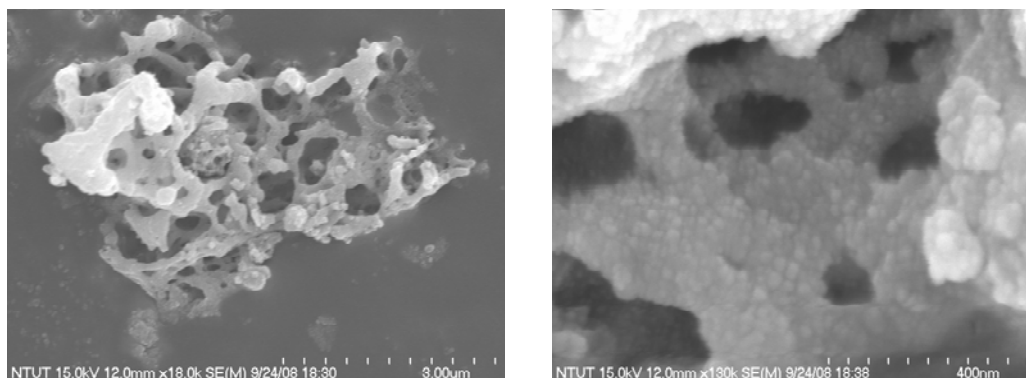


圖 11 F/O 比=0.45 之氧化銅 XRD 圖

圖 12 為以 F/O 比=0.45 使用燃燒法所合成之氧化銅粉末 SEM 圖，其中 (a) 圖低倍率下，其外觀為海綿蓬鬆狀，其中可見許多氣孔，此乃反應時氣體散失所導致。觀察 (b) 圖，可清楚看到 CuO 結構是由許多直徑約 20~40nm 之顆粒所組成，其顆粒大小一致性高，顆粒間也緊密結合。



a.

b.

圖 12 F/O 比=0.45 水洗後之氧化銅 SEM 圖(a)低倍率(b)高倍率

由圖 13 得知，F/O 比=0.45 之產物，經 EDS 元素半定量分析，其中組成純粹為 Cu 及 O 元素，並無其他成分，由此驗證以比例 F/O 比=0.45 混合 Glycine 與酸溶後之酸液所得到之氧化銅，不僅成分中無任何雜質，粒徑大小也為奈米等級。

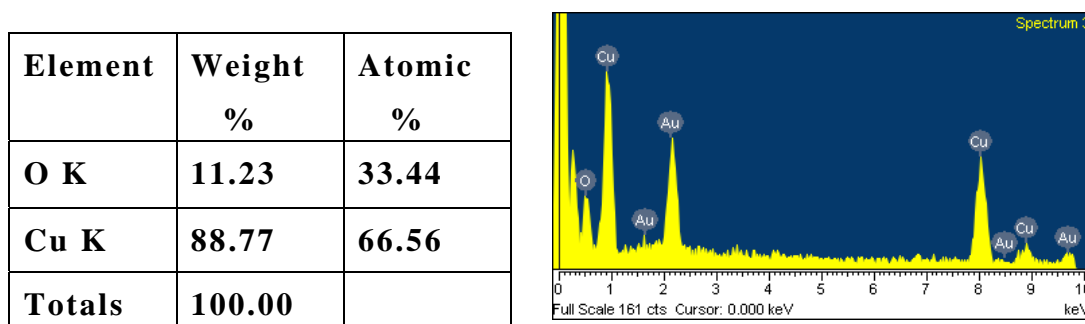


圖 13 F/O 比=0.45 之氧化銅元素分析

四、結 論

- 1.本研究可透過溶液燃燒法，成功的從廢 PCBs 中合成出奈米級且高純度之氧化銅產物。
- 2.PCBs 酸溶之最佳參數為：硝酸濃度 2.5N、固液比 1：25 和 ORP 值介於 810~825 的條件下，可使原料廢 PCB 碎屑中銅金屬溶出率達最佳值。
- 3.使用溶液燃燒法在燃料/硝酸鹽(F/O)莫耳數比為 0.45 的條件下，可得到純相 CuO，隨著 F/O 比的升高，產物逐漸由 CuO 轉變為 Cu。
- 4.合成之 CuO 呈海綿蓬鬆狀，內部因氣體溢散形成許多氣孔，其顆粒大小均勻一致，直徑約 20~40nm。

5. 實驗中由酸溶至以燃燒法合成氧化銅，酸液部分完全使用，不會對環境造成負擔，相較於目前對廢 PCB 的處理方式，本研究為一創新且具潛力綠色生產製程之方式。

五、參考文獻

1. 鄭智和，「廢印刷電路板及邊料資源化技術」，工研院環安中心，台灣環保產業雙月刊，第十六期，2002。

議程十

1. EuP生態化設計導入數位機上盒產業之效益分析

張蕙蘭、朱志弘、黃文輝、劉子銜、劉元成

2. 產品生命週期盤查表的建立

朱志弘、林馨如、黃英傑、黃文輝

EuP 生態化設計導入數位機上盒產業 之效益分析

張蕙蘭*、朱志弘*、黃文輝**、劉子銜**、劉元成 ***

摘 要

本研究是藉由推動「清潔生產」，協助數位機上盒產業因應歐盟生態化設計指令(Ecodesign Directive, EuP指令)，以提升國內綠色競爭優勢，建立國內數位機上盒產業永續發展的基礎。

國內數位機上盒研發設計製造大廠；兆赫電子股份有限公司(以下簡稱兆赫公司)；是日系一線品牌大廠Sony、Toshiba、Pioneer及Sharp的供應鏈，為因應歐盟EuP指令的要求，以其數位機上盒為標的產品，進行產品生態化設計(Eco-design)的建置工作。由工業技術研究院(以下簡稱工研院)協助以LCA(Life Cycle Assessment)的評估方法，評估標的產品的生命週期中耗用的能資源及對環境的衝擊。由研究結果顯示本標的產品在使用過程中所耗用的能源最高，故本生態化設計最重要的方向，便是如何優化數位機上盒的節能系統。

兆赫公司標的產品經由生態化設計所達成的效益包括：減少能耗50%，減少原物料使用10~25%，每台標的產品回收率增加5~10%、減少環境負荷增加環境效益達10~50%以上。

本文主要介紹此標的產品導入生態化設計的程序、產品生態化設計可行性及改善之效益分析，以提供國內相關產業因應歐盟EuP指令要求之參考借鏡。

【關鍵字】EuP 生態化設計指令、生命週期思維、生態化設計、數位機上盒

*工業技術研究院 能源與環境研究所 副研究員

**工業技術研究院 能源與環境研究所 研究員

***兆赫電子股份有限公司 品保處協理

一、前 言

隨著全球氣候變遷、臭氧層破壞等環境議題的發酵，大眾消費的觀念也漸漸轉變成會注意產品的環境衝擊，使得環保議題與貿易市場機制的結合，對我國產業帶來新的挑戰和機會。尤其以歐盟為首，率先制定一系列關於產品的環保法規如 ELV, RoHS, WEEE, PPWD, IPP & EuP...等，都在致力於減少產品對環境可能產生的衝擊。其中更以 EuP 指令影響的層面及範圍最為廣泛，歐盟 EuP 指令已於 2005 年 8 月 11 日生效，將制定各類產品的實施方法(Implementation Measures)，以規範生態化設計要求供產業遵循。產品需符合 EuP 指令要求，並取得 CE(CE Marking)標示，方可在歐盟市場自由銷售與流通。歐盟官方目前分三階段管制 27 類產品，相關產品資料如表 1 所示。於 2008 年已完成評估研究，且已公告電機電子產品待機及關機模式之能耗、簡易型數位機上盒等實施方法；燈具、外部電源供應器等也完成實施方法草案，並於 2010 年 1 月開始管制輸入歐盟之待機及關機模式相關產品，對我國出口為導向的產業而言，將是更嚴峻的挑戰。

表 1 優先管制之 27 類產品

期程	類別	EuP 管制產品	類別	EuP 管制產品
第一階段公告	1	鍋爐及多功能性鍋爐(瓦斯/石油/電氣)	8	辦公室照明設備
	2	熱水器(瓦斯/石油/電氣)	9	街道照明設備
	3	個人電腦(桌上型及筆記型)及螢幕	10	居家空調及通風設備(包含內建式與分離式)
	4	影印機、傳真機、印表機、掃描器、多功能事務機	11	電動馬達(1~150kW)及抽水幫浦(商用大樓/飲用水/食品業/農業)、建築物循環系統、通風系統風扇(非住宅)
	5	消費性電子產品：電視(包含類比及數位技術之CRT、LCD、電漿、背投影式等)	12	商用電冰箱及冷凍櫃(包含冷卻系統、陳列櫃、自動販賣機等)
	6	EuP指令管制範圍內所有待機與關機模式下仍產生能源耗損之產品(非列於優先管制類別者)	13	家用電冰箱及冷凍櫃
	7	電池充電器及外部電源供應器(非使用於第三類別)	14	家用洗碗機及洗衣機
第二階段公告	15	小型固態燃料焚化設施(Solid fuel small combustion installations)	18	數位機上盒(Complex TV set top boxes)
	16	乾衣機(Laundry driers)	19	家用照明設備(Domestic lighting)
	17	真空吸塵器(Vacuum cleaners)		

表 1 優先管制之 27 類產品(續)

期程	類別	Eup 管制品	類別	Eup 管制品
三階段公告	20	室內加熱產品 (Local room heating products)	24	專業洗衣機、乾洗機和洗碗機 (Professional washing machines, dryers and dishwashers)
	21	使用熱氣發散之中央供熱產品(熱電聯產系統除外)(Central heating products using hot air to distribute heat (other than CHP))	25	非服務業使用之咖啡機 (Non-tertiary coffee machines)
第三階段公告	22	家用和商用烤爐(電、氣體、微波)(Domestic and commercial ovens (electric, gas, microwave), including when incorporated into cookers)	26	待機下有能源損耗之網通設備 (Networked standby losses of EuPs)
	23	家用和商用壁爐擱架及燒烤架 (Domestic and commercial hobs and grills including when incorporated into cookers)	27	家用不斷電系統 (Domestic uninterruptable power supplies(UPS))

參考資料來源：清潔生產資訊網 2008-10-18

依照全球新興的綠色潮流，企業的環保實力及綠色產品的開發，是未來的核心競爭力，兆赫公司掌握此趨勢契機，主動參與 97 年度經濟部工業局的 EuP 推廣輔導，進行標的產品生態化設計訓練，建立產品可改善的策略與方案。歐盟 EuP 指令自 2009 年起，實施方法陸續公告與各國法令完備啟動，工研院會持續協助產業因應 EuP 符合性問題，以本文兆赫公司數位機上盒，進行 EuP 生態化設計導入的經驗，及效益分析展現其成果，期可提供作為國內相關產業因應歐盟 EuP 指令之參考借鏡，更盼望強化帶動產業升級與轉型。

為了協助兆赫公司因應歐盟對於輸歐產品的節能要求，讓產品在 EuP 指令管制下，能繼續在歐盟流通，因此藉由 13 場教育訓練及現場輔導，來建立產品生態化設計符合性作業程序；以及協助進行供應鏈 LCI(Life Cycle Inventory, LCI)盤查，來建立產品 Eco-profile 的完整資料。相關作業程序如圖 1 所示：

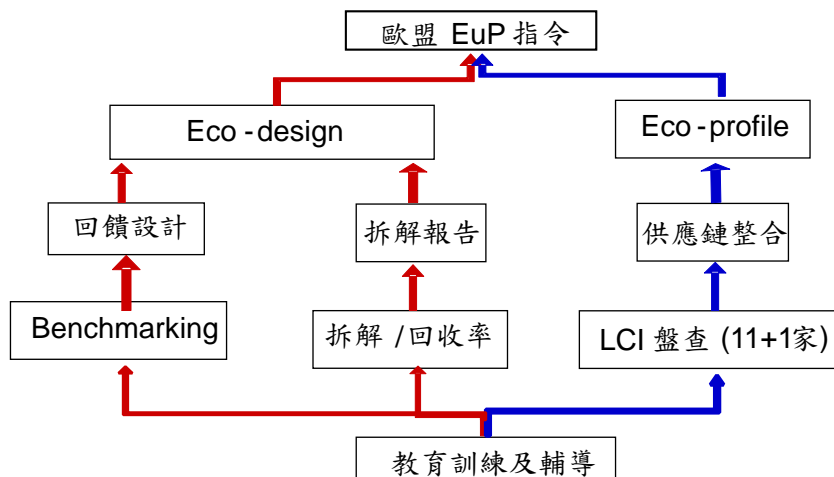


圖 1 生態化設計符合性作業程序

二、輔導程序

兆赫公司選擇數位機上盒 (Telesystem, ZMT-931TS)，進行 EuP 生態化設計。其 EuP 輔導程序包括：1.需求確認；2.實施方法，建立生態化基準 (Benchmarking) 資料；3.產品生態化設計；4.LCI 盤查，建立產品生命週期的基本資料；5.完成符合性文件資料；6.成果推廣。

EuP 輔導之程序詳敘如下：

- 1.需求確認：與兆赫公司溝通確定標的產品，並確認整個 EuP 輔導過程之目標以符合 EuP 指令要求為目標。

參考歐盟 EuP 指令對數位機上盒實施方法的時間表，如圖 2 所示。2009 年 2 月 5 日歐盟官方公報 (Official Journal of the European Union) 正式公佈 EuP 指令管制產品—簡易型數位機上盒 (simple set-top boxes, SSTBs) 實施方法 (COMMISSION REGULATION (EC) No 107/2009)。且目前歐盟執委會將分別於 2009 年 10 月 9 日及 15 日召開第 14 次及第 15 次 EuP 指令生態化設計諮詢論壇，將討論包括複雜型數位機上盒等 4 項產品之生態化設計要求，作為後續 EuP 指令實施方法制定參考，預計複雜型數位機上盒實施方法將會在 2010 年左右公佈實施方法。

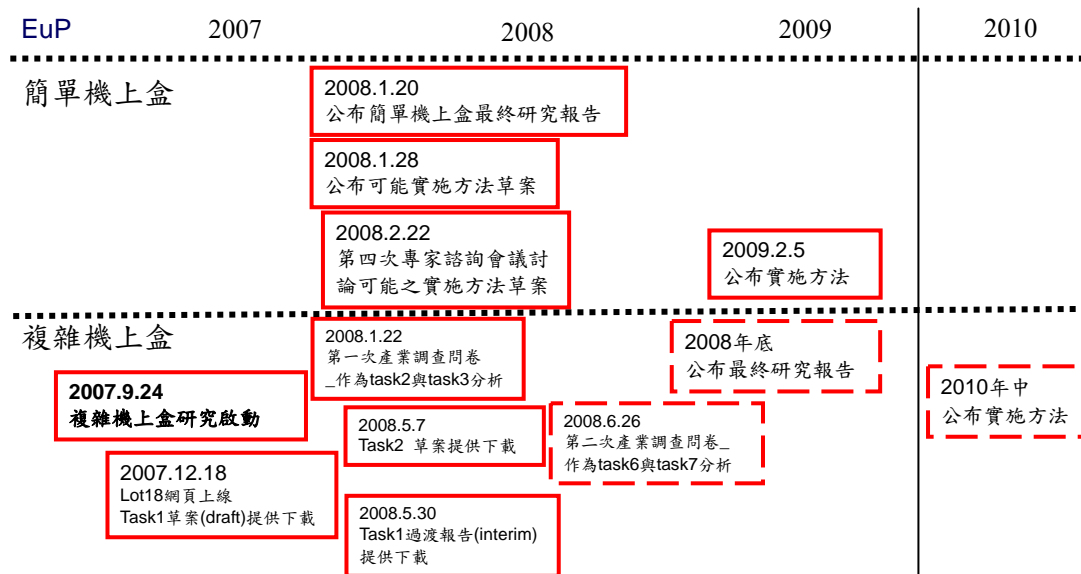


圖 2 歐盟 EuP 指令對數位機上盒實施方法的時間表

兆赫公司(ZINWELL)所選定的標的產品為 EuP 指令優先管制的第 18 類產品，數位機上盒(Telesystem, ZMT-931TS)是屬於複雜型數位機上盒，是國內佔外銷產值大的產品，及早導入 EuP 生態化設計之輔導程序，除可事先掌握國際脈動，而且可減少因 EuP 指令要求之新設計導入、生命週期評估、產品符合性評估等額外的成本支出。

- 實施方法：依客製化需求，規劃 EuP 生態化設計之輔導課程，藉由教育訓練及現場輔導，進行標的產品—數位機上盒(Telesystem, ZMT-931TS)生態化基準(Benchmarking)資料建立。

配合兆赫公司實際生產營運時程，及 EuP 生態化設計輔導所需之基本認知，EuP 指令相關內容，應用工具等，規劃 13 場訓練課程。同時亦邀請外部專家顧問蒞臨指導，增加課程深度及廣度。相關 EuP 生態化設計之輔導課程內容、時間及主講者規劃參考表 2 所示。兆赫公司之標的產品為數位機上盒，類別為「消費性電子產品」(屬於 WEEE 指令的第四類)，將以此相關類別之產品為搜集/彙整相關環保規範/標章之範圍。例如：

EuP_Lot_18 的先期研究報告中的研究資料等。並廣泛蒐集國際大廠(如 Humax、Opentel 等)針對 STB 之生態化設計規範，做為後續改善參考。

表 2 EuP 生態化設計之輔導課程內容、時間及主講者規劃

No	日期時間	課程內容	主講者
1	97年4月16日(三)	歐盟 EuP 指令推廣輔導計畫	工研院
2	97年4月25日(五)	Kick-off 因應 EuP 指令輔導計畫簡要說明	工研院
3	97年5月9日(五)	兆赫標的產品 Benchmarking review-1	工研院
4	97年5月16日(五)	LCA 教育訓練： 1.完成 Eco-profile 流程說明 2.Eco-profile 盤查作業說明	專家顧問
5	97年5月30日(五)	兆赫標的產品 Benchmarking review-2	工研院
6	97年6月19日(四)	生態化設計(Eco-design)教育訓練－原則及程序	工研院
7	97年6月20日(五)	生態化設計(Eco-design)教育訓練－策略、方案之實作	工研院
8	97年6月24日(二)	產品實務拆解及設計回饋研討－產品拆解	工研院
9	97年6月27日(五)	產品實務拆解及設計回饋研討－拆解回饋設計研討	專家顧問
10	97年7月4日(五)	產品實務拆解及設計回饋研討－拆解後回收率研討	專家顧問
11	97年9月24日(三)	Eco-Profile 製備討論(DoITPro 軟體操作介紹)	專家顧問
12	97年10月2日(四)	標的產品生態化設計評估報告製備討論	工研院
13	97年10月14日(二)	Eco-Profile 製備討論	工研院、專家顧問

3. 產品生態化設計訓練

實際進行兆赫公司標的產品生態化設計訓練，包括：標的產品拆解、3R 回收率計算及進行生態化設計評估等，相關流程參考圖 4 及圖 5 所示。

(1) 產品拆解原則

依據歐盟 WEEE 指令之精神，EEE(Electronic and Electrical Equipment)產品回收處理之程序分為兩階段：

- 先移除產品內的流體物質與公告需預先處理的項目(Annex II)，包括：所有的液體、含有多氯聯苯(PCB)的電容器、含有水銀的組件(如開關或者背光燈)、電池、手機的印刷電路板；其他產品之印刷電路板其面積大於 10 cm²、墨水匣、碳粉匣...等。
- 再進行產品組件、材料的回收再利用(recovery)認定

數位機上盒為 WEEE 所規範之第四類消費性設備產品，其 reuse and recycling rate 需達到 65%，recovery rate 需達到 75%之目標，而多出來的 10% 即採用焚化方式，以熱能回收之定義將產品進行回收再利用。

依據 EU 2002/96/EC 附錄二之拆解程序，先將該規範中要求選擇性處理(Selective Treatment)之組件優先拆除，其餘組件則參考產品組裝階層進行逆向拆解，相關流程參考圖 3 所示。

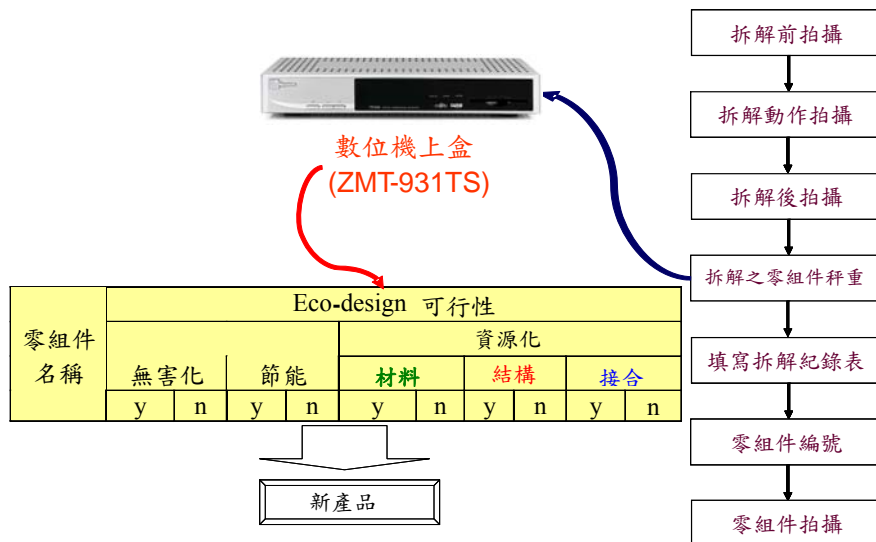


圖 3 兆赫公司標的產品拆解及生態化設計可行性評估

(2) 3R 回收率計算

依據產品回收認定準則，將拆下來之各部件進行其回收可能性之研判，配合回收率計算表單，計算出該產品之預估回收率。

• 產品回收率認定

依據討論確定之回收率計算原則，認定 STB 產品之可能回收率，由回收端統計之可能回收之材質計有：

- 金屬類：鐵件、非鐵件(銅、鋁、鉑、金...等)
- 熱塑性塑膠：大於 25 g 並依 ISO 11469 標示之熱塑性塑膠；ABS、PC、PVC、PP、PE...等。
- 熱固性塑膠：只限於熱能回收
- 玻璃類
- 其它：如 PCB、motor、bundle wire....

(3) 生態化設計評估

標的產品零組件生態化設計架構參考圖 4 所示。首先就數位機上盒拆解後之零組件，進行：無害化(是否符合 RoHS, EMI, NOISE...); 節能(省電效率更高資源化); 資源化(材料：可回收)等的判斷。對於零組件接合處，需進一步判斷：結構是否易拆解、接合的方式是否使拆解更省

時間、是否為單一材質易分離回收，記錄其可行性。並參考生命週期策略輪，如圖 5 所示，提出生態化設計可行性作法建議進行討論。

(4) LCI 盤查：進行 11 家供應商(合計其產品零件重量比例 >87%，如表 3 所示)及兆赫公司，標的產品 LCI 盤查，建立產品生命週期的基本資料。

於生命週期盤查部份，採用 ISO 14040：2006/ISO14044：2006 生命週期評估國際標準系統之方法，對收集之數據皆依據 ISO 14048 逐一確認數據品質、格式、內容，其盤查及數據處理內容包括：

- A. 盤查準備：LCI 執行流程如圖 6 所示，分別要求系統廠及供應商準備製造流程示意圖、盤查表單。
- B. 蒐集數據：如盤查表單中所列內容，收集製程投入及產出，並註明數據來源。
- C. 數據整理：對收集之數據逐一確認，應包括單位轉換確認、同類別數據整合確認等，當數據收集需調整時，可適度修正系統邊界。

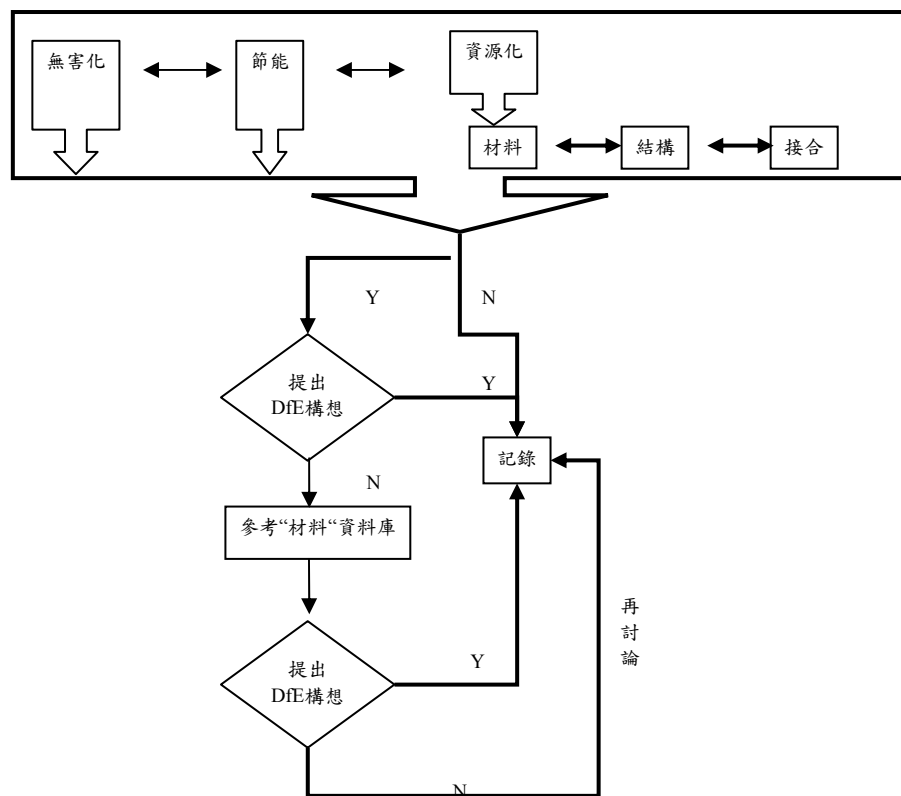


圖 4 零組件生態化設計架構

新概念發展

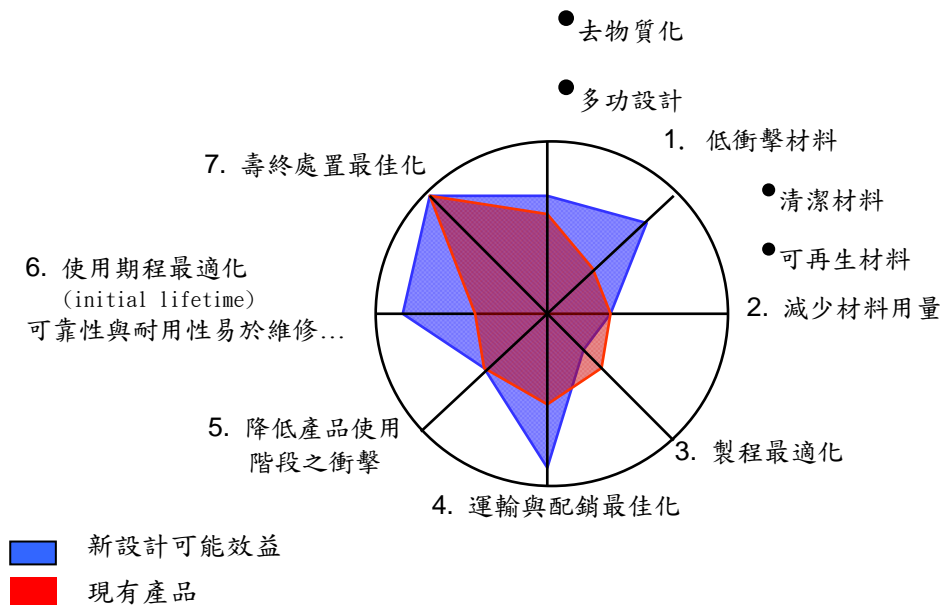


圖 5 生命週期策略輪

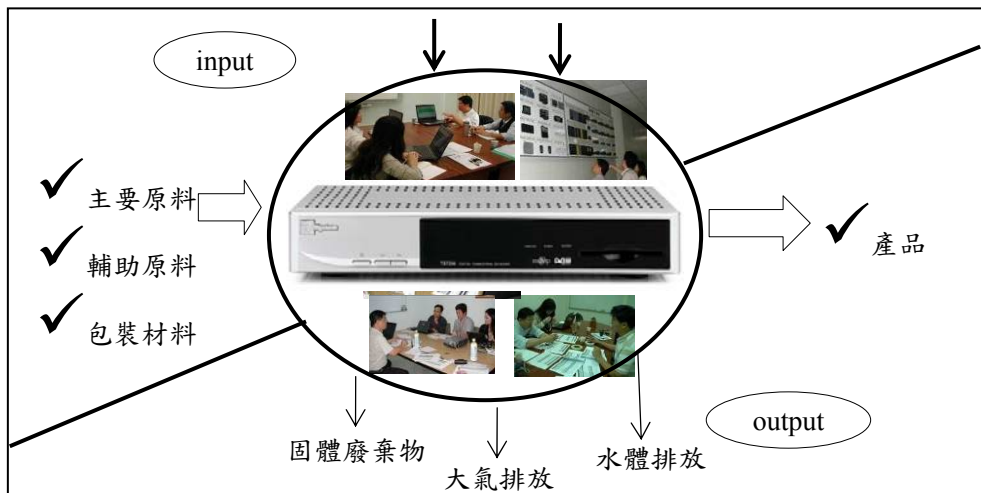


圖 6 LCI 盤查內容

表 3 LCI 盤查資料(供應鏈產品比例)

序號	供應商供應部件	產品比例 (%)	比例合計 (%)
1	Cover/real Panel	40%	40%
2	PCB	15%	55%
3	Power Supply	15%	70%
4	Carton	2%	72%
5	Front Panel	5%	77%
6	Jack	2%	79%
7	Bead	2%	81%
8	Cable	3%	84%
9	SCREW	1%	85%
10	IC	1%	86%
11	MLCC	1%	87%

(5)完成符合性文件：Eco-profile 執行流程參考圖 7 所示。

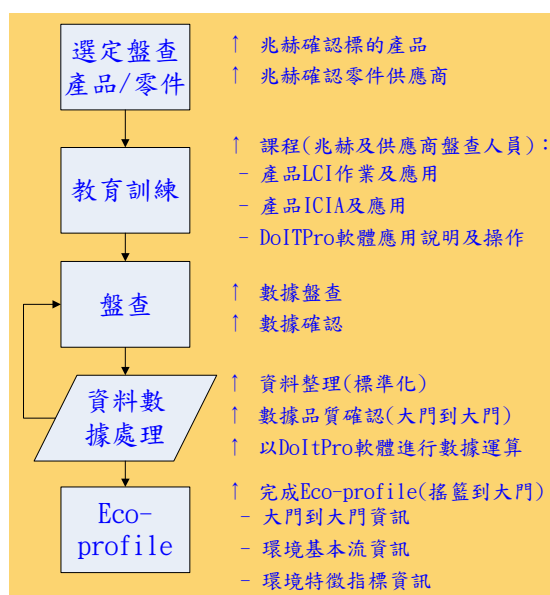


圖 7 Eco-profile 執行流程

配合產品生命週期盤查資料，及本土資料庫之生命週期評估軟體「DoITPro」，可計算生命週期中各種污染排放、能源、資源消耗及環境衝擊評估。

兆赫公司經由 EuP 符合性作業程序的執行,可完成 EuP 指令之符合性文件。

EuP 指令之附錄四對於符合性文件要求包括下列資料：

- A.產品資訊說明
- B.說明產品可改善的空間之環境評估研究的結果
- C.生態特性說明
- D.環境設計規格與環境相關之產品設計規範要素
- E.法規符合性適用的標準或其他用於證明符合性的協調標準或替代方法的清單
- F.使用者及處理機構所需要的訊息(如回收資訊、產品拆解資訊)
- G.符合生態化設計規範之量測結果

對於符合性自我評估：內部設計控制(如 Annex IV 資料)，其內容包括：1.適切環境評估結果；2.Eco-Profile；3.符合現有的法規要求；4.Eco-design 必需依據實施方法規範；5.資訊揭露；6.測試報告等。則可進行 CE 符合性宣告。

三、符合性文件製備

1. 產品資訊說明

ZINWELL 兆赫電子股份有限公司

標的產品：數位機上盒(Telesystem, ZMT-931TS)

銷售地點：歐洲(100%)

產量/產值：15 萬台 / 3 億元(2007)

表 4 兆赫標的產品資訊說明


產品規格 /特性	Standard: DVB-T/ COFDM Flash: 8Mbytes DDRRAM: 64Mbytes Middleware: MHP1.0.2 CAS: Nagra/Irdeto/Conax Output System: PAL Video Format: SD, MPEG-2 MP@ML Audio Format: MPEG (Layer I & II) Outputs: TV/VCR SCART, SPDIF Optical Return Path: V.90 Modem	產品外觀照片
		

表 4 兆赫標的產品資訊說明(續)

產品壽命	5 years (normal operation)	
國內外產品環保規範與客戶要求	應符合之環保法規/規範/驗證/檢驗標準名稱	管制內容摘要
	EU : RoHS	鉛、汞、六價鉻、PBB、PBDE<1000ppm；鎘<100ppm
	EU : CE Marking	EN55013:2001 +A1:2003+A2:2006 EN55020:2002+A1:2003+A2:2005 EN61000-3-2: 2000 EN61000-3-3: 1995+A1:2001 IEC61000-4-2 Edition 1.2: 2001-04 IEC61000-4-4 : 2004

2. 產品可改善的空間(Benchmarking-1)









表 5 兆赫標的產品可改善的空間

綠色考量面相關準則	RoHS	WEEE	PPWD	標的產品符合	備註
使用到的材質及其相關組件可使用工業回收		◎		V	B078
產品研發實應考量材質之回收性		◎		V	---
塑膠組件超過25g，不含有重金屬Cd與Pb	◎			◎	B071
電子組件不含重金屬Hg與重金屬Cd	◎			◎	B071
2008.12.31前，包含在包裝廢棄物主材料其最小再生目標：塑膠以重量計28.5%。			第6-1-5-4條	◎	LDPE

模式	現在-2008/12/31	2009/1/1-2009/12/31	標的產品能力檢核(2008)
	上限值(W)		
Standby passive (if specified) 被動待機	3	3	X
Standby active 主動待機	6	5	6
單個外加功能 上限值(W)			
Internal hard disk drive Energy Star 安全 (v 2.0)	2.2	2.2	

實施階段	(2009.1.1~2011.1.1)	(2011.1.1~)	
年度允許能源消耗 (KWh/年)			
基本功能時的要求	27	22	22

外加功能		年度允許能源消耗 (KWh/年)	
------	--	------------------	--

1	國別	STB國際大廠	網址				
	Korean	Topfield	http://www.topfield.co.kr/	TF 7710 HTCI		Table 2.1: Power specifications Input voltage: 90 to 250V AC, 50/60Hz Power consumption: 23W at maximum in operation 7W in standby	Table 2.2: Physical specifications Size: 340 x 60 x 285 mm Weight: 2.44kg Operating temperature: 0 to 45 °C Storage relative humidity: 5 to 95%
	歐洲+北美	ADB	http://www.adbglobal.com/	ADB-3800/10T		Weight: 1.4 kg (WxDxH): 290 x 210 x 55mm	ADB-5100TX 
	UK	Humax	http://www.humaxdigital.com/global/	VA-FOX T		Power Consumption Operation mode: Max. 10 W Stand-by mode: Max. 5 W Size 260 mm X 50 mm X 182 mm Weight (Net) 1.2 kg	F2-1600T 
	Korean	Opentel	http://www.opentel-austalia.com/ http://www.satellite-heaven.de/Receiver/opentel.htm	ODT 5000C (Conax)		Power Supply Power Consumption: Max. 35W Net Weight: 2.8Kg Dimensions: 300(W)x210(D)x60(H)mm	
	歐洲	Motorola	http://www.motorola.com/about.jsp				
	USA	Cisco Systems	http://www.cisco.com/en/US/hmpgs/index.html				
	中國大陸	ChangHong (長虹)	http://www.changhong.com.cn/changhong/h2c2.htm			尺寸(長*寬*高):415mm*298mm*108mm 量: 2.8Kg	重
	法國	Thomson	http://www.thomson.net/GlobalEnglish/Pages/default.aspx			GENERAL DATA Safety and EMC: Regulations compliant (CE marking) MTBF: > 60000 hours Operating temperature range: +5°C to +45°C Main voltage: Wide range 95-264 Volts (49/62 Hz) Power consumption: 16W / typ. 11W Standby Mode: <10W (Code Of Conduct compliant) Lower Power Mode: <3W (*) <small>(*) 900-400-471 min. (v. 1.6, level 1)</small>	











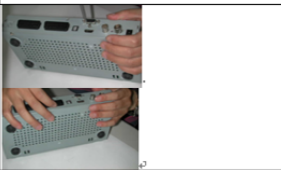


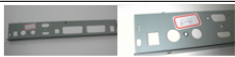






輸出功率=1.2 (W)	實施階段	實施方法公布6個月後	實施方法公布2年後	標的產品能力檢核(2008)
無負載功率消耗上限值(W)				
輸出功率 < 50 W		0.5	0.3	0.75
輸出功率 ≥ 50 W		0.5	0.5	
平均活動功率(Average active efficiency)上限值(W)				
輸出功率 < 1 W		0.5 * 輸出功率	0.5 * 輸出功率	
1 W ≤ 輸出功率 ≤ 36 W		0.09 * ln(輸出功率) + 0.50 = 0.724	0.08 * ln(輸出功率) + 0.585 = 0.784	0.687
36 W ≤ 輸出功率 ≤ 51 W		0.09 * ln(輸出功率) + 0.50	0.87	
輸出功率 > 51 W		0.85	0.87	

資料網址：http://ec.europa.eu/energy/demand/legislation/doc/2008_02_22_working_document_external_power_supplies.pdf
正式實施方法預定於2008.12公告

表 9 待機及關機模式下會有能源耗損的產品(lot6)生態化設計實施方法草案

EuP lot6 生態化設計實施方法草案	關機	待機模式 (待機啟動功能)	待機模式(顯示功能)or(顯示功能+待機啟動功能)
實施方案頒布 1 年後 產品要求;即 2009 年 10 月	≤ 1 W	≤ 1 W	≤ 2 W
實施方案頒布 4 年後 產品要求	≤ 0.5 W	≤ 0.5 W	≤ 1 W

表 10 兆赫標的產品拆解摘要表

編號	零組件名稱	零組件拆解前照片	零組件照片
1	ToP cover 螺絲【Ass'y】		
1-1	ToP cover		
2	F/P cover (前板)【Ass'y】		
2-1	F/P button(按鍵)		
2-2	Front cover (前板)		
3	背板【Ass'y】		
3-4	背板		
4	主板【Ass'y】		
4-1	平牙螺絲加點膠		
4-2	PC 板 PCBA【Ass'y】		

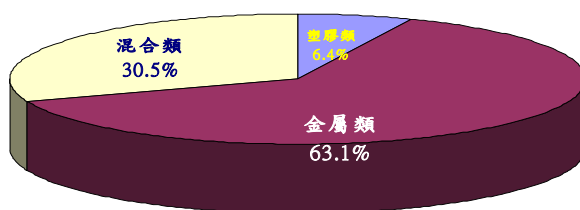


圖 8 兆赫標的產品主要材質百分比

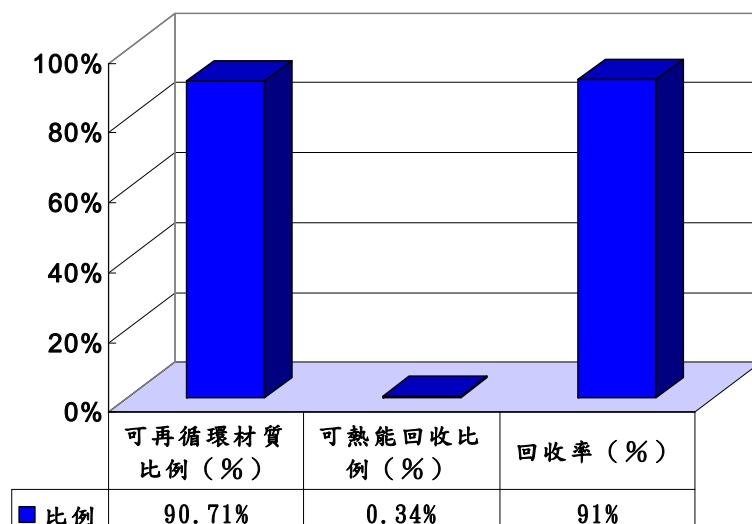


圖 9 兆赫標的產品回收率估算結果

表 11 兆赫標的產品拆解資訊


產品名稱/型號：Product Name/No.	Telesystem, ZMT-931TS
總重量 (g) Total Weight	810 g
連結技術 Connection Technique	卡榫、螺絲、鉸錫
拆解工具 Disassembly Tools	
拆解秒數 Disassembly Time	1 分 12 秒 47
可再循環材質比例 (%)	90.71%
可熱能回收比例 (%)	9.29%

表 12 兆赫標的產品 Eco-design 改善方案

期程	環境考量面	生態化設計參數	策略(可行設計策略)	對象/部位	可改善程度之描述
原料使用	原料消耗量	須多少耗材與其特性如何?	減化成電子單據	生產表單	減少列印, 影印, 紙張
		避免採用會妨礙回收再利用的技術方法	盡量使用原素材, 減少噴漆製程, 利用咬花拋光方式凸顯產品特色	外觀設計	易於回收
		避免採用會妨礙回收再利用的技術方法	改為凸字, 模具一體成型	外觀	增加回收率
		廢棄物及有害廢棄物產生量	由四層板改為六層板	Main Board PCB	減少面積體積

表 12 兆赫標的產品 Eco-design 改善方案(續)

期程	環境考量面	生態化設計參數	策略(可行設計策略)	對象/部位	可改善程度之描述
製造	原料消耗量	產品的重量與體積	下蓋引伸凸起架構		
		產品的重量與體積	用印刷取代		
		產品的重量與體積	取消按鍵		
		產品的重量與體積	以背膠型式取代,大腳墊鎖螺絲		
		耗能、耗水及其他能源消耗	生產良率提高	減少能源及材料	減少維修量,節省電量及錫絲,鉻鐵之使用
		避免採用會妨礙回收再利用的技術方法	零件扣合方式盡量採用卡勾設計	螺絲	減輕重量
		避免採用會妨礙回收再利用的技術方法	一體成型節省螺絲跟組裝工時	背蓋跟下蓋	螺絲跟組裝工時
包裝	原料的消耗量	產品的重量與體積	同性質產品,尺寸大小儘量設計在相同範圍,以共用包裝箱	包裝箱	減少包裝材
使用	能源	耗能、耗水及其他能源消耗	加裝可阻斷電源裝置,於不使用時可減少電源消耗	電源消耗量	減少電源消耗量

表 13 兆赫標的產品 Eco-profile(生態化特性說明書)

序號	衝擊名稱(英文)	衝擊名稱(中文)	數量	單位
1	green house effect	全球暖化	4.8539	kgCO ₂
2	eutrophication	優養化	0.005199	kgPO ₄ ³⁻
3	ozone depletion	臭氧層破壞	0.000005474	kgCFC11
4	acid precipitation	酸沈降	0.1017	kgSO ₂
5	heavy metals	重金屬污染	0.00009793	
6	carcinogens	致癌性	7.487E-09	
7	winter smog	冬季煙霧	0.1137	kgSO ₂
8	summer smog	夏季煙霧	0.000283	POCP
9	energy	能源	126.1762	MJ
10	solid waste	固體廢棄物	14.1725	kg
11	Water	水資源	155.3885	kg

四、生態化設計綜效

1. Eco-design 效益:

兆赫電子標的產品數位機上盒，對環境最大的衝擊在使用過程中所耗用的能源。此生態化設計的過程，協助兆赫電子公司進行優化節能系統是主要目標。標的產品數位機上盒，能源使用是以 adapter 控制，正常使用(on-mode)時的每小時耗電量為 12W，其相關電路流程如圖 10 所示。

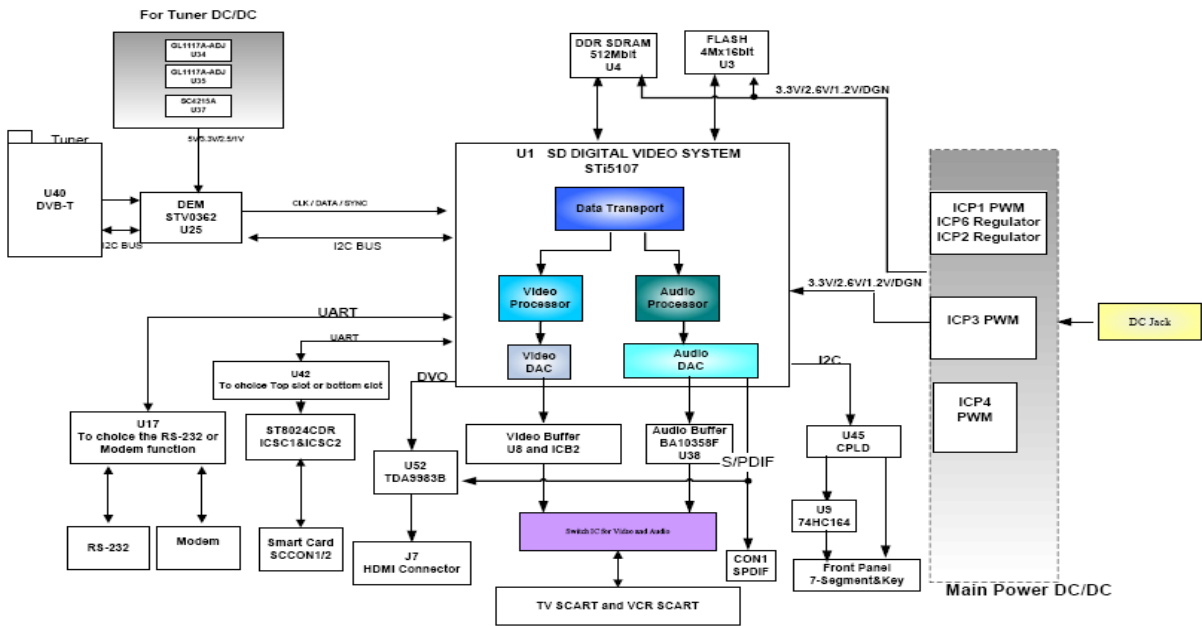


圖 10 兆赫標的產品 adapter 電路流程

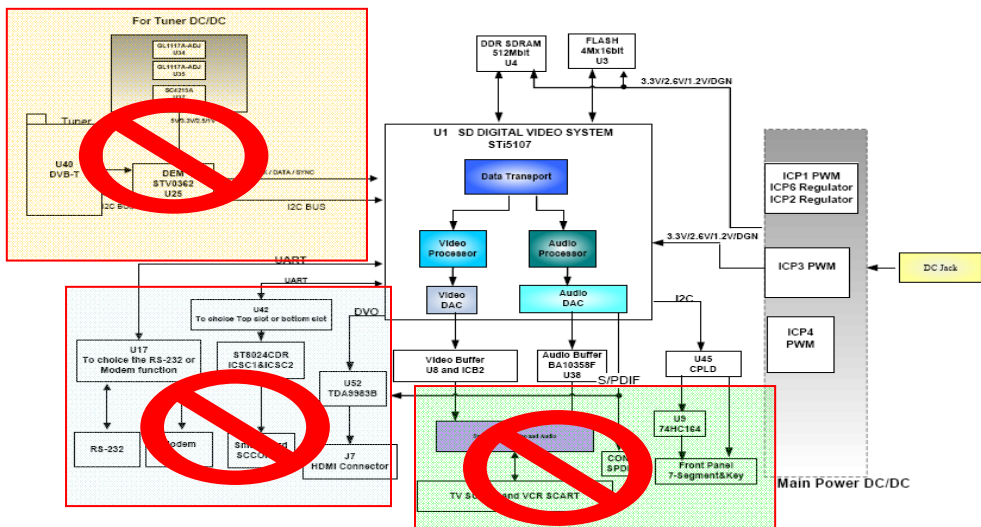


圖 11 兆赫標的產品 adapter，增加高效率開關轉換模式之電路流程圖

經由與兆赫電子相關部門 R&D 人員討論，將於標的產品數位機上盒之 adapter 中規劃以高效率開關轉換模式進行節省能耗設計。此主要技術是利用高效率開關模式，將不使用的電路關閉減少能耗。經由設計後的改善電路流程圖如圖 11 所示。使每小時耗電量降為 6W。

推估主要的改善效益如下：

1.on-mode 原本 12W (A)，生態設計後為 6W (B)

2.參考 EuP Lot18 task3 中指出在歐洲 on-mode 為 4.5 小時(E)

所以每年每台省下：9855 仟瓦小時

$(12-6)W * 365 \text{ day} * (4.5 \text{ hrs/day}) = 9855 \text{ 仟瓦小時}$

以兆赫公司年產量達 150,000 台推估總省電量為：61,600 仟瓦小時

$150,000 \text{ 台} * (12-6)W * 365 \text{ day} * (4.5 \text{ hrs/day}) = 61,600 \text{ 仟瓦小時}$

改善效益為減少 39,230 kg CO₂ 排放

相當是種植 5,230 棵樹,每年轉換的 CO₂,也可轉換成約 2.6~5.2 公頃林地每年所轉換的 CO₂。

表 14 兆赫標的產品 EuP 生態化設計導入綜合效益

效益分類	效益呈現	效益量化資料
管理效益	<ul style="list-style-type: none"> •訓練人次、 •程序文件、 •管理目標達成率... 	<ul style="list-style-type: none"> •辦理 13 場教育訓練：EuP 推廣輔導 共 33 人次以上訓練課程，及 6 場外部專家討論會議 •協助建立綠色管理程序 Benchmarking 之文件。 •管理目標達成率 100%
能資源效益	<ul style="list-style-type: none"> •節約用水、用電(耗能)、原物料減量... 	<ul style="list-style-type: none"> •能資源效益：減少用電量 50% •原物料減量：10~25% •回收率增加：5~10% •提昇拆解速度：5~10%。
環境效益	<ul style="list-style-type: none"> •二氧化碳減量、污染物減量... 	<p>依目前生態化設計提供可改善的策略與方案彙整,提出具體改善方案。</p> <p>減少環境負荷所增加之績效益推估達 50% 以上。</p>
經濟效益	<ul style="list-style-type: none"> •投入金額 •產出金額 •淨效益 	<p>本輔導標的產品為數位機上盒，型號 Telesystem, ZMT-931TS</p> <p>100%銷歐產量 15 萬台，銷歐產值 3 億元(2007)。</p> <p>初步估計經濟效益值：</p> <ul style="list-style-type: none"> •導入 EuP 生態化設計及製程改善，投入金額達 6 百萬元以上。 •產值增加 10%，總產值將提高至 3 億 3 千萬元以上。

五、結論與建議

歸納相關結論與建議供國內企業因應 EuP 指令之建議參考如下。

EuP 符合性文件是由搖籃(原料開採)到大門(出貨)間的環境負荷數據，可以提供客戶、消費者及利害相關者，瞭解標的產品對環境的負荷程度。國內產業在面臨 WEEE, RoHS, EuP 等環保指令時，從中思索未來的經營方向，已成為產業邁向永續發展的關鍵，建議可由以下幾點切入，以因應日趨嚴峻的國際情勢。

1. 掌握資訊：

盡快掌握未來管制與實施方法制定的重點。對於還沒有制定實施方法的 EuP 則應以歐盟各國以及日本、美國的相關環保標章為資訊收集重點。

2. 導入生態化設計程式：

於公司內導入生態化設計程式，逐步建立公司產品線所需之相關技術工具，例如材質資料庫，各製程、組件之投入產出資料庫，管理系統之逐步調整。

3. 即時提供資訊：

已建立環境特性說明書及其相關的環境負荷值，可即時提供給客戶。於商業推廣或環境抗爭時，亦可將環境報告書或網站上供客戶或其他有興趣的人士取閱。

4. 發揮供應鏈的管理機制：

透過供應鏈之管理機制，可以作好對本產品的環境負荷管理。建議與供應商建立生命週期盤查或環境特性說明書之資料收集管道，並列入採購程式中。

5. 建置生命週期管理制度：

廠商在面對各種不同指令、法規、作業要求的紛亂系統時，最根本的作法是建立自己公司生命週期管理制度(Life Cycle Management, LCM)，也就是將現有的環保與安全衛生管理作業系統進行整合，以有效地因應產品各種成分特性要求和不同的環保壓力。

6. 制定對公司組織之各衝擊類別的權重

建議由公司組織本身、客戶、利害相關者之關切重點，來制定公司組織之各衝擊類別的權重，方便決策者或生命週期評估結果使用者在內部之比較(Bench-marking)。有機會可擴大至產業公會或更高的層次。

隨 EuP 指令公告施行，未來產品生態說明書的建置已成為不可避免之趨勢，我國輸歐之廠商應隨時注意該草案的發展動態，以期掌握未來發展之挑戰與契機。

六、參考文獻

- 1.工研院能源與環境研究所，執行示範輔導案例，歐盟 EuP 指令暨案例發表說明會，2005 年 12 月。
- 2.黃文輝，「支援清潔生產之綠色供應鏈管理工具介紹」，化工資訊與商情 No.14，2006 年 11 月。
- 3.張蕙蘭，「因應歐盟 EuP 指令之環境特性說明書製備程式介紹」，2006 清潔生產暨永續發展研討會，2006 年 11 月。
- 4.林馨如，「EuP 指令與生態化設計發展概況」，永續產業發展雙月刊，No.29，2006 年 10 月。
- 5.黃文輝，「符合 EuP 指令產品生態化設計及生命週期評估之案例」，2007 年生命週期評估(LCA)與管理研討會，2007 年 1 月。
- 6.劉子銜，朱敏珍，「歐盟 EuP 指令沿革及先期研究之發展動態」，第 32 期技術報導，P34-39，2007 年 5 月。
- 7.網路資訊:歐盟及國際環保相關標準，包括：RoHS、WEEE；PPWD；EU CoC 數位電視類 Ver.7；Energy Star；澳洲、紐西蘭 MEPS；EuP Lot7 對外部電源供應器的要求；EuP Lot6 待機及關機模式下會有能源耗損的產品生態化設計實施方法草案的要求等資料，作為標的產品之綠色考量面相關準則之依據。http://www.ecocomplexstb.org/methodology_18.php

產品生命週期盤查表的建立

朱志弘*、林馨如*、黃英傑**、黃文輝***

摘要

隨著環境友善與永續發展的概念日益被重視，產品環保程度日益受到消費者的注意。另從歐盟陸續頒佈的 WEEE、RoHS、EuP、REACH 等指令或近年來受到重視的產品碳足跡等趨勢觀察，產品的環保程度不再僅是最後組裝或銷售者的責任，而是整個產品的供應鏈都牽涉其中。

供應鏈綠色管理相關議題過去多著重在成本控制及製程操作最佳化，但 EuP 指令或評估產品溫室氣體排放量的 PAS2050 中，都提及產品全生命週期的思維，各階段零組件的供應者與組裝者均需提供自身環境衝擊資訊，以累加為最後組成產品的環境衝擊資訊。這趨勢使提供環境衝擊資訊成為對廠商製造能力的評價方式之一，無異是重新的市場洗牌。

由於大部分供應商尚無直接提供環境衝擊資訊的能力，只能透過盤查該產品製造時的投入物與產出物，再經由專業人力將其算出，因此產品生命週期盤查表將是溝通製造者和生命週期盤查專業人力的重要媒介。ISO 雖然提供了數據文件化格式，但對非專業填寫人而言缺乏指引，且遺漏投入產出相關資訊時不易察覺。

本研究參照國內實際運用中的兩種盤查表單，並嘗試加入碳足跡盤查所必須調查的相關資訊，建立一種新的產品生命週期盤查表，使其能讓供應商填寫便利，並獲得完整與正確的數據，讓進行產品生命週期評估人員能更精確的估計該產品的環境衝擊。

【關鍵字】生命週期盤查、生命週期衝擊評估、CNS14044、CNS14048

*工業技術研究院能源與環境研究所 副研究員

**工業技術研究院能源與環境研究所 工程師

***工業技術研究院能源與環境研究所 研究員

一、前言

在經濟危機及全球暖化的背景下，消費者的節能環保意識空前高漲，然願意付出之代價並未隨之增加。因此如何協助企業透過良好的供應鏈管理呈現所提供產品與服務的環境效益，並彰顯其形象，為現今產業管理的重要議題之一。

另觀察近年來重大環境的法規要求或標準方法如來自歐盟以節能為主要議題之 EuP 指令^[1]，或英國標準組織(BSI)所擬定之產品與服務評估二氧化碳排放之標準程序 PAS 2050^[2]，都已經要求以整體性的看待產品在生命週期各階段的環境衝擊，以落實綠色供應鏈管理。而彰顯這個績效的方法，即為揭露其產品或服務的環境衝擊資訊。

受限於能力，國內廠商目前因應作法多是透過盤查該產品製造時的投入物與產出物，再經由專業人力算出環境衝擊。因此產品生命週期盤查表不僅在資料蒐集與確認時需要提供填寫者協助，還是填寫者和生命週期盤查專業人力溝通的重要媒介。

本研究將建立一種新的產品生命週期盤查表，使其能讓供應商填寫便利，並獲得完整與正確的數據，讓進行產品生命週期評估人員能更精確的估計該產品的環境衝擊。

二、生命週期盤查程序建立與評價

1. 供應鏈體系生命週期盤查與資料建立程序

Eco Profile準備或碳足跡調查都依據ISO14040及14044建議，將生命週期中與重大環境衝擊相關之投入與產出以可量測之物理量進行記錄與說明，兩者相異之處在於碳足跡界定範圍較廣，且僅關注於溫室氣體的排放。盤查流程可如圖1所示。

盤查開始時，先界定系統邊界、功能單位與資料期間等要素。之後展開盤查前準備工作。此階段除調查在自身的投入與產出項目與內容外，還需藉由BOM表展開，根據邊界決定要被盤查的零組件項目及層級。然後再根據被盤查的零組件項目及層級展開盤查工作。

根據ISO 14044對資料蒐集內容提示，盤查工作主要是蒐集在製造時所使用之能源、原料及所排放之空氣污染物、水污染物、廢棄物之種類與數量。數據蒐集完成後，應經過審核程序確保數據是否符合初始設定的目標與範圍。方法包括確認投入/產出項目填寫是否完整、單位換算是否正確、

生產過程質量平衡是否合理，是否符合最低能源需求、實際值與設計值差別是否過大及是否與同業製程有重大差異等。

由於產品生命週期盤查工作過程繁複，調查時又需考慮到分配及資料取捨等，需要有一適當的表單提供協助指引與過程記錄。目前在ISO 14044的附錄A已提供一種簡略的表單格式供盤查者使用，ISO14048亦提供了完整的數據文件化的格式。但這類表單並沒有導引使用者完成盤查工作的功能，對未接受過生命週期盤查教育的人員在使用上實屬不便，填寫完成後，資料難以檢核，因此發展更適合一般人使用的盤查表單有其必要。

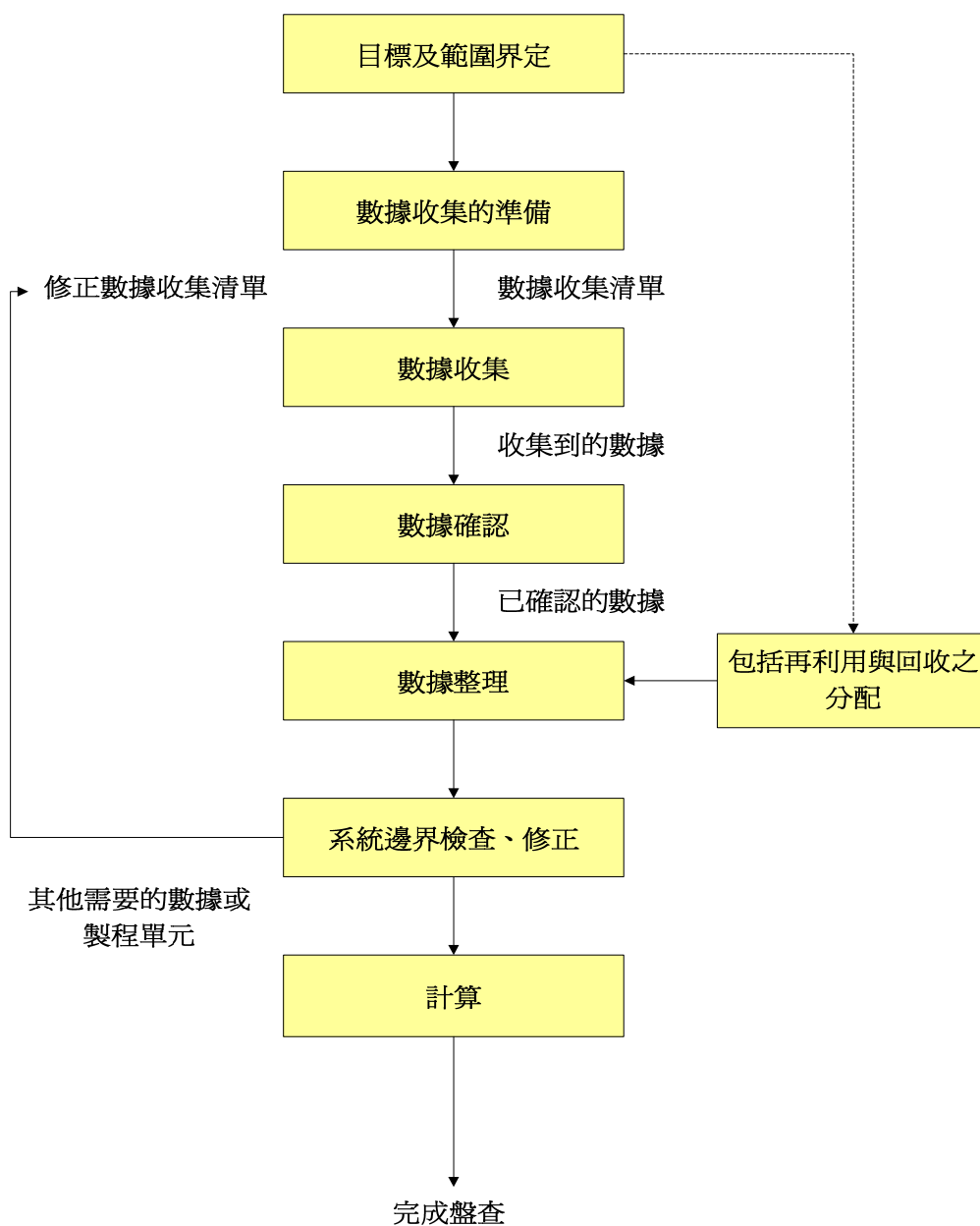


圖 1 產品生命週期盤查步驟

2.現有產品生命週期盤查表的評價

國內目前針對產品生命週期盤查表單分為兩大體系，其一為工研院能環所團隊(以下簡稱工研院)協助台灣電機電子同業公會 EuP 整合服務平台發展^[3]，另一為台灣產業服務基金會(以下簡稱產基會)發展^[4,5]，各自應用於其被輔導業者上。兩表單對照如表 1 所示，比較如下：

(1)表單形式

兩份盤查表格式皆相容 Excel，可避免軟體支援的困擾。工研院產品生命週期盤查表分為「生產流程_投入產出表」、「LCI 盤查表(總量)」及「LCI 盤查表(單位產品)」三頁，以漸進方式引導填表人填寫表單。但遇上複雜製程時填表人自行擴充容易使原格式流失。產基會表將需要盤查的項目以分頁形式呈現，填表人擴充容易，但相對較缺乏引導性，填表人若無填寫經驗，不易填入一單位產品的投入產出量。

需盤查的內容方面，兩表單所列出需要填寫的項目大致相同。較大差異在於產基會表單內多了用電設備的能源使用及產品使用階段的調查。但用電設備能源使用會與能源使用調查兩者間範圍若無法明顯區隔，可能會在數據處理時發生重複處理狀況。

此外產基會表同時提供中英文版本，對非中文語系使用者使用上較為便利。

(2)填表說明

由於表單設計時都傾向於填表人需要先接受過填表教學課程，才能開始填寫盤查表，因此兩份盤查表內各格子雖然都有提示，但沒有完整的全表填寫流程指引；廠內可做為填表參考的資料來源與應用於何處說明也不夠完整。

但實際應用時，接受填表課程的人員卻未必是實際填寫完成的人員，實際填表者仍可能會使用到填表課程講述的相關指引，方能完成填表工作。因此加強這部分文字描述極為重要。

(3)「製造流程圖」對「生產流程_投入產出表」

這分項是協助填表人先行理解在各投入產出項目要填入的項目與內容，並讓審核表單人員檢核質量平衡之用。

產基會表單直接就把要之後列於各分頁(對應該表的項次)的內容分開，因此填表人在該表列出後要填寫入各分頁較為簡易，但表單並沒有固定欄位，使用者較無規則可依循；另數量不列入此表內，檢核質量平衡不便。相較於此，工研院表單因格式固定，較不會有這方面的困擾，但一格預設只能對應一項投入或產出，且輔助項的投入無欄

位可填。

(4)各分項目的差異

兩種表單都需要調查到一單位產品的投入產出，因此列出需要調查項目接近。較明顯的差異如下。

產基會表的特色：

- 供應商零件列客戶料號
- 原物料需挑選材質屬性
- 原物料要求列 CAS.No.
- 非電子零件材料要求依均質材料用量填寫，電子零件(IC、電阻、電容、電晶體等)以零件用量填寫
- 廢棄物屬性列出「一般」或「有害」
- 單位僅能挑選重量類型
- 將高壓氣體、蒸氣、氮氣視為資源
- 電力強制使用機台使用功率與時間計算
- 直接材料(相當於工研院表單的主要原料)要求填寫均質材料名稱；若是電子零件(IC、電阻、電容、電晶體等)則填寫電子零件名稱。
- 運輸填寫內容比工研院表單詳細

工研院表單特色：

- 數據獲得若有經過分配，其計算的方式及使用數字需強制要求揭露
- 需要調查廠務活動(如廢氣、廢水處理)使用輔助原料及產品包裝物
- 數據品質(DQI)比產基會表單參考文獻選項
- 所有的原物料都要求以供應物種名稱列出，再另行說明該物的組成成分
- 設定審核主管、並要求留下多種聯絡方式
- 要求揭露供應商名稱、原物料送至廠內及廢棄物送至處理廠的運輸資訊、數據提供者資訊
- 廢氣、廢水與廢棄物需調查最後如何被處理

2. 填寫輔助說明

現有的盤查表單都有對單格的填寫內容提供協助，但對填寫原則、可參照資料的應用方式的說明不足，未經過輔導單位訓練課程的填寫人員填寫仍有困難，因此本盤查表單對此部分增加說明內容。

3. 基本資料

包含工廠基本資料、產品說明及簡短技術描述三個部分。為生態特性報告文件中的產品介紹與公司介紹內容來源。形式如表 2 所示。敘述如下：

- (1) 工廠基本資料：含工廠名稱(包含廠區)、地址、網址、公司簡介、聯絡人與審核人及其聯絡資訊等基本資料。若要進行溫室氣體盤查，需另行調查該公司人數、全年工作日數及執行 ISO 14064 的歷史紀錄。
- (2) 產品說明：包含產品名稱、重量、料號、照片、規格等一般性資訊及 ISO 14048 所要求揭露盤查過程描述內容如資料數據收集期間、產品計量單位及與重量單位轉換方式、執行之分配與解釋等。
- (3) 簡短技術描述：製程技術的簡短描述，在相同產品可能存在不同的生產方法時可供區別。

表 2 產品生命週期盤查表_基本資料表

一、工廠基本資料						
工廠名稱(廠區)：		工廠位置GPS座標：		填表完成日期：	2009年 月 日	
工廠地址：		全年實際工作天數,天：	300	← 預設為300天，若不對請自行修改		
工廠總人數,人：		公司網址：				
公司簡介						
填表人/部門：		電話：		E-mail：		MSN或SKYPE：
審核主管：		電話：		E-mail：		MSN或SKYPE：
貴公司是否通過ISO 14064-1溫室氣體盤查？		請用下拉式選單				
貴公司之ISO 14064-1是由哪個驗證公司認證(若無則不需填寫)？		請用下拉式選單				
貴公司之ISO 14064-1溫室氣體排放量 (單位使用：噸二氧化碳當量/年，若無則不需填寫)？						
查證年度(例:2007)						
二、產品說明						
1.產品名稱(中文)		產品料號：		產品照片	產品特性/規格說明	其他補充說明
(英文)		客戶料號：				
2.資料數據蒐集期間：2009年xx月-2009年xx月		共計：xx年xx月又xx工作日				
3.本產品之適用計量單位或功能單位(公斤、m、m2、片、個、公)						
4.本項產品在資料數據蒐集期間內總產量 (指該廠該產品的總產量，不管客戶別)						
5.資料數據蒐集期間，總產品出貨「重量」，不含包裝(公斤/期間)						
6.資料數據蒐集期間，總產品出貨「重量+含包裝」(公斤/期間)						
7.單件產品	(1)本盤查對象之單件產品重量，不含包裝(公斤)			請在此處列出計算式		
	(2)分類別單件產品的包裝重量(公斤)					
	(3)產品+包裝 重量(公斤)	0				
8.資料數據蒐集期間「本產品總產量」佔「全廠所有產品總產量」的比例						
8-1.上述比例之計算依據(個數、面積、長度、重量、體積、工時...等)：		請用下拉式選單				
三、簡短技術描述						
請簡要說明製程技術特性，流程請列在生產流程_投入產出表內。 (例如：wafers有13片及18片製程，其投入與產出是有差異，因此必須有相關說明以供分析)						

4. 生產流程_投入產出表

目的為確保需要被盤查到的資料內容不致缺漏，及核對所調查到的數值是否合理。本表建議先將該製造流程內各個單元列出，再針對各單元分別調查其投入之能資源、主要及輔助材料，及產品、副產物與污染物產出。以供表單中其他分項內容填寫。

5. 產品運輸

若系統邊界設定為至產品進入客戶的廠區，由該生產廠出貨的運輸所造成的衝擊需要納入調查。若盤查目的為計算碳足跡時，則要納入廠內可控制的運輸。

考慮到運具形式、裝載比例等資訊不易獲得及可能存在單趟多客戶運輸，本表建議精簡為調查運輸方式(陸運、河海運、空運)、起迄地點及距離，並在運輸方式發生轉變時(如路運轉空運再轉陸運)分階段進行調查。

6. 投入_能資源使用

此分頁調查產品生產過程中需使用到之能資源，形式如表 3 所示。主要調查對象為電、水及燃料。加工過(如加壓或液化)的氣體考慮到加工時會有投入產出，因此列於原物料類型欄位較為適宜。

考慮設定盤查範圍是否有納入非生產線空間使用的能資源可能造成的差異，應列出全廠能資源分配到特定生產線的計算原則，以利數據處理階段進行判斷與計算。

表 3 產品生命週期盤查表_能資源使用表

1. 電 源													
製程投入位置	名稱	單位	資料期間內全廠耗用量	分配至本產品之比例	分配說明	本項產品之 耗用量	分配至零件產品 用量(數量/單位產 量)	供應商 名稱	運輸方式 與距離	製成品算	製成品算說明	來源：部門/ 人員/業務	數據來源： 人員/部門
	電力	度/年			←←←自杆輸入 分配比例	0				歸用下耗成運算			
	天然氣(LPG)	立方公尺/年			←←←自杆輸入 分配比例	0				歸用下耗成運算			
	液化石油氣(LPG)	公升/年			←←←自杆輸入 分配比例	0				歸用下耗成運算			
	柴油	公升/年			←←←自杆輸入 分配比例	0				歸用下耗成運算			
	汽油	公升/年			←←←自杆輸入 分配比例	0				歸用下耗成運算			
	燃料油(鍋爐油)	公升/年			←←←自杆輸入 分配比例	0				歸用下耗成運算			
	外購蒸汽	百萬度/年			←←←自杆輸入 分配比例	0				歸用下耗成運算			
	其他(請指明)				←←←自杆輸入 分配比例	0				歸用下耗成運算			
2. 水 源													
製程投入位置	名稱	單位	資料期間內全廠耗用量	分配至本產品之比例	分配說明	本項產品之 耗用量	分配至零件產品 用量(數量/單位產 量)	供應商 名稱	運輸方式 與距離	製成品算	製成品算說明	來源：部門/ 人員/業務	數據來源： 人員/部門
	自來水	度/年			←←←自杆輸入 分配比例	0				歸用下耗成運算			

7. 投入_主要原料

此分頁盤查被標的物的組成成份，形式如表 4 所示。為避免盤查成分發生疏漏，應考慮以實際組成物種填寫，而非將被盤查物拆解後，填寫均質成分與比例。

組裝類的廠商(如部件組立、PCBA 廠)或有外發步驟的廠商使用本表時，逐一調查其使用之零組件組成份或外發的步驟可能會遭遇困難，此時廠商可能會有兩種作法：

- (1)要求零組件或外發供應商也進行盤查。此可增加盤查資料完整性，但需要供應商配合，有一定的困難度。
- (2)填寫使用的零組件或加工物的型態及重量，再引用來自文獻或資料庫的環境資料進行比例調整。

盤查表應因應這兩種狀況。若廠商要求供應商進行盤查，盤查表需要位置可填寫各供應商料號資料，以便明瞭供應商盤查表與廠商自身盤查表的關係；若引用文獻或資料庫，則盤查表需要能使填表人明確列出使用零組件規格與形式等，始能引用到最接近實際使用物種的資料。

表 4 產品生命週期盤查表_主要原料表

主要原料 (發生在產品二階投入之所有原料中，應包含為產品二階中一部份的原料)															
類別	投入分類	客戶料號 (提供半成品才需填寫)	中文名稱	英文名稱	生產本階產品之總用量 (kg/單位時間)	原料產品用量 (kg/單位產品)	物質或成分名稱	比例 (%)	供應商名稱	運輸方式/船/陸	物料品質	物料品質說明	數據來源: 部門人員/電話	數據來源: 人員 e-mail	備註
1															
2							可自研新增	可自研新增							
3							可自研新增	可自研新增							
4							可自研新增	可自研新增							
5							可自研新增	可自研新增							
6							可自研新增	可自研新增							
7							可自研新增	可自研新增							
8							可自研新增	可自研新增							
9							可自研新增	可自研新增							
10							可自研新增	可自研新增							
11							可自研新增	可自研新增							
12							可自研新增	可自研新增							
13							可自研新增	可自研新增							
14							可自研新增	可自研新增							
15							可自研新增	可自研新增							

8.投入_輔助原料、包裝

主要盤查標的物製造過程中，成為產品的原物料以外的相關投入，形式如表 5 及 6 所示。考慮忽略產品製造時廠務支持的投入、排出廢氣/廢水離開廠區前的處理及產品包裝物等，有低估產品環境衝擊的風險，本表要求將這些投入納入盤查範圍內。

表 5 產品生命週期盤查表_輔助原料表

序號	說明/學名	中文名稱	標式名稱	本廠產品中用量/占原料總量	種類/有限力	單位, %	小瓶/大瓶/中瓶/小瓶/大瓶/中瓶/小瓶	供應時名稱	規格/單位/包裝	原料/品名	備註	備註	備註	備註	備註	備註	備註	備註
1																		
2																		
3	川芎	川芎																
4	川芎	川芎																
5	川芎	川芎																
6	川芎	川芎																
7	川芎	川芎																
8	川芎	川芎																
9	川芎	川芎																
10	川芎	川芎																
11	川芎	川芎																
12	川芎	川芎																
13	川芎	川芎																
14	川芎	川芎																
15	川芎	川芎																
16	川芎	川芎																
17	川芎	川芎																
18	川芎	川芎																
19	川芎	川芎																
20	川芎	川芎																
21	川芎	川芎																
22	川芎	川芎																
23	川芎	川芎																
24	川芎	川芎																
25	川芎	川芎																
26	川芎	川芎																
27	川芎	川芎																
28	川芎	川芎																
29	川芎	川芎																
30	川芎	川芎																
31	川芎	川芎																
32	川芎	川芎																
33	川芎	川芎																
34	川芎	川芎																
35	川芎	川芎																
36	川芎	川芎																
37	川芎	川芎																
38	川芎	川芎																
39	川芎	川芎																
40	川芎	川芎																
41	川芎	川芎																
42	川芎	川芎																
43	川芎	川芎																
44	川芎	川芎																
45	川芎	川芎																
46	川芎	川芎																
47	川芎	川芎																
48	川芎	川芎																
49	川芎	川芎																
50	川芎	川芎																
51	川芎	川芎																
52	川芎	川芎																
53	川芎	川芎																
54	川芎	川芎																
55	川芎	川芎																
56	川芎	川芎																
57	川芎	川芎																
58	川芎	川芎																
59	川芎	川芎																
60	川芎	川芎																
61	川芎	川芎																
62	川芎	川芎																
63	川芎	川芎																
64	川芎	川芎																
65	川芎	川芎																
66	川芎	川芎																
67	川芎	川芎																
68	川芎	川芎																
69	川芎	川芎																
70	川芎	川芎																
71	川芎	川芎																
72	川芎	川芎																
73	川芎	川芎																
74	川芎	川芎																
75	川芎	川芎																
76	川芎	川芎																
77	川芎	川芎																
78	川芎	川芎																
79	川芎	川芎																
80	川芎	川芎																
81	川芎	川芎																
82	川芎	川芎																
83	川芎	川芎																
84	川芎	川芎																
85	川芎	川芎																
86	川芎	川芎																
87	川芎	川芎																
88	川芎	川芎																
89	川芎	川芎																
90	川芎	川芎																
91	川芎	川芎																
92	川芎	川芎																
93	川芎	川芎																
94	川芎	川芎																
95	川芎	川芎																
96	川芎	川芎																
97	川芎	川芎																
98	川芎	川芎																
99	川芎	川芎																
100	川芎	川芎																

表 6 產品生命週期盤查表_包裝表

包裝														
	中文名稱	英文名稱	材質名稱	重量比例, %	包裝物重量 (kg/個)	包裝量(每個包裝物包含多少產品或次包裝物)	本廠產品總用量(kg/資料期間)	分配至單件產品用量(kg/資料期間)	供應商名稱	運輸方式與距離	數據品質	數據品質說明	數據來源：部門/人員/電話	數據來源：人員e-mail
第一層											請用下拉式選單			
第二層											請用下拉式選單			
第三層											請用下拉式選單			
第四層											請用下拉式選單			
其他_1											請用下拉式選單			
其他_2											請用下拉式選單			

盤查目的若為溫室氣體排放，考慮到特定溫室氣體可能因當量值而放大，盤查不宜因使用數量小就給予忽略，應特別列一欄位給予記載。其中二氧化碳滅火器及配電盤為多數工廠擁有的設施，因此先列入預設盤查對象中。

由於這類盤查發生遺漏不易察覺，建議除參考工廠內之「廢棄物清除處理計畫書」及「包裝 BOM 圖」的內容外，也要向現場作業的人員詢問。

9. 產出

主要目的為盤查生產該標的物種而產生之空氣污染物、水污染物及廢棄物。形式如表 7 所示。污染物調查內容以當地環保主管機關要求監測項目為主，廢棄物則以實際產出為主。這些污染物離開工廠後鮮少直接排放至自然環境，因此還需調查污染物離開工廠後的宿命。

盤查目的若為調查溫室氣體排放時，廠內自行焚化、廢水厭氧處理等行為，及廠區人員活動造成的溫室氣體如化糞池等排放源也應列入盤查之中。

表 7 產品生命週期盤查表_廢棄物表

廢棄物														
產生位置	廢棄物名稱 (台灣經濟部/IEC中標之EUP類別)	廢棄物屬性	全廠數量 (公斤/期間)	分配至本產品之比例	分配說明	本機產品之碳排放量 (kg/資料期間)	零件產品排放量 (kg/單位產品)	資料來源 處理方法	處理商 名稱	運輸方式 與距離	設備品牌	數據品質說明	數據來源：部門/人員/電話	數據來源：人員/e-mail
				0.00%	◎ 若不符，須自行輸入分配比例 及在表底說明						應用下拉式選單			
				0.00%	◎ 若不符，須自行輸入分配比例 及在表底說明						應用下拉式選單			
				0.00%	◎ 若不符，須自行輸入分配比例 及在表底說明						應用下拉式選單			
				0.00%	◎ 若不符，須自行輸入分配比例 及在表底說明						應用下拉式選單			
				0.00%	◎ 若不符，須自行輸入分配比例 及在表底說明						應用下拉式選單			
				0.00%	◎ 若不符，須自行輸入分配比例 及在表底說明						應用下拉式選單			
				0.00%	◎ 若不符，須自行輸入分配比例 及在表底說明						應用下拉式選單			

自行其他國家處理												
產生位置	廢棄物名稱 (台灣經濟部/IEC中標之EUP類別)	廢棄物屬性	全廠數量 (公斤/期間)	分配至本產品之比例	分配說明	本機產品之碳排放量 (kg/資料期間)	零件產品排放量 (kg/單位產品)	其他產品 處理方法	設備品牌	數據品質說明	數據來源：部門/人員/電話	數據來源：人員/e-mail
				0.00%	◎ 若不符，須自行輸入分配比例 及在表底說明				應用下拉式選單			
				0.00%	◎ 若不符，須自行輸入分配比例 及在表底說明				應用下拉式選單			
				0.00%	◎ 若不符，須自行輸入分配比例 及在表底說明				應用下拉式選單			
				0.00%	◎ 若不符，須自行輸入分配比例 及在表底說明				應用下拉式選單			
				0.00%	◎ 若不符，須自行輸入分配比例 及在表底說明				應用下拉式選單			
				0.00%	◎ 若不符，須自行輸入分配比例 及在表底說明				應用下拉式選單			

四、結論與建議

本文在此提出一產品生命週期盤查表單，以協助產業能順利進行產品生命週期盤查，期能提升數據處理及衝擊評估時的準確度與可信度；以符合客戶可能的要求，並對次世代產品的改善提供詳細的分析依據。並希望藉由此表單的發行，建立國內流通表單的形式標準，以降低填表者的學習負擔。

五、參考文獻

1. Eco-Design Requirements For Energy-Using Products (Directive 2005/32/EC)
2. PAS 2050:2008 - Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services
3. 台灣區電機電子工業同業公會－EuP 聯盟產品生命週期盤查表，編號：TEEMA-S-EuP-LCI001，2009.02，擷取自：<http://www.eup.org.tw/>
4. 杜旻霏與許國榮，「關鍵組件生命週期盤查實務探討_以 TFT-LCD 模組為例」，2008 產業技術研討會論文集，頁 115-126，2008

5. 許國榮，「EuP 指令應用 - 生命週期盤查」，2008.03，擷取自
www.ftis.org.tw/cpe/download/eup/5_2.pdf

議程十一

- 1.環保科技園區促進綠色供應鏈之環境效益－以扣件業為例
陳彥全、劉子衡
- 2.正隆紙業推動清潔生產照明設備節能減碳改善案例
陳階陽、黃治清、卓憲騰、司洪濤
- 3.全球綠色包裝評估發展現況與我國未來推動芻議
楊為凱、李欣璋、陳致谷

環保科技園區促進綠色供應鏈之環境效益－ 以扣件業為例

陳彥全*、劉子衡**

摘 要

環保科技園區之設置與推動，是參考國外生態工業園區推動資源循環鏈結之理念而設立，因此，目前高雄、花蓮、台南及桃園 4 座環保科技園區核准入區之 80 家廠商中，以資源化產業相關廠商為最多數，已具有促進資源物有效循環利用，減少廢棄物產生之實效，除此之外，環保科技園區更有許多清潔生產技術相關廠商，可提供地方傳統產業更環保之技術與設備，協助傳統產業供應鏈朝向綠色供應鏈發展。

高雄環保科技園區座落於高雄縣岡山鎮，正是我國扣件產業發展之重鎮，因此，高雄環保科技園區為因應週遭岡山地區內，大量扣件業製造時可能產生的環境問題，積極引進有助於傳統扣件業降低污染的各種環保廠商，無論是製造螺絲所需的原料與設備，或是製造扣件產品可能產生的污染問題，高雄環保科技園區的廠商皆能提供更環保的解決之道。本研究以生命週期分析角度，比較高雄環保科技園區廠商所提供之扣件產業綠色製程，與傳統扣件產業製程，證明扣件產業綠色供應鏈的確能有效降低環境衝擊，也印證環保科技園區除了提高資源循環利用率之外，同是具有協助地方產業朝向綠色升級之功效。

【關鍵字】環保科技園區、清潔生產、綠色供應鏈、扣件業

*工業技術研究院能源與環境研究所 研究員

**工業技術研究院能源與環境研究所 研究員

一、前言

為提升我國環保技術水準，因應國際零廢棄與節能減碳之環保趨勢，依據資源回收再利用法 24 條，以及參考卡倫堡生態工業區與日本生態城等生態工業區推動資源循環鏈結之成功經驗，我國自民國 91 年即開始推動環保科技園區，推動至今已先後於高雄縣岡山鎮、花蓮縣鳳林鄉、桃園縣觀音鄉及台南縣柳營鄉，分別設置高雄、花蓮、桃園及台南等 4 座環保科技園區，目前各園區之管理研究大樓與研究廠房等硬體設施皆已完工啟用，統計已有 82 家廠商核准入區，入區廠商達成率已超過 100%，成果豐碩^[1]。

在目前入區廠商的產業類別分布中(詳如表 1)，以「應用再生資源轉換再生產品之產業」居冠，達 36.6%，若加上「應用再生資源以轉換成再生產品之產業」則共計有 38 家(佔 46.4%)，顯示目前進駐園區廠商仍多以資源回收產業為主，透過高級資源化技術，提高資源物有效再利用率及其附加價值，已具有減少廢棄物產生之實效，其次，「清潔生產技術相關連之產業」廠商有 20 家(佔 24.4%)，可提供鄰近許多傳統產業更環保的技術與設備，帶動傳統產業朝向綠色升級與增值，以高雄環保科技園區為例，區內就有許多與扣件業供應鏈相關之清潔生產廠商^[1]。

台灣是世界螺絲王國，全世界有超過 140 個國家向台灣買過螺絲，螺絲與螺帽產業又合稱扣件產業，國內整個產業供應鏈上下游完整，是台灣非常重要的傳統產業，至少已有 50 年發展歷史，其中全國 70% 的螺絲業廠商集中岡山鎮，廠商總家數為 1,200 家。螺絲有「工業之米」稱號，本身雖不算是尖端科技工業，但卻是許多高科技產品不可或缺的基本零件，從小到使用在 IC 晶片上，大到用於一般航空機上，應用面涵蓋機械、土木、建築、電子、汽車、電機等產業，然而，因人力、土地、環保等問題，台灣螺絲業也開始面對傳統發展產業瓶頸，雖然歐美、日本等國螺絲使用量大，但這些先進國家螺絲多是進口，本身螺絲產業則以研製高附加價值產品為主；反觀台灣現況，螺絲使用量不是很高，政府、業者對投資研發態度也都不夠積極，目前仍以標準型螺絲為主的台灣螺絲界，未來幾乎都將面臨成本、甚至地方反彈等困境，加上中國與東南亞長期削價競爭，台灣螺絲業已遭遇嚴重衝擊，因此，若不加速研發特殊螺絲、乃至參與航太用螺絲研製，積極思索螺絲業產業升級之道，台灣螺絲將很難走出困境。

因為以上的背景因素，本研究欲探討高雄環保科技園區清潔生產廠商，是否能有效解決周圍岡山地區扣件產業的環境問題，協助扣件產業朝向綠色供應鏈發展與產業綠色升級，並以生命週期評估分析觀點，證明高雄環保科

技園區廠商所提供之扣件產業綠色製程，與傳統扣件產業製程相比較下，具有較低的環境衝擊與較高的環境效益。

表 1 環保科技園區六大產業分布表

單位：家

六大產業別	園區				
	高雄 (量+研)*	花蓮 (量+研)*	桃園 (量+研)*	台南 (量+研)*	總計 (量+研)*
與清潔生產技術相關聯之產業 (24.4%)	7 (6+1)	7 (0+7)	3 (1+2)	3 (2+1)	20 (9+11)
回收再生資源以創造生態化之產業 (9.8%)	3 (2+1)	1 (0+1)	2 (2+0)	2 (2+0)	8 (6+2)
應用再生資源以轉換成再生產品之產業 (36.6%)	11 (10+1)	3 (1+2)	8 (7+1)	8 (7+1)	30 (25+5)
開創具新興與策略性之環保技術產業 (2.4%)	2 (2+0)	---	---	---	2 (2+0)
再生能源產品與系統製造產業 (12.2%)	3 (2+1)	4 (0+4)	1 (1+0)	2 (1+1)	10 (4+6)
關鍵性環境保護相關產業 (14.6%)	6 (4+2)	4 (0+4)	2 (2+0)	---	12 (6+6)
總計：	32 (26+6)	19 (1+18)	16 (13+3)	15 (12+3)	82 (52+30)

*：指進駐於(量產實證區+研究發展區)之廠家數

二、螺絲業製造流程與污染問題

從鋼鐵盤元進料開始，首先須經過除銹將氧化層去除後，再來透過伸線製程將盤元拉成線材，然後將線材分段後進行打頭，即完成螺絲的螺絲頭(如下圖 1 所示)部份，然後進行搓牙/輾牙，就會出現螺紋(螺絲牙)，至此一顆螺絲已經成型，但是接下來必須經過高溫鍛燒(熱處理)後，螺絲才會具有韌性，最後經過電鍍後，才可避免氧化與增加光澤，於是一顆一顆螺絲就這樣製造完成。因此，在上述螺絲業製造過程中，將會在不同製造階段產生以下明顯的污染問題：

1. 除銹

傳統用硫酸或鹽酸等強酸酸洗，但以強酸溶解鐵離子一達到飽和即必須更換酸洗液，因此產生大量難處理難回收的廢酸液^[2]。

2. 伸線

傳統伸線利用擠壓成型的原理，必須加入大量的潤滑粉，潤滑粉所造

成的粉塵污染，長期易造成操作人員呼吸系統與健康上的傷害。此外，伸線完後仍需額外熱處理，才能進入下個製程^[3]。

3.打頭/輓牙

傳統在打頭/輓牙時，會用到機油、柴油及切削油等油料，工作場所不僅會有嚴重的油氣/油霧飛濺所造成污染之外，沒有循環再利用的廢油也造成許多的污染與浪費，同時油膩的工作地面更容易造成工安事件^[4]。

4.電鍍

電鍍製程會用到強酸、強鹼等各種含重金屬的原料，其中更含有六價鉻等有毒物質，因此，電鍍廢水若無妥善處理將造成嚴重的環境污染^[5]。

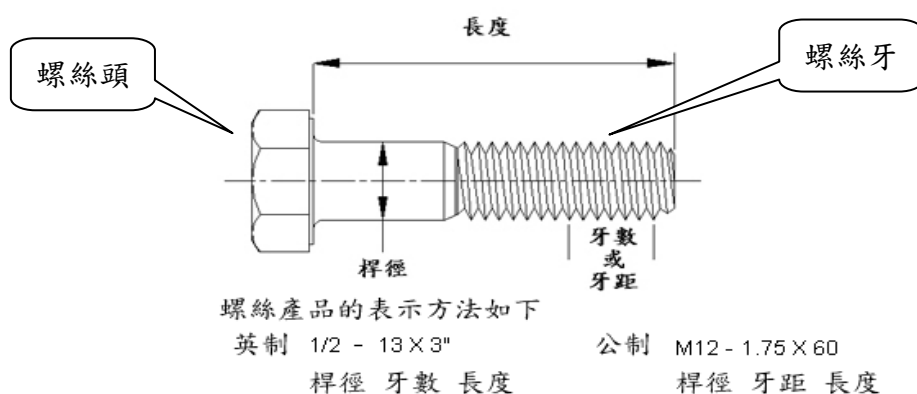


圖 1 螺絲示意圖

三、螺絲業之綠色供應鏈

高雄環保科技園區為因應週遭岡山地區內，大量螺絲扣件製造業可能產生的環保問題，積極引進有助於傳統螺絲業降低污染的各種環保廠商，無論是製造螺絲所需的原料與設備，螺絲周邊綠色產品，到製造螺絲可能產生的污染問題，高雄環保科技園區的廠商皆能提供良好的解決之道，包括有可提供「免酸洗除繡機」與「輓輪組直抽式連續伸線機」的國聯公司、「環保輓牙機」的鍵財公司、環保表面處理藥水的阿托公司、環保表面處理技術的頂吉興公司、可處理螺絲電鍍重金屬廢水的平和公司等，其他尚有可提供「離子真空鍍膜」技術的台灣鍍膜公司，以及以生產可重複再生利用環保華司的奇樺公司等螺絲相關產業廠商(詳見圖 2)。以下為從生命週期分析的角度，來探討上述各公司在螺絲業不同製造階段，可減少的环境衝擊：

1.除銹

國聯公司所開發的「免酸洗除銹機」，可大量減少傳統螺絲業在盤元線材表面氧化層去除時的廢酸污染^[2]。

2.伸線

國聯公司所開發的「輓輪組直抽式連續伸線機」，相較於傳統伸線機不需要潤滑粉與後續的熱處理，所以具有節能、降低成本、減少潤滑粉污染等優點^[3]。

3.打頭/輓牙

鍵財機械公司所開發的「環保輓牙機」，相較於傳統輓牙機具備油料循環與降低油氣液污染等優點，可減少油料的使用與浪費，提高工作環境的空氣品質與安全性^[4]。

4.電鍍

阿托科技公司所開發的「抗腐蝕性鍍膜藥劑」與「鋅薄片塗裝藥劑」等環保表面處理藥劑^[5]，可提供給頂吉興作為表面處理原料；頂吉興公司為環保型螺絲電鍍廠，可使用阿托科技的環保藥水，進行無氰鍍鋅與無六價鉻之環保螺絲表面處理^[6]，所產生的廢水交給平和公司處理；平和環保公司：為重金屬廢水處理廠，可將頂吉興廢水或本洲工業區螺絲電鍍廢水集中處理後，將水回收再利用^[7]。

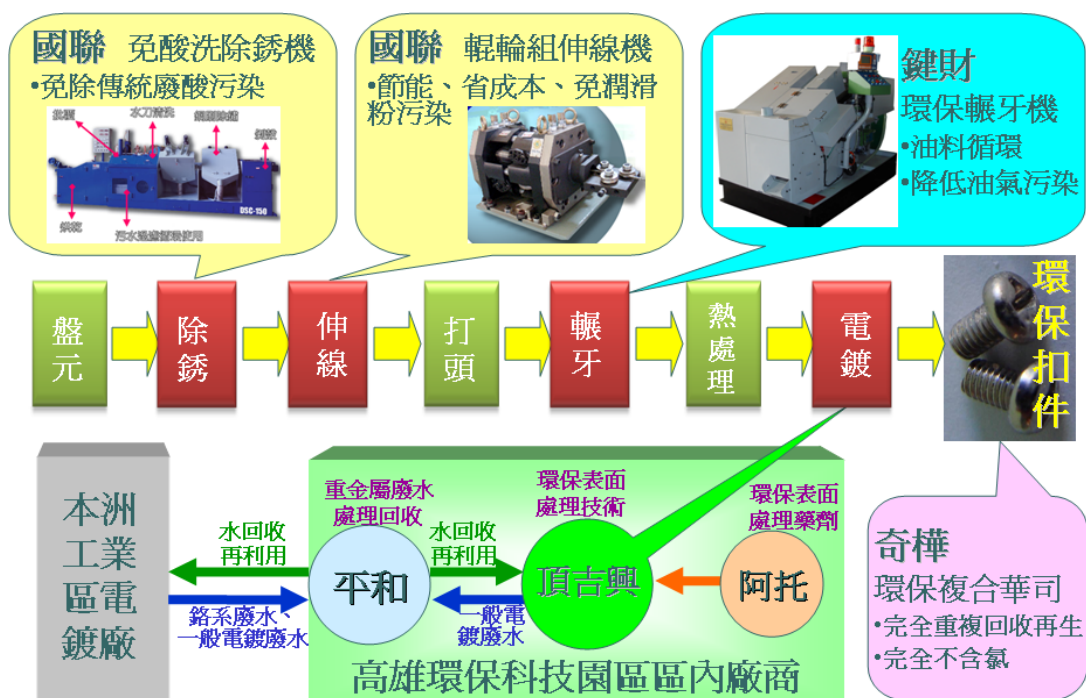


圖 2 高雄環保科技園區螺絲業綠色供應鏈流程圖

四、結 論

高雄環保科技園區的廠商，不僅具有將區內與區外重金屬廢水回收再利用的平和公司，以形成生態化鏈結的共生體系之外，更具有數家可以協助周遭眾多傳統螺絲業進行產業綠色升級的公司，包括有：環保螺絲製造設備(國聯、鍵財)、環保螺絲表面處理藥水(阿托)、環保螺絲表面處理技術(頂吉興)等，同時從生命週期分析的角度，可以知道高雄園區廠商可以改善傳統螺絲業製程的污染問題，減少除銹廢酸液產生、減少伸線潤滑粉污染、減少熱處理能源消耗、減少輾牙油料使用與油氣污染、減少電鍍廢水污染，以及提高電鍍廢水處理後之水回收再利用率，因此，證明高雄環保科技園區優質廠商可提供週遭傳統螺絲業朝向更省資源物料、更無污染及更節能減碳的方向發展，隨著國際節能減碳的趨勢，螺絲業綠色供應鏈之發展，確實可作為我國螺絲業進行產業升級與提高螺絲產品附加價值的重要策略方法之一。

五、參考文獻

- 1.辦理建立環保產業發展及鏈結專案工作計畫，行政院環保署，98年8月。
- 2.楊志迪、林清一，「免酸洗連續伸線機設備」，環保科技園區2009年第一屆研發計畫成果發表會，98年2月。
- 3.楊志迪、林清一，「滾輪組直抽式連續伸線機」，環保科技園區2009年第一屆研發計畫成果發表會，98年2月。
- 4.蕭銘益，「環保輾牙機之油料循環與降低油氣液污染技術」，綠色產業與資源循環鏈結推動技術研討會，98年5月。
- 5.劉正漢，「無六價鉻之環保抗腐蝕性鍍膜藥劑及其表面處理技術」，綠色產業與資源循環鏈結推動技術研討會，98年5月。
- 6.黃金川、羅惠如，「金屬螺絲 Zn-Ni 合金電鍍複合技術研究」，環保科技園區2009年第一屆研發計畫成果發表會，98年2月。
- 7.黃明太，「重金屬廢水處理與回收再利用之技術」，綠色產業與資源循環鏈結推動技術研討會，98年5月。

正隆紙業推動清潔生產

照明設備節能減碳改善案例

陳階陽*、黃治清**、卓憲騰***、司洪濤****

摘要

自工業革命以來，人類肆無忌憚地濫用地球資源，造成今日環境污染嚴重、全球暖化效應等問題不斷對人類文明造成衝擊，人們不得不重視地球反撲的警訊，故如何藉由科技發展而降低人類活動對環境的傷害，因此從產品生產製造、使用到廢棄的過程中使用最少的能資源，並將環境生態造成的傷害降到最低，清潔生產便成為現今人們所努力追求之目標。

照明對人類活動是不可或缺的，從食、衣、住、行、育、樂到工業生產處處需要照明，而照明設備的發展也從沒停過，人們除了追求更高演色性及更高亮度的光源外，對於增加照明設備發光效率、使用壽命、降低用電成本及友善環境不遺餘力；近年來 LED 綠色照明設備發展迅速，但由於發光效率及生產成本過高，現階段還無法真正普及；如何在設備成本及環保議題達到一平衡點，電子式安定器、高效率節能燈管、陶瓷燈及高反射率燈罩組等，便提供了良好的節能照明解決方案。本文以實廠改善為例，提供一般工廠在照明設計時常見之缺失及照明節能之改善策略，最後介紹正隆公司由傳統式燈組改裝為節能型燈組之省電效益，並初步評估整廠節能減碳之量化成果，期供各界參考，一同為降低生產成本、減少碳排放並創造優質照明環境，增加工作效率而努力。

【關鍵字】節能減碳、省電照明、T5 燈管、T8 燈管

*正隆股份有限公司板橋廠 廠長

**正隆股份有限公司板橋廠 執行秘書

***台灣產業服務基金會綠色技術中心 工程師

****台灣產業服務基金會綠色技術中心 專案副理

一、前言

由於目前大環境不佳，且溫室氣體減量議題持續發酵，國外及國內環保法規不斷加嚴，造成產業界莫大之壓力，面對此問題可從工廠生產源頭減少能源資源使用及廢棄物的產生量著手，而工廠照明用電比例約佔全廠用電 10% 至 20% 之間，儼然成為僅次於冷氣空調之公用耗能設備，因此節約且合理的用電，並以新式高效率照明設備節省照明用電並提供明亮舒適的作業環境，以達成降低生產成本及減少碳排放之目的。本文提供工廠照明設施節能之策略與實際案例說明，並以正隆公司板橋廠改善實績供業界參考。

二、工廠照明節能策略

1. 照明設備節能基本概念

現代科技日新月異，照明設備也從最早的白熾燈演進至目前最普遍的螢光燈，到最近蓬勃發展的 LED 照明；人們也由最基本的照明品質追求，漸漸也朝著節省使用電量及降低環境污染為選用照明設備之標準。此外，除了選用合格工廠所生產的節能照明設備之外，在工廠興建之初，即對照明有長遠的設計及整體規劃，便可對工廠照明節能有如虎添翼之功效，以下提供 5 點照明節能之基本原則及案例說明：

(1) 依工作區域照度標準規劃照明設備：

- a. 良好的照明可增加工作效率及防止工安意外的發生，故不應為了節能而犧牲照明品質；如圖 1，工廠為了響應政府節能減碳政策，將廠區內部份 400w 水銀燈更換為 75w 省電型燈泡，此作法雖可減少電費支出，但省電燈泡與水銀燈泡發光方式不同，不應使用相同燈罩，且省電燈泡亮度較低，易使廠區照度不佳造成工安意外。此外，省電型燈泡衰減速度快，須時常更換燈泡以維持廠內亮度，十分浪費人力成本。
- b. 對於不同的工作場所與作業環境應規劃不同之照度標準，且需維持空間一定的平均照度要求，力求配光平均；若有特殊高照度要求，可採用局部照明或半腰式照明(降低照明設備高度)，可降低照明設備使用瓦數；照度規劃可參考如表 1 之工廠 CNS 照度標準規範表或網址：http://www.lighting.org.tw/html/c2_6a.html#，避免因照度過高增加用電支出與照度過低造成工作效率不佳及發生意外。



圖 1 工廠內水銀燈泡更換為省電燈泡

表 1 工廠 CNS 照度標準規範表

照度 Lux	場 所	作 業
3000	控制室等之儀表盤及控制盤	精密精械，電子零件製造，印刷工廠及細之視力作業如： 裝配 (a)，檢查 (a)，試驗 (a) 篩選 (a)，設計，製圖
2000		
1500	設計室，製圖室	纖維工廠之選別、檢查，印刷工廠之排字、校正，化學工廠之分析等細緻視力工作，如： 裝配 (b)，檢查 (b)，試驗 (b) 篩選 (b)
1000		
750		
500	控制室	一般之製造工程等之普通視力作業，如： 裝配 (c)，檢查 (c)，試驗 (c) 篩選 (c)，包裝 (a)，倉庫內辦公
300		
200	電氣室，空調機械室	較粗之視力工作，如： 可限定之工作 包裝 (b)，物品製造 (a)
150		
100	進出口，走廊，通道，樓梯，化粧室，廁所，內具作業場之倉庫	極粗之視力工作，如： 可限定之工作 包裝 (c)，網紮 (b) (c)
75		
50	安全梯，倉庫，屋外動力設備	裝貨，卸貨，存貨之移動等諸作業
30		
20	室外 (通道，警備區)	—
10		
備註	<p>a. 有關相同作業名稱以所看對象物及作業性質之不同而有三種分別。</p> <p>(1) 附表中之(a)乃細小物件，深暗色物件，對比不明顯物件尤其據高價值產品，衛生嚴謹場合高精密度作業工作時間長久者等事項。</p> <p>(2) 附表中之(c)乃粗物件，亮麗物件，對比明顯物件，環狀物件尤其不具高價值物件等事項。</p> <p>(3) 附表中之(b)乃屬於(1)和(2)之間之諸事項。</p> <p>b. 具危險性之作業，應有兩倍之照明。</p> <p>c. 有“○”記號之作業場所，可用局部照明取得該照度。</p>	

(2)利用自然採光降低點燈時數：

工廠白天可利用外部採光可降低點燈的盞數及點燈時數，但引入過量之自然採光往往也將輻射熱引導進入廠房，易使廠房溫度上升，增加冷氣及空調之負荷，因此可使用隔熱玻璃、窗簾及室外遮陽篷，以減低輻射熱進入室內，並以非電力驅動空氣對流方式增加工廠通風(如：太子樓或自然通風扇等)，避免廠房累積過多廢熱，則可有效發揮照明節能之成效。圖 2 為使用自然採光板之工廠屋頂示意圖。



圖 2 使用自然採光板之廠房

(3)合適的照明控制規劃及廠房管線配置：

- a.依工作區域屬性不同設置獨立迴路。工廠特殊加工作業區及一般產品作業區的照明迴路可分別獨立使用，當製程無需特殊加工時可將此區域照明關閉。
- b.利用自然採光需關掉窗邊燈具區域，可設獨立開關或使用調光型電子安定器配合光感應接收器，可依當時區域照度自動調配照具亮度。如圖 3 所示。
- c.對間歇性使用的空間或出入較不頻繁的走道可採用感知器(Occupancy Recognition)控制點燈開關。
- d.工廠管線配置需注意是否對於照明設備造成遮蔽，影響區域亮度並浪費點燈使用所使用之電費。如圖 4 所示。



圖 3 近窗戶之照明設備設獨立開關或調光型電子安定器





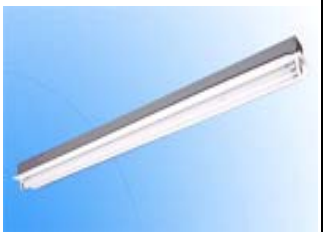
圖 4 工廠照明設備被輸送管線所遮蔽

(4)使用高效率的照明設備：

- a.將高耗能白燈泡及低效率的 T8、T9 螢光燈管改成高效率的 T5 螢光燈管並搭配電子式安定器，約可節省 40%~60% 的用電支出。如表 2 所示。
- b.使用 M 型高效率反光燈罩，可降低光線被自身燈管的遮蔽作用，並以較少燈管瓦數及燈管數目而達到相同照度。如圖 5 所示。
- c.選用獲得「節能標章」認證之產品，代表此產品有能源使用效率比國家認證標準高 10~50%，在相同功能條件的使用狀態下，有較少之能源使用量及負擔較低之能源使用費用，可使廠內節能更有保障。如圖 6 所示。
- d.選用照明設備時須注意輝度對使用者的影響，高輝度之燈具會對使用

者感到刺眼產生炫光，發光光度越高，發光體對眼睛的投射面積越小，輝度直越高，對眼睛的刺激及不舒服的程度也越高。

表 2 傳統 T8 燈管改用 T5 燈管之節能方案

方案內容	原來吸頂式燈具	改善方案 1	改善方案 2
			
燈管型式	T8	T5	T5
燈管功率	40W	28W	28W
燈管數量/每盞燈具	2	2	1(有加反光片)
安定器	傳統式	電子式	電子式
平均壽命 (HR)	6,000	15,000 以上	15,000 以上
整組耗電(W)	95	57	29
現場照度(LUX)	700	800	750
點燈組數	1	1	1
每天點燈時數	24	24	24
每月開工天數	30	30	30
平均電價 NTS/度	3.0	3.0	3.0
每月總電費	205	123	62
每年總電費	2,460	1,476	744
節電率%	--	40%	69.76%

資料來源：暉肯照明有限公司網站

<http://www.wecant5.com.tw/Knowledgeshow.asp?id=116&mnid=108&classname=完成案例&uppage=/Knowledge.asp>

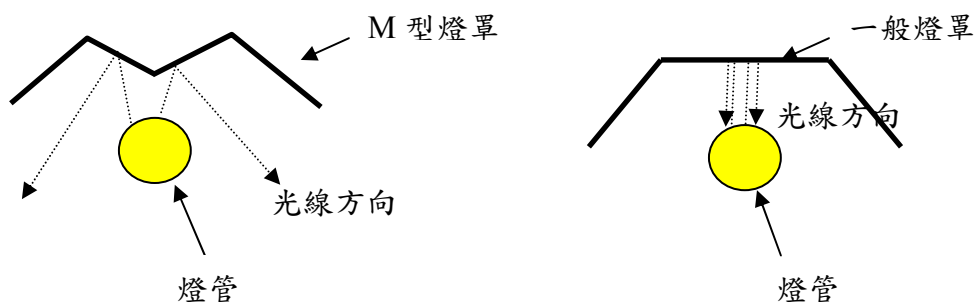


圖 5 M 型燈罩與一般燈罩剖面示意圖



圖 6 CNS 節能標章

(5) 使用易於維護管理的設計：

照明設備易因日積月累的灰塵或達使用年限，導致光通量降低產生照度不佳等問題，因此定時擦拭保養燈具及換下壽命到期的光源為必要之工作，如表 3 所示，提供不同光源最經濟清掃預估時間；且應採用易於維護管理之照明方式及照明器具，將可減少維修人力的使用。如圖 7 所示，在高大廠房屋頂使用升降式燈具，可方便維修保養及大幅降低燈具更換時工安意外之風險。

在工廠初設規劃照明或擴建增設廠區及管路時，若能掌握以上原則，不僅可節省照明所使用的電費成本支出，更可營造出明亮舒適的工作環境，這才是照明的最終目的；若是為了節省電費支出，使用不合適的照明設備而產生更多的問題，不僅無法獲得努力節省的成果，還要花更多的時間與金錢處理及善後，這才真的是得不償失。

表 3 不同光源最經濟清掃的預估時間

周圍環境	清掃容易度	白熱電球	螢光燈	HID 燈
清潔	容易	5-15 個月	2-6 個月	3-10 個月
	普通	15-20 個月	6-9 個月	10-12 個月
	困難	20-25 個月	9-12 個月	12-15 個月
普通	容易	3-10 個月	2-5 個月	3-6 個月
	普通	10-12 個月	5-7 個月	6-9 個月
	困難	12-15 個月	7-9 個月	9-12 個月
非常容易污染	容易	2-6 個月	1-4 個月	2-5 個月
	普通	6-9 個月	4-6 個月	5-7 個月
	困難	9-12 個月	6-8 個月	7-9 個月



圖 7 升降式燈具方便維修及保養

三、正隆公司照明設備節能改善案例

正隆公司一向對工業安全及環境保護工作不遺餘力，為提高廠區作業環境品質及節省照明用電，正隆板橋廠率先將廠區 T8(40W×2)舊式燈具全面改為 T5(35W×1)燈管搭配高效率反光罩及電子式安定器，其詳細規格如表 4 所示。工廠除了更換高效率省電照明設備外，並針對不同作業區劃分不同迴路，對需局部照明區域拉低燈具高度，以減少燈具使用數目；整體規劃改善下來，不僅提高現場照度約 15%，並節省照明用電支出 53%，255,624.5 元/年，減少碳排放量 65.03 公噸 CO₂/年，詳細節省用電數據如表 5 所示。



圖 8 舊式 T8(40W×2)燈具

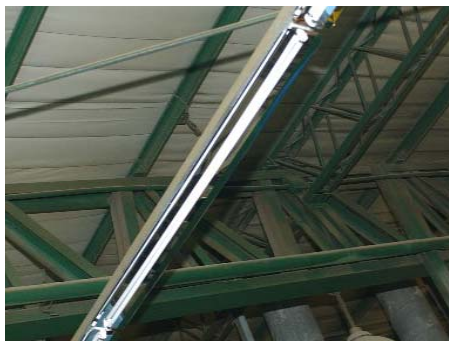


圖 9 新式 T5(35W×1)燈具

表 4 工廠舊式燈具與新式燈具規格表

燈具型式	改善前	改善後
	T8 工事燈 4 呎(120cm 長)	T5 工事燈 4.8 呎(144cm 長)
	220V 40W×2 燈	220V 35W×1 燈
	一般功率 傳統式	高功率 電子式
安定器型式及數量	傳統式 2 只	電子式 1 只
使用燈管數量	2	1
單支燈管光束(Lm)	2,700	3,650
單支燈管功率(W)	38	35
燈管色溫(°K)	6,500	6,500
演色性指數(Ra)	74	85
燈管平均壽命(hrs.)	6,000	20,000
單套燈總光束(Lm)	2,700×2=5,400	3,650×1=3,650
燈管發光效率(Lm/W)	71	104
單套燈消耗電流(A)	0.434	0.38
單套燈消耗電力(W)	86	42

表 5 工廠各區域節省電費評估表

位置	數量(盞)	使用時數	可省電費(元/年)
複瓦機	160	4,992	97,139.28
三菱送紙區	38	6,240	28,838.28
924	29	4,800	16,929.36
1227	42	6,720	34,325.64
1628	39	4,800	22,767.00
1125	24	6,240	18,213.60
平軋	42	5,760	29,421.96
平板 送貨區	73	8,640 (約開 50 盞)	7,989.36
合計	447	48,192	255,624.5

四、結 論

隨著社會進步，台灣已從高耗能重工業逐漸發展至技術導向之科技產業，照明的需求也因為新式廠房興建與 24 小時生產而大幅提高，照明耗能佔工廠用電比例也因此不斷上升，合理的照明工程規劃即是從設計之始，兼顧節能與照明品質之需求，利用完善的控制系統及省電燈具的使用，並有正確的照明使用及定期維修保養燈具之習慣，以達到舒適照明及綠色節能雙贏之目標。正隆板橋廠於 98 年初籌組清潔生產中衛體系，並成為體系中第一位使用節能照明設備之成員，對此改善成果成，體系各成員均深感興趣，若能將此改善策略成功推廣至每個體系成員，甚至整個正隆事業群或各產業之中，相信可以帶來龐大清潔生產及節能減碳之效益。

五、參考文獻

1. 陳鼎周，「校園圖書館照明用電節能措施」，能源報導節能案例，97 年 5 月。
2. 照明系統 Q&A 節能技術手冊，經濟部能源局，財團法人台灣綠色生產力基金會，97 年 1 月。
3. 孫培貞，「新世代節能環保照明-白光 LED」，生活科技教育月刊，94 年 11 月。
4. 黃章良，「企業如何應用綠色產品節能減廢-裕隆汽車在照明系統的實際

- 改善案例」，2003年清潔生產暨永續發展研討會，92年11月。
- 5.蕭弘清，「照明節能技術」，節能績優廠商節能技術原理及案例分析，92年1月。

全球綠色包裝評估發展現況與我國未來推動芻議

楊為凱*、李欣璋**、陳致谷***

摘要

綠色包裝評估(Green Packaging Evaluation)程序與工具，可引導包裝設計師(Packaging Designer)與包裝使用者(Packer)選用對環境衝擊相對較低之包裝設計選項，而達成包裝環境化設計、源頭減量與降低廢棄物回收處理負擔之目標。近年來英國、美國、澳洲與歐盟，皆推出綠色包裝相關評估程序與工具，作為政策宣導、供應商管理與法令推動之用，包括：英國的 Pack-In ToolTM、沃爾瑪的 Packaging Scorecard 與澳洲的 PIQETTM等，顯示綠色包裝已成為全球政府與產業關注的重要環保議題。

本文於探討分析全球綠色包裝評估發展趨勢與內涵後，嘗試結合上述各國推動經驗與我國未來實施需求，研提適合我國之綠色包裝評估工具芻議。本評估工具主要考量包裝設計師與包裝使用者之需求，從包裝材料階段到運輸階段，提出權重化環境負荷參數係針對包材、加工及運籌等三方向下建構及空、水、廢三大項量化環境負荷數據，包括：二氧化碳排放量、等。此外，本評估工具並納入歐盟包裝指令基本要求事項(Essential Requirement)之精神，協助工具使用者找出限制包裝綠色設計之關鍵領域，搭配省資源、易回收與低污染三項綠色包裝設計準則，協助包裝設計師與包裝使用者選用對環境衝擊較低之包裝設計選項，達成減少包裝廢棄物及降低包裝環境衝擊的目標。

【關鍵字】包裝設計、綠色包裝評估、包裝減量

*永發環境科技管理有限公司 計畫專員

**永發環境科技管理有限公司 專案經理

***永發環境科技管理有限公司 總經理

一、前言

參酌國內外綠色包裝評估程序發展情形、考量綠色包裝評估作業需求與包裝相關產業廠商試行後反應意見，在我國綠色包裝設計評估程序上，本文建議結合(1)考量各種產品包裝在行銷、安全、物流等項目包裝設計需求，(2)以「省資源、低污染、易回收」概念推動綠色包裝設計、(3)提供明確簡易的評估作業程序，降低因生命週期衝擊盤查(LCiA)與生命週期衝擊評估(LCA)複雜性與不確定與(4)以循環性(Cyclic)改善的思維，提供包裝設計者/產品製造者找出結合綠色包裝設計手法之產品綠色包裝設計，作為後續推動包裝設計者綠色包裝宣告基礎。

二、國際評估綠色包裝發展趨勢

現行國際上所推廣的永續包裝方式可分為四大類：(1)包裝計分卡(Packaging Scorecards)，(2)包裝設計綱要(Design Guidelines)，(3)法令規範(Regulation)及(4)生命週期分析工具(Life Cycle Decision-making tools)^[1]，此四大類評估方式並非皆以單一評估方式存在，常以複合式類別提供業者作為評估的參考。其中美國 Wal-Mart Package Modeling Software 及永續包裝聯盟(Sustainable Packaging Coalition)的評估方式則為結合包裝設計綱要及生命週期分析作為引導。至今，生命週期評估概念已逐漸推廣及重視，因此，生命週期評估方式已經成為許多國家聯盟的評估架構目標，如、澳洲 Packaging Impact Quick Evaluation Tool(PIQET)、及永續包裝聯盟 COMPASS、英國 EnviroWise Pack-In Tool，皆為開發產品包裝綠色設計評估公用軟體。該軟體需結合產品綠色設計及生命週期分析工具及資料庫。其中 COMPASS 甫於 2009 年春天發表及 EnviroWise 皆為新開發的網路評估平台，其操作界面簡圖如下。

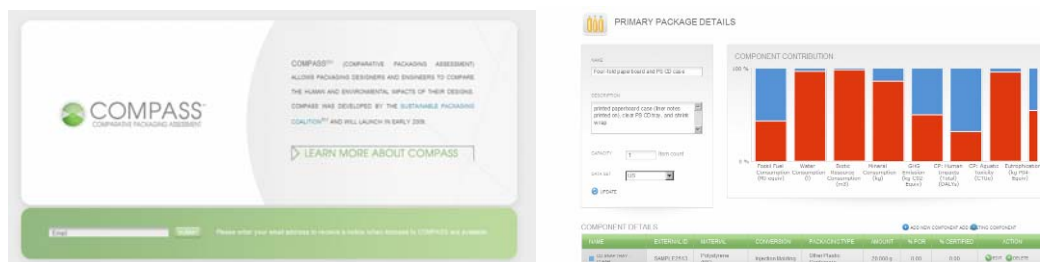


圖 1 美國永續包裝聯盟 COMPASS 網站^[2]

1. 美國永續包裝聯盟 COMPASS

永續包裝聯盟(Sustainable Packaging Coalition, SPC)主要係由大型產品製造商(例如可口可樂)或零售業所組成之包裝聯盟，該聯盟主要任務為

推廣並行銷一個具有正面環境願景的包裝，同時鼓勵可藉由供應鏈的合作，提升經濟與環境價值的創新包裝材料與包裝系統。其中比較性包裝評估計畫(Comparative Packaging Assessment, COMPASS, 入口網站, 如圖 1)為 SPC 基於上述組織願景與為達成 SPC 所定義之永續包裝目標，而自 2005 年即開始進行開發的線上工具。

藉由 COMPASS 專案資料庫中，提供包裝設計師與包裝工程師，比較分析各種包裝設計組合之人類與環境衝擊(Human and Environment Impact)後，再基於生命週期評估矩陣(Life Cycle assessment Metrics)產出比較性環境報告(Comparative Environmental Profiles)。

2. 英國 EnviroWise Pack-In Tool

屬於英國政府的 EnviroWise 主要功能係用以提供免費且獨立的輔導，以協助英國企業達成更具資源使用效率(Resource Efficient)也同時可降低經營成本的經營模式的獨立機構。其中 Pack-In Tool 為一結合不同觀點來協助評估包裝設計的工具如圖 2。



圖 2 英國 EnviroWise Pack-in Tool 網頁評估平台^[3]

藉由建立不同版本的包裝設計包含現行設計(Current Version)及概念設計(Concept Version)，建置不同的設計概念，產出項目包括回收料百分比(Recycled Content)、可回收性(Recyclability)、產品/包裝體積比值(Product/Pack Ratio)、體積效率(Volumetric Efficiency)、包裝中涵括的碳含量(Embodied Carbon)與運輸共六項指標，以提供包裝設計者選用對環境衝擊較低的包裝設計。

鑑於上述國際間針對綠色包裝上的努力，自 1994 年歐盟包裝物與包裝廢棄物指令(EU. Directive 94/62/EC)施行開始，陸續相關產業的投入及發展趨勢可由圖 3 中了解到，近年來 LCI/A 盛行於包裝評估架構中，優勢在於能清楚分析包裝所產生的環境衝擊及生命週期各階段的影響權重，因此，國內包裝生命週期架構的建立與評估程序發展具有趨勢及潛力。

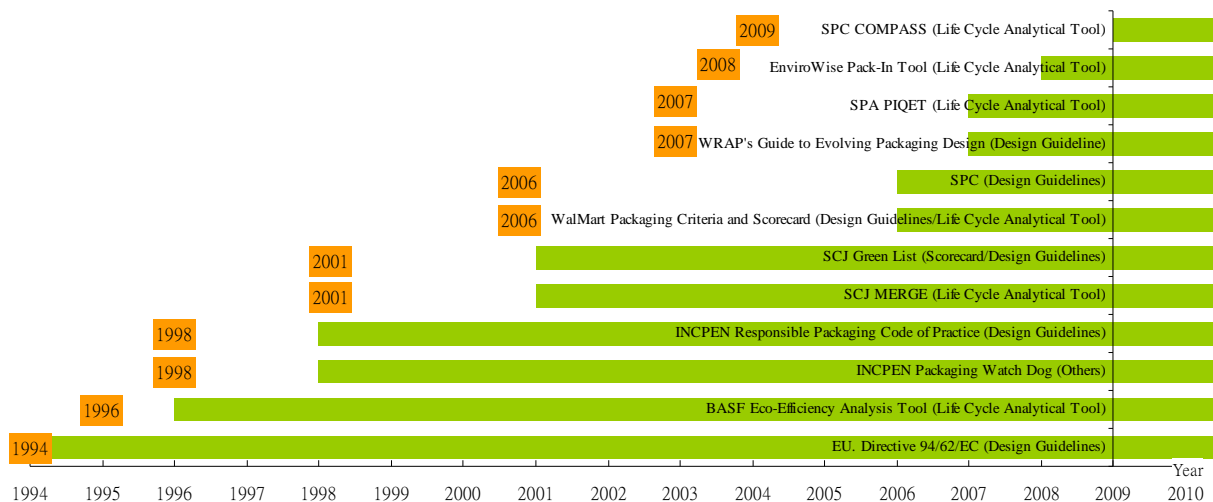


圖 3 國際推廣之永續包裝相關方式及年份關係

三、我國包裝設計管制法規

環保署依據資源回收再利用法(以下簡稱資再法)^[4]第 14 條授權內容，爰於 94 年 7 月 1 日公告限制產品過度包裝(環署廢字第 0940050818E 號)，自 95 年 7 月 1 日起，限制糕餅禮盒、化粧品禮盒、酒禮盒及電腦程式著作光碟過度包裝；後於 96 年 7 月 1 日起限制加工食品禮盒過度包裝，為我國推動廢棄物零廢棄政策目標重要措施之一。

其管制內容限制其指定產品之包裝空間比例、層數、使用材質之種類及數量，其中的包裝層數及包裝體積比值限制如表 1，最終目的在於減少包材的使用、增加資源回收性、減輕環境負荷及減少廢棄物產生。

表 1 限制產品過度包裝法規^[4]

指定產品	包裝層數	體積比值
酒禮盒 化粧品禮盒 加工食品禮盒	2 層以下 (自單元產品起算)	$\frac{\text{包裝體積}}{\text{額定包裝體積}} < 1$
電腦程式著作光碟	3 層以下 (自裸片起算)	
糕餅禮盒	3 層以下 (自裸餅起算)	

資料來源：行政院環境保護署(2008)，97年度產品包裝綠色設計推動計畫。

依據現行公布法令限制，僅針對材料的使用上做變化，因此，為穩健協助推廣綠色包裝設計至各業者，且為了達到克服產業產品的差異，提供綠色設計概念從包材選用，加工印刷到運輸，等階段式評估，取代單一環

境衝擊量化值評估方式，更能有效使業者了解其包裝設計綠色現況，並可藉由比較方式來達到進一步的綠色設計。

四、生命週期分析概念在包裝設計階段的應用

以生命週期觀點分析包裝生命週期，整體而言從原料到製造、運輸、消費使用及廢棄階段如圖 4，可以大致上了解包裝主要產生環境衝擊的幾個階段，包括：原料的製程、包裝加工印刷、運輸及廢棄。而就包裝消費使用階段其中會產生的環境負荷比重相較於一般電子產品使用階段所耗用的能資源而產生的環境負荷比重是較低的。

鑒於上述考量，包裝生命週期評估的系統邊界設定，現階段則針對下列三階段(原料、印刷加工、運輸)下的 6 項環境化指標(二氧化碳(CO₂)、氮氧化物(NO_x)、硫氧化物(SO_x)、生化需氧量(BOD)、化學需氧量(COD))及 6 項因子(原料碳排放、印刷碳排放、印刷油墨揮發性有機物(VOC)排放、運輸碳排放、運輸效率及資源回收率)據以建立一評估平台提供使用者作為設計上的環境面考量。

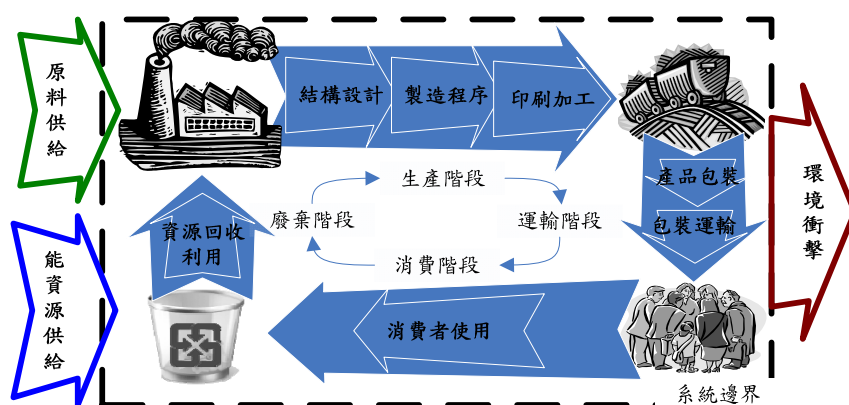


圖 4 包裝生命週期系統邊界

1. 包材選用階段之環境衝擊考量

包裝原料選取的階段，其中所被考量到的環境衝擊來源，包括原料的製造過程中直接或間接產生的環境衝擊，因此，就空、水、廢三方向包括二氧化碳(CO₂)、氮氧化物(NO_x)、硫氧化物(SO_x)、生化需氧量(BOD)、化學需氧量(COD)與產廢棄物量為包裝設計評估架構的評估指標項目。

二氧化碳(CO₂)、氮氧化物(NO_x)、硫氧化物(SO_x)在空氣污染物中所代表的意義中，二氧化碳指標為結合節能減碳政策，並具有較高辨識度，而硫氧化物(SO_x)或氮氧化物(NO_x)，在大氣中經過複雜的化學反應，形成硫酸或硝酸氣懸膠，將會經過食物鏈進入人體，影響人類的健康。而水污

染物指標中，生化需氧量(BOD)亦稱生化耗氧量。是表示水中有機化合物等需氧物質含量的一個綜合指標。化學需氧量(COD)是用氧化劑(如重鉻酸鉀或高錳酸鉀)在一定條件下氧化水中有機污染物質和一些還原物質所需的氧量。當水中的污染物超過了一定的限度，河川中的溶氧量就會大量降低，而生物需氧量和化學需氧量也相對的提高，水中微生物的種類及作用型態也跟著改變。此外，響應環保署訂定「零廢棄政策」^[5]。在廢棄物部分，顯示廢棄物產生量的意義除了可做好廢棄物管理並朝向減少資源消耗、抑制源頭廢棄物產生。

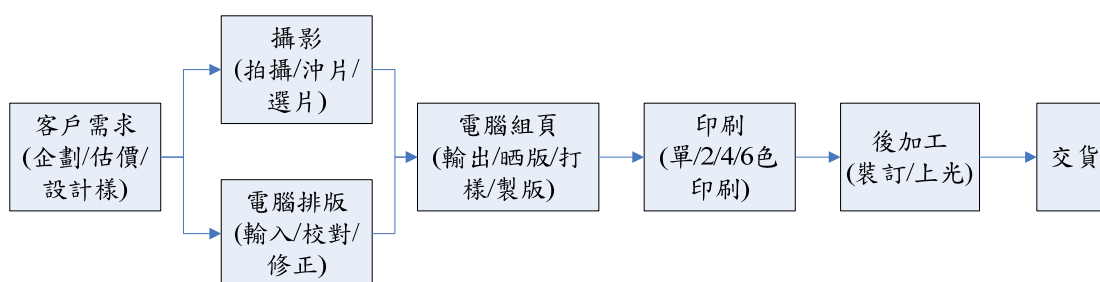


圖 5 印刷作業流程圖^[6]

2. 印刷加工之環境衝擊考量

包裝加工(印刷)期間，其中印刷作業流程(如圖5)主要分為前製作業以電腦作業為主及後加工處理，而中段的印刷作業則為作業的主要程序，不僅產量大耗用能資源也相較其他兩階段為多，因此，此評估過程甫以印刷機種及印刷面積的差異而產生能資源耗用的不同，間接產生二氧化碳排放作為評估參數，印刷機種可分類為單色印刷、雙色印刷、四色印刷、六色印刷^[7]四大類，而印刷面積則影響印刷的時間長短即反映至能資源的耗用。此外，印刷時可能產生大量的油墨廢料及揮發性有機物(VOCs)，油墨廢料的處理上為棘手的問題，另外，對於作業人員而言，油墨中的揮發性有機物(VOCs)對人體將產生不良影響，要解決油墨污染的問題應從源頭改變油墨的組成份方面著手，若能採用有利於環保的材料，將能有效減少印刷產業污染源。

本文藉由此一關係提供業者(設計師)了解到不單只有一開始的包材挑選所產生的環境負荷需被考量，其後的印刷加工亦具有環境上的考量，以提供使用者從不同觀點在包裝設計上。

3. 運籌階段之環境衝擊考量

以物流運輸來評估產品綠色包裝，則可以同時就業者角度及環境面上做考量。在業者角度上從結構的精簡、運輸經濟成本(cost down)中所提升

的運籌系統效率，為朝向綠色設計雙贏面著手，此外，就環境面考量下，藉由運輸效率的提升、運輸次數的減少，而降低環境負荷(如溫室氣體、碳氫化合物及氮氧化物等)，也與成本經濟相呼應。因此，針對蒐集分析包裝對運籌系統效率提升相關資料，據以建立分析包裝對運籌系統效率提升的系統，提供包裝設計者在設計上的參考並促使業者投入綠色包裝設計上。

五、建立評估流程架構

基於國際間包裝法規及相關評估架構建立，並清楚建立包裝評估的系統邊界及目標後，綜合上述優點及限制來建置適用本土的包裝評估流程如圖 6，內容為綠色包裝評估流程整體結構及作法，其過程由上而下從使用者提供初級/二級/三級包裝盤查資訊甫以計算出三階段(原料、印刷加工、運輸)中的環境負荷，並結合歐盟 EN13428 的綠色包裝設計關鍵領域中的資訊協助了解包裝設計上的限制，最後透過創新設計的設計面向(省資源、易回收、低污染)提供綠色設計概念於使用者，藉由建立不同專案(包裝盤查資料)同時來比較，產出較符合廠商需求並可達到環境保護之效。

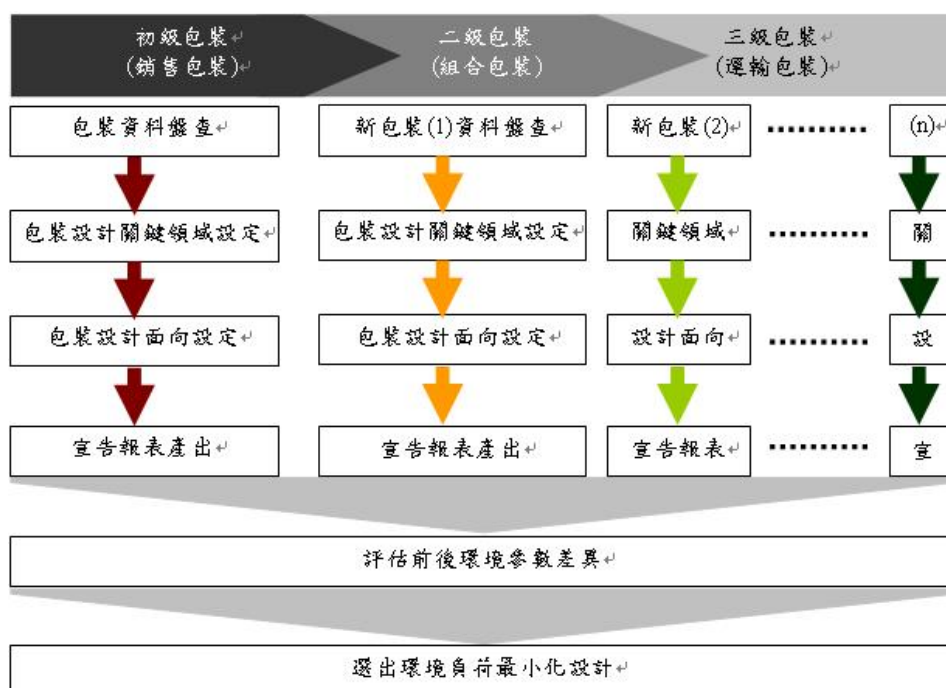


圖 6 評估流程與架構

綜言之整個架構下包含三個流程結構：1.環境化設計參數評估流程、2.包裝設計關鍵領域設定、3.包裝設計面向選取，從環境化評估(Life Cycle

Analytical)並透過歐盟法規(Regulation)及設計概念(Design Guidelines)指引，據以結合三方位的包裝綠色設計概念。其詳細內容如下。

1.環境化設計參數評估流程

著手於生命週期觀點於包裝上如第四節所述，分為三階段分析從原料使用上做空(CO₂、NO_x、SO_x)、水(BOD、COD)與廢棄物產出三方面之計算，並延伸至加工印刷及運輸階段，提供環境化參數(碳排放率、能源耗用率及 VOC 排放率)，及結合實務性因子(如，運輸效率)提供較全面性的綠色設計參考數據於業者包裝設計上。以下為三階段分析的目標、相關影響參數及計算式。

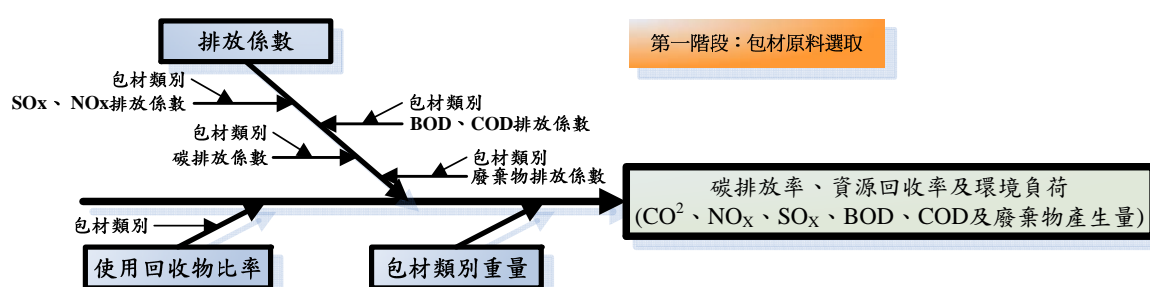


圖 7 包材原料階段評估程序之輸入及產出

(1)包材：第一階段為包裝原料選取評估階段如圖 7 所示，藉由魚骨圖(Fishbone Diagram)清楚顯示出此一階段的產出所需的資料提供及其相關性，依據排放係數、包材重量，以百分率的方式計算出平均包材(Kg-CO₂/Kg-包材)的碳排放率，據此分析各包裝的排放率，消弭不同設計概念下產生的差異(如、體積、重量等)，如式 1 所示。

$$M_s = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (M_i \times EF_i)}{(\sum_{i=1}^n M_i) \times 4} \right] \times 100\% \quad \cdot \cdot \text{式 1}$$

式中：

M_s=總原料碳排放率(%)

M_I=第 I 種包裝材質重量(Kg)

EF_I=第 I 種包裝材質碳排放係數(Kg-CO₂/Kg-包材 I)

此外，並針對包材使用的再生料做調查，數據來源為使用者輸入，提供選單式包含 0%、0~10%、10~20%、20~30%、30~40%、40~50%、50~60%、60~70%、70~80%、80~90%、90%以上，因此，數據的準確度並非最優先讓業者來提供，以導入政府積極提倡資源回收再利用的概念，將此概念從

設計面導入，同時可響應環源頭減量思考的灌輸，並促進回收率的提高，進而降低生原料的使用朝向永續發展的目標^[8]。

(2)印刷加工：圖 8 所示第二階段目標包含兩項，其一為能源耗用率評估，藉由印刷機種的不同(單色印刷、雙色印刷等)^[7]，產生的印刷效率差異，間接反映在耗能上。計算方式如式 2。

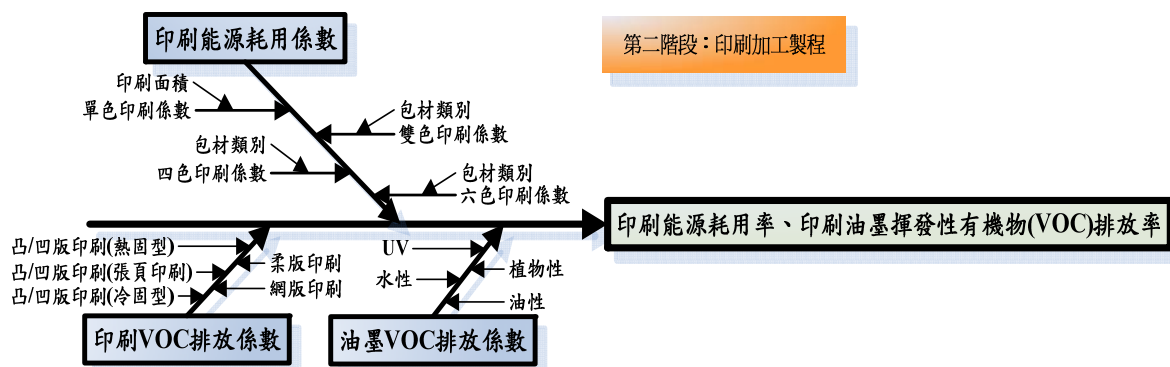


圖 8 印刷加工階段評估程序之輸入及產出

$$E_s = \frac{\sum_{I=1}^n E_I \times A_I}{4.2 \times n} \times 100\% \quad \cdot \cdot \text{式 2}$$

式中：

E_s =總原料碳排放率(%)

E_I =第 I 種印刷機種效率

A_I =第 I 種包裝材質印刷面積(%)

第二部份在探討印刷時可能產生大量的油墨廢料及揮發性有機物(VOCs)的排放率，對於作業人員而言 VOCs 對人體將產生不良影響，要解決油墨污染的問題應從源頭改變油墨的組成份方面著手，若能採用有利於環保的材料，將能有效減少印刷產業污染源，因此，藉由印刷方式及印刷油墨的差異，來評估 VOCs 的排放率^[9]，如式 3。

$$V_s = \frac{\sum_{I=1}^n (V_I \times I_I)}{n} \times 100\% \quad \cdot \cdot \text{式 3}$$

式中：

V_s =總 VOC 排放率(%)

E_I =第 I 種印刷技術 VOC 排放係數

I_I =第 I 種油墨種類 VOC 排放係數

(3)運輸：圖 9 為此階段以運輸碳排放及運輸效率為目標下分析，於運輸碳排放上如式 4-1 至 3 所示，從數據中發現單就考慮運輸方式及排放係數^[11]不足以代表運籌後續的整體的碳排放，主要因素為運輸距離，鑒於國內線及國際線的運輸距離差異效益，可產生甚大的碳排放差異，因此，式中分為國內線及國際線分開計算，國內線計算式中數據 240 為經假設運輸距離 300 公里及運輸效率為 50%的狀態下，所產生出的預想最大值，而國際線計算式中數據 6,840 為經假設運輸距離 6,400 公里及運輸效率為 50%的狀態下，所產生出的預想最大值。

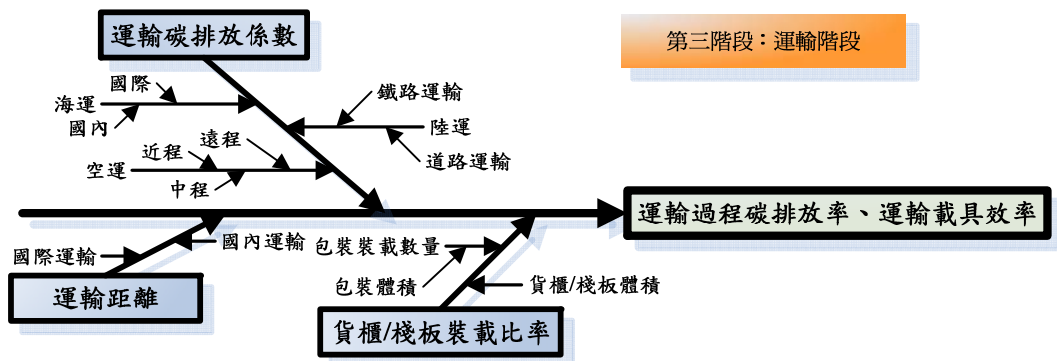


圖 9 運輸階段評估程序之輸入及產出

$$T = [(T_{s1} + T_{s2}) \div 2] \times 100\% \quad \cdot \cdot \text{式 4-1}$$

$$T_{s1} = \sum_{I=1}^n (T_I \times D_I \div F_I \div 240) \quad \cdot \cdot \text{式 4-2}$$

$$T_{s2} = 1 + \sum_{I=1}^n (T_I \times D_I \div F_I \div 6840) \quad \text{式 4-3}$$

式中：

T=總運輸碳排放率(%)

T_{S1}=國內線總運輸碳排放率(%)

T_{S2}=國際線總運輸碳排放率(%)

T_I=第 I 種運輸方式排放係數^[9]

D_I=第 I 種運輸距離(公里)

F_I=第 I 個貨櫃/棧板裝載效率

次為運輸效率(如式 5)上的影響，運輸效率為載具規格(mm³)與運輸包

裝規格(mm³)下所產生的關係式，由於較好的運輸效率反應出較低的運輸碳排放率值，在此特為納入運輸效率考量，利用運輸效率的高低影響後續運輸碳排放率的計算值。

$$F_s = \frac{\sum_{I=1}^n (P \times N_I) \div C_I}{n} \times 100\% \quad \cdot \cdot \text{式 5}$$

式中：

F_S=總平均運輸效率(%)

P=包裝體積(mm³)

N_I=第 I 種載具/棧板的裝載數量(個)

C_I=第 I 種載具/棧板的體積(mm³)

2. 包裝設計關鍵領域

完成第一部分生命週期的環境化評估後，第二部份參酌歐盟 EN13428^[12]於原始包裝設計上探討關鍵領域，提供使用者/設計師了解所設計之包裝於十項關鍵領域中是否有足以影響包裝物之最大減量因子，而無法在持續進行包裝之減量化設計。促進業者開始考量進行包裝物最小化之可行性，進而鑑別出一項最可能達到限制其持續進行減量活動的關鍵領域(Critical Area)。並提供證明所使用包裝系統是否使用最少材料、可回收與符合毒性物質含量規定，進一步自我宣告與提供相關證明包裝減量文件。

因此，業者在評估是否達到減量最小化第一部分的必要要件，是能否自包裝製程中列出相關包裝減量的關鍵領域，並鑑別出一個或以上可以關係到產源減量能否達成極限的關鍵區(Critical Area)。如果對此區域再作進一步減少包裝的工作，就會無法達成對於包裝物所要求各領域之標準。以下標準列出關鍵領域為十項：

- (1)產品保護
- (2)包裝物製程程序
- (3)包裝/填裝程序
- (4)後勤(包括運輸、倉儲及搬運)
- (5)產品展示與行銷
- (6)消費者接受度
- (7)資訊
- (8)安全
- (9)法規

(10)其他相關議題

如果使用者無法鑑別出以上任何一個領域屬於關鍵領域，則表示尚具有進一步減少包裝物的潛在機會，因此無法符合此標準。另一方面來說，如果測試到進一步減少包裝物數量，將會造成無法接受的包裝物失敗率，則表示包裝物最少化的關鍵點已經達到。提出一項使用自我評估方式來決定評估程序要求事項是否被符合之架構。

3.包裝設計面向

綠色包裝設計評估軟體開發目標的設定應滿足環保署推動綠色包裝設計之企圖、與需求。由於我國包裝產業發展的歷程，在綠色包裝議題上普遍欠缺統性的論述與兼具涵括生命週期評估概念的綠色包裝設計準則；本計畫配合 97 年度綠色包裝設計活動的舉行，藉由設定評選規範會議，初步確認綠色包裝推動目標與本系統應達成之評估標的(即綠色設計手法)，如表 2 所示。

表 2 綠色包裝設計評估項目

省資源	無包裝之設計
	包裝材質輕量化
	包裝體積最小化
	新式結構設計，減少包材用量
	使用回收再生之包裝材料
	其他
易回收	可回收再包裝原產品之設計
	包裝材質單一化
	產品包裝可轉換其他功能使用(如儲物、展示...等等)
	使用可回收再生之包材
	使用可能源回收之包材
	使用可生物分解(堆肥化)之包材
	不同包裝材質易拆卸分離
	包裝結構易拆解
其他	
低污染	增加運輸效率(包裝數量/載具)
	減少印刷加工過程
	使用不含有害物質的印刷油墨與避免使用黏膠
	其他

資料來源：本研究彙整。

4.評估結果呈現

完整執行三個流程後(環境化參數評估流程、包裝設計關鍵領域設定及包裝設計面向選取)，甫以表格及圖形模式宣告評估結果，圖 10 顯示 6

項環境化參數評估結果，從包材、印刷加工到運輸階段之生命週期評估導向，並以包裝設計專案比較來獲得相對訊息，針對已改進或待改進之事項提供業者再設計方針。

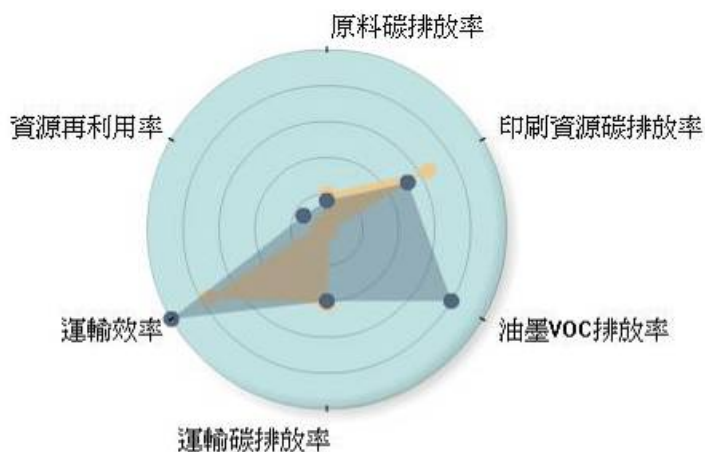


圖 10 評估結果-雷達圖

此外，包材選取上所產生的環境量化指標(CO₂、NO_x、SO_x、BOD、COD、廢棄物產出量)，以柱狀圖方式呈現不同包材(色塊)所產生的總量如圖 11，由於雷達圖以碳排放為主要的環境衝擊評估項目，為補足雷達圖中環境面的考量。

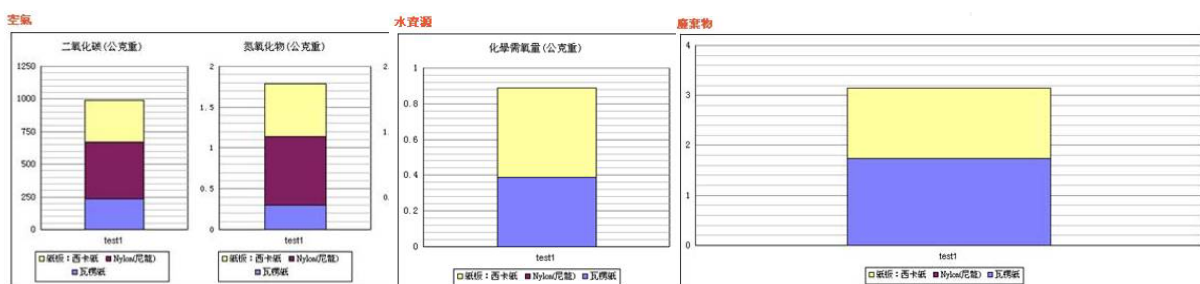


圖 11 評估結果-柱狀圖

除了環境化評估流程，於設計關鍵領域中所提供設計者歐盟法規在包裝上的設計限制及指引，及設計面向流程中的綠色設計宣告及方針，均導向包裝綠色設計概念前進。

六、結 論

本研究特色，其一為探討藉由分析比較包裝設計各包裝材料、包裝印刷、包裝加工、包裝運輸效率、包裝運輸模式與資源再利用情形作為綠色

包裝評估改善指標，避免單以環境衝擊量化值作為評估的產出，以釐清各產品製程中針對綠色化所作之努力。此外，各環境參數上的關聯性設計，促使包裝設計者從中思考其中的取捨，關聯性包括再生資源的利用取代生原料的使用，直接影響包材製成的環境負荷產生；印刷機種類與印刷面積、印刷板類及油墨類別之間如何選擇降低能源消耗及低 VOC 排放上做考量；運輸碳排放及運輸效率間，可提供誘因於設計者在包裝減量上，由於包裝的減量，包材/運輸成本的降低，運輸效率的提升，皆提供業者設法取得雙贏的局面。

其二為結合不同的評估模式從生命週期分析，法規限制到設計綱要等特點，皆納入了評估程序中提供環境面以外的考量及再設計的參考，表 3 為包裝評估平台之比較，針對有使用生命週期分析之工具(Life Cycle Analytical Tool)做分析，評估模式的差異上，國際上現行開發多以單單生命週期考量做評估，僅 Wal-Mart 開發的納入計分卡(Scorecard)及設計綱要(Design Guidelines)，而最後的宣告部份以 CO₂ 為主，其他模式也以溫室氣體作為主要的評估項目。再運籌議題上仍屬較新穎評估項目，國際上於英國 Pack-In Tool 有多做著墨，在其他平台尚無相關探討，然而現階段的導入，仍需未來的持續發展使趨於完整。

表 3 納入生命週期分析之包裝評估平台比較

模式名稱	評估模式	資料庫	運籌倉儲	宣告表
SPA. PIQET™	◆ 生命週期分析	澳洲 LCI 資料庫	無	溫室氣體 固體廢棄物
Wal-Mart™	◆ 計分卡 ◆ 設計綱要 ◆ 生命週期分析	混合性 LCA 資料庫	無	CO ₂
SPC. COMPASS™	◆ 生命週期分析	美國/歐洲 LCA 資料庫	無	無
EnviroWise Pack-In Tool™	◆ 生命週期分析	工業公開性資料	運輸效率	無
本研究	◆ 生命週期分析 ◆ 歐盟法規 ◆ 設計綱要	混合性 LCI 資料庫	運輸效率 運輸碳排放	空氣污染物 水污染 固體廢棄物

資料來源：本研究彙整。

七、參考文獻

- 1.Extended Producer Responsibility Task Group, CCME, Inventory of sustainable Packaging Initiatives and Proposed Approach to Develop Sustainable Packaging Guidelines, 2008.

2. Comparative Packaging Assessment (COMPASS), <http://www.design-compass.org>
3. EnviroWise, Our Services, <http://www.envirowise.gov.uk/uk/Our-Services.html>
4. 行政院環境保護署(2008), 97年度產品包裝綠色設計推動計畫。
5. 行政院環境保護署(2009), 廢棄物資源循環零廢棄推動情形,
<http://www.epa.gov.tw/>
6. 鴻辰印刷股份有限公司, 印刷流程,
<http://www.fpprint.com.tw/servicesol.html>
7. 微閣工業股份有限公司, 印刷機類型,
<http://www.guger.com/chinese/Product-20051115103541.htm>
8. 行政院環境保護署(2007), 九十六年度資源回收再利用年報,
http://waste1.epa.gov.tw/ier_web/?ctype=B&cid=ier_web&oid=www
9. Canadian Council of Ministers of the Environment, PN1301- Environmental Code of Practice for the Reduction of Volatile Organic Compound Emissions from the Commercial/Industrial Printing Industry, Winnipeg, Manitoba, R3C 1A3, http://www.ccme.ca/publications/list_publications.html
10. U.S. Environmental Protection Agency, Control Techniques Guidelines for Offset Lithographic Printing and Letterpress Printing, RTP NC, 2006.
11. 經濟部工業局, 溫室氣體盤查議定計算工具－移動源的CO₂排放量計算,
<http://proj.moeaidb.gov.tw/ghg/g03-0201.asp>
12. European Parliament and Council Directive on Packaging and Packaging Waste,
<http://www.ueanet.com/facts2/summ/sum-94-62-en.pdf>
13. US. Environmental Protection Agency, AP-42, <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/>

議程十二

1. 運轉中之空壓系統節能改善技術

葉慶得

2. 清潔生產技術應用於空氣污染物減量之成功案例

郭志軍、陳見財

3. 斷熱塗佈清潔生產技術與應用成功案例

陳明焜、司洪濤、郭志軍、卓憲騰

運轉中之空壓系統節能改善技術

葉慶得*

摘 要

台灣資源短缺，大部份能源需仰賴進口，且據科學家估計大約40年內將枯竭，高價能源時代已經來臨。油價飆漲對台電公司的成本結構造成負面影響，致使電費也水漲船高。京都議訂書早於2005年二月生效，二氧化碳減量環保公約已繼ISO 14000之後成為國際性的環保標章。台電生產每度電大約會產生637g的二氧化碳，國內企業能源使用效率若太低，產品無法取得認證，將受國際市場抵制無法走出國門。

空壓機(air compressor)系統運用於產業界非常普遍，幾乎與水、電一樣不可或缺，但其為高耗能低效率的生財設備，卻鮮少受到關注。由於工廠電費內包含許多機械設備及照明燈具的費用，致使能源成本高佔其總運轉成本約80%的空壓機系統，被大部份使用者忽略了。根據美國能源部資料顯示：空壓系統的節能潛力高達20%~50%。提高空壓系統效率的方法有許多，但必需因應現場、量身規劃，方能畢竟其功。

提高空壓機系統能源效率，不只攸關產業本身的生產成本與競爭力。當企業競爭日趨嚴峻、營收微利化後，產業除了必需不斷創新、降低成本以提升競爭力爭取市場外，更需以符合環保要求之綠色生產方式，提高能源效率、降低溫室氣體排放量，減少產業因經濟活動對地球環境的汙染，善盡地球公民的義務。

【關鍵字】無耗氣自動排水器、空壓機、空壓機節能、變頻控制

*能揚興業有限公司 總經理

一、前言

空壓機的能源成本約佔總運轉成本的80%，如何提高空壓機單機效率乃成為各家製造廠商努力的目標。但除了開發新一代的空壓主機、搭配高效率馬達提高其單機效率外。為數眾多使用中的空壓機系統，若能改善其系統運轉效率

，立即可以節省可觀能源、減低二氧化碳排放當量。

然而使用中的空壓系統運轉效率改善，端視其需求壓力、流量及加卸載變化而定，每個系統不盡相同，必需量身打造。故改善前量測、計算、器材選用、回收年限預估，均需經詳細規劃。本技術針對運轉中的系統實施節能改善，並以實際案例說明，冀望藉此推廣，為節能減碳盡一份心力。

二、空壓機之控制與效率

本文以實用為主，故以目前市場主流產品較常見之缺失項目，且耗能較高者為改善標的。

1. 空壓機種類

(1) 離心式空壓機

動力式壓縮機。藉由輪葉的高速運動使空氣快速流動，再使其通過升壓環(diffuser)，使空氣的動能轉變為壓力。因其功率較大，使用於較大型工廠，如化工、鋼鐵、紡織化纖等。

(2) 螺旋式空壓機

定排量式壓縮機。其工作原理是將空氣引導至一對非對稱齒型雌雄轉子之間，再利用2只非對稱齒型雌雄轉子的轉動，使封閉空間由大變小而達壓縮的效果，使得其中的空氣壓力上昇。其機台功率從5Hp到500Hp，甚至更大馬力，是目前為數眾多的市場主力。

2. 空壓機控制方式

(1) 負載/卸載控制

空壓機產出壓縮空氣量若大於使用量，系統壓力會持續升高。當系統壓力達到設定壓力時，空壓機即進行卸載。此時空壓機耗電降低，約為全載時之20~50%(視各廠牌、型式不同各異)。當壓力因現場使用而降低至設定壓力，空壓機再進行壓縮行程。此控制模式極為簡單普遍，但負載與卸載交互運轉，對馬達及空壓機體而言屬變動負荷，產生較大之內應力，影響其使用壽命。且系統無法穩壓輸出，壓力在一段壓力區間波動。卸載運轉時耗能仍大，為此控制模式的缺點。

(2) 容調控制

空壓機控制進氣閥開啟角度，改變空氣進入壓縮機的流量，達到穩壓的效果。此控制模式壓力穩定為其優點，對馬達或空壓機體產生之內應力較小，且運轉時控制零件使用率降低，減少空壓機故障機率。但使用風量降低時，耗電量並未等比例降低為其缺點。

(3) 變頻(變速)控制

空壓機根據現場風量需求，以變頻器改變馬達轉速，提供與使用側需求相當之壓縮空氣。空壓機沒有卸載之虛功損耗，所有能源皆用於產出壓縮空氣，是目前螺旋式空壓機最具效率之控制模式。但其控制反應精度與變頻範圍，不同廠家稍有差異。其缺點是：價格較高，頻率變化及電壓範圍受限。

(4) 多機連鎖控制

空壓系統若有2台以上的空壓機並聯使用時，此控制系統將設備分為「基載」及「變動負載」空壓機。「基載」空壓機以全載運轉，「變動負載」空壓機根據現場壓縮空氣需求變化，自動負載/卸載或自動啟動/停止，以符合現場需求達到節能效果。

此控制系統原理簡單，但技術層次極高，因為空壓系統的變化常於瞬間發生。受限於馬達啟動次數的限制及壓力感測器精度、空壓機運轉特性的影響，空氣壓縮機多台連鎖控制，可能會有以下種種能源浪費及故障風險：

- a. 「變動負載」空壓機卸載時間增加，系統運轉效率降低。
- b. 因應馬達啟動限制影響，備機增加。
- c. 系統無法以穩壓輸出，減低節能效果。
- d. 空壓機啟停頻繁，故障風險增加。

3. 空壓機的效率

(1) 單機效率

空壓機全載運轉時，產生每單位壓縮空氣所消耗的電能。單位為：
(kW/m³/h)

(2) 運轉效率

空壓機實際運用時(1台或2台以上之空壓系統)，大部分無法全時負載運轉，其每單位壓縮空氣實際所消耗的電能。單位為：(kW/m³/h)

4.空壓機的運轉成本分析

空氣無所不在，取之不盡、用之不竭，但一般而言4kW的能源輸入，最高才有1kW的壓縮能輸出。大部分的能源損失於機械磨擦、壓縮熱量的產生，可見空壓機是效率極低的生產輔助設備。

(1)空壓機的電能成本

空壓機實際運轉時，大部份無法全時處於負載狀態。部分時間於卸載狀況下運轉，故其總電能成本 = 卸載耗能+負載耗能。

一年的平均電能成本 =

$$\frac{\text{kW} * \text{工作系數} * \text{年運轉時數} (\text{負載運轉時數比率} + \text{洩載運轉耗電比率} * \text{洩載運轉時數比率}) \text{每度電費}}{\text{馬達效率}}$$

(2)壓縮空氣的總成本

空氣無所不在，但空氣並不等於壓縮空氣。環境空氣經由空氣壓縮機之作用，將電能轉化為壓力能。轉化過程需要空氣壓縮機及電能成本。供應至使用單位運用，尚需淨化處理、輸送管路及設備之定期維護等資金成本。所以壓縮空氣的總成本

$$= (\text{空壓機成本}) + (\text{淨化處理成本}) + (\text{輸送管路成本}) + (\text{維護成本}) + (\text{利息成本})$$

(3)單位壓縮空氣的成本 = 壓縮空氣的總成本 / 產出流量單位壓縮空氣的成本與空壓機型式、初購成本、單機效率、運轉效率有關。壓縮空氣對工廠而言是非常昂貴的能源，確認壓縮空氣的價值，可以提醒所有使用者認知其高價的本質，對減少壓縮空氣的誤用與浪費有莫大的幫助。而壓縮空氣的價值可依表1分析得到壓縮空氣的價值。

表1為常用之150 Hp 無油螺旋式空壓機，單位壓縮空氣成本分析。單位壓縮空氣的成本約為新台幣0.37元。

表1 壓縮空氣價值分析表

空壓機型式	無油螺旋式				
空壓機功率	110 kW	自由空氣量	17.5M ³ /Min	負載功率	121 kW
卸載功率	33 kW	負載時間	6,020 h	卸載時間	2580 h
運轉成本					
每kwh價格		2.2	乾燥機機成本		250,000
負載能源成本	1,602,524	6,020x121x2.2	每年平均成本	25,000	
卸載能源成本	187,308	2,580 x 33 x 2.2	過濾器成本		80,000
空壓機成本		2,500,000	每年平均成本	8,000	
每年平均成本	250,000	10%	每年濾蕊成本	54,000	9,000*6支
保養成本	125,000	5%	小計	2,251,832	
臨時修理成本	0	NT\$	每年利息	112,592	1125925%
周邊設備成本		管路、空氣桶	總成本(NT\$)	2,364,424	
潤滑油(公升)		NT\$			
每公升 潤滑油價格			每年產生氣量	6,321,000	M ³ /year
每年成本			壓縮空氣價值	0.37	NT\$

能揚興業公司整理

三、空壓系統常見缺失與節能潛力

1. 超量設計

工廠在設計之初，很難計算真正的壓縮空氣需求量，常以所需之尖峰用氣量為設計標準，並以一般設計機械的常用觀念“安全係數”加成選用空壓機。工廠內壓縮空氣的需求並非一成不變，當需求小於空壓機之輸出氣量時，空壓機即「卸載」，此時馬達仍然消耗電能，卻無壓縮空氣產出。此段時間的耗能全為虛功。故空壓機若選擇不當，『卸載』比例過高，空壓機的運轉效率大幅降低。

以1台100Hp螺旋式空壓機為例，F.A.D = 882 CMH，負載運轉時其消耗功率為82 kW，卸載時消耗功率為22 kW，不同負載比率時，其運轉效率隨之改變。不同負載比率時，其運轉效率分別為：

(1)負載比率100%之效率

$$82 \div 882 = 0.093 \text{ kWh/m}^3$$

(2)負載比率80%之效率

$$(0.8 * 82 + 0.2 * 22) \text{ kW} \div (0.8 * 882) \text{ m}^3/\text{h} = 0.099 \text{ kWh/m}^3$$

(3)負載比率50%之效率

$$(0.5 * 82 + 0.5 * 22) \text{ kW} \div (0.5 * 882) \text{ m}^3/\text{h} = 0.118 \text{ kWh/m}^3$$

(4)運轉時數8,000小時，在電力成本為NT\$2.5/kWh時，50%部份負載之額

外成本：

$$(0.118 - 0.093) \text{ kWh/m}^3 = 0.025 \text{ kWh/m}^3$$

$$0.025 \text{ kWh/m}^3 * 50\% * 882 \text{ m}^3/\text{h} * 8000 \text{ h/a} = 88,200 \text{ kWh/a}$$

$$88,200 \text{ kWh/a} * 2.5 \text{ NT\$/kWh} = 220,500 \text{ NT\$/year}$$

2. 控制模式不佳

大部分的空壓系統由2台或2台以上的空壓機組成，但卻各自擁有獨立的控制模式。未經整合的系統，多台空壓機之控制模式各自為政，導致空壓系統運轉效率低落。

每一種控制方式都各有其適合之運轉特性。選擇正確的控制模式，可以提高空壓系統之運轉效率。由上計算中可以確定，控制的境界是：系統輸出=現場需求。

3. 洩漏

根據美國能源部資料顯示，美國企業內之空壓系統約有20~30%之洩漏量。國內工研院能環所資料顯示：百大企業空壓機耗能約為5,492,575kKW，以相同的百分比預估，國內企業空壓系統洩漏的耗能可達1,098,515~1,647,850kKW，若加上為數眾多之中小企業，其節能潛力極為可觀。

空壓系統洩漏防制並非難事，但明顯之洩漏，常因設備資訊不足或誤用而被視為正常。其中以離心式空壓機，中間段冷卻器之錯誤洩水方式及無熱型吸附式乾燥機最嚴重。不明顯之洩漏則因發覺不易或器材不足、或無專責人員、無心或誤解壓縮空氣價值，而白白浪費昂貴的壓縮空氣。

表2 主要耗能企業空壓機耗能表

單位：千度

行業別	用電量 (93年千度數)	空壓機 用電佔比(%)	空壓機用電 (千度)	節能潛力 (千度)
化工業	11,134,249	10.11	1,125,673	337,700
水泥業	3,694,794	3.0	129,318	38,800
紡織人纖業	8,633,314	16.6	1,433,130	430,000
造紙業	1,992,296	3.89	77,500	23,250
電機電子業	20,897,734	10.1	2,110,671	633,200
鋼鐵業	10,774,179	5.72	616,283	184,900
總計	57,126,564	9.6	5,492,575	1,647,850

資料來源：96年能源查核與節能技術暨能管員推動節能交流研討會第三場論文集

4. 壓縮空氣品質處理過當

控制用空氣只要其露點低於環境空氣溫度 10°C 以下即可。但常見整廠壓縮空氣均經吸附式乾燥機處理。無熱型乾燥機再生時，損耗約15~20%壓縮空氣，且造成壓力波動，使用者只好提高空壓機輸出壓力，造成雙重的能源損失。

5. 壓差過大

空壓系統隨著企業業務成長，空壓機數量或馬力加大。輸送管路因原始設計限制，或生產無法中斷改善，產生的壓降愈來愈大，導致不斷提高空壓機之運轉壓力。而空壓機運轉時，壓力每升高1bar約多耗6~10%電能，企業的生產成本因而提高。

四、空壓系統節能技術

1. 系統評估與最佳化控制

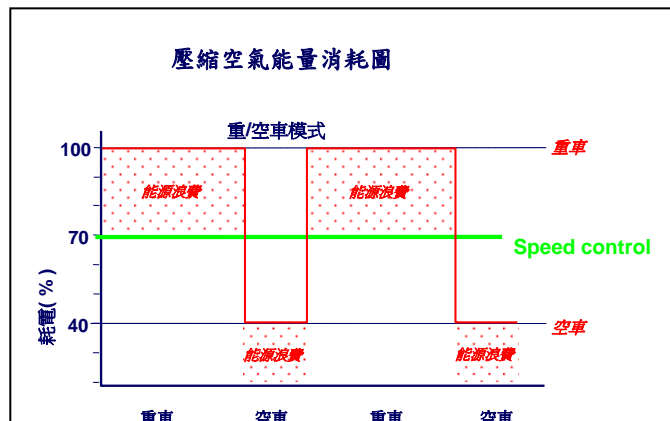
壓縮空氣在工廠使用時，需求量與壓力範圍幾乎沒有完全相同的案例，即使一樣的生產設備，也因訂單或產品規格不同而各異。

空壓系統改善前，必須記錄壓縮空氣之消耗、耗能情況、加卸載比率，壓力範圍等，根據每個不同的案例分析、擬定對策，尋求最佳的控制模式。但此過程卻無法複製或依照一定的準則進行。仍然得靠儀器記錄、分析比較及經驗判斷。

最佳化的控制，可使空壓系統隨著使用需求變化而改變空壓機運轉狀態。系統內的空壓機運轉時無虛功之浪費，輸出風量等於現場需求。系統顯現的方式是：空壓系統以穩定的壓力輸出。

2. 變頻控制

當壓縮空氣使用需求小於輸出時，空壓機即進入卸載狀態，此時沒有壓縮空氣產出，耗能全屬浪費。變頻控制依據現場空氣需求量，改變空壓機轉速，當工廠內壓縮空氣需求量增加時，空壓機即加速運轉，反之，空壓機即減速運轉，馬達消耗電力亦降低。需求多少，輸出多少，產出的壓縮空氣恰恰好如現場所需，馬達無虛功浪費，所有電力均用於產出壓縮空氣，即空壓機能以較少的電力產出所需的壓縮空氣。



資料來源：CECCATO 訓練 CD

圖 1 壓縮空氣能量消耗圖

3.無耗氣自動排水技術

離心式空壓機因需分段壓縮，各壓縮段間以冷卻器降低壓縮空氣溫度。壓縮空氣經冷卻後，其中的水蒸汽呈過飽和狀態，所以有許多冷凝水產生。這些具腐蝕性的冷凝水若未排出而進入次級壓縮室，將侵蝕壓空壓機之葉片，且因液體無法壓縮，空壓機震動值升高，對空壓機造成嚴重損害。

由於上述的疑慮，多數使用者以手動球閥微開的方式排放冷凝水。但因冷凝水量與大氣溫度、相對溼度、壓力、冷卻水溫、冷卻器效率有關。溫、溼度又與四季、早晚氣候變化有關。使用者不可能隨時調整球閥，以因應不同條件下所產生的冷凝水。一般均會加大球閥開度排放冷凝水，以換取空壓機安全運轉。球閥排放冷凝水時，壓縮空氣隨冷凝水排出。但一般狀況下90%以上是壓縮空氣而非冷凝水。

球閥型無耗氣自動排水器，以液位感應器偵測水位，決定排水時機。當冷凝水滴入儲水槽內而達高水位時，液位感應器發出訊號，電動球閥打開排水。當冷凝水被排出，水位漸降而至感應器低水位時，感應器再次發出訊號，電動球閥關閉。冷凝水並未完全排乾，留下些許冷凝水形成水封，壓縮空氣不會隨冷凝水排放，達到只排水，不排氣的節能效果。



圖 2 球閥型無耗氣自動排水器排水動作圖

4. 餘熱再生型吸附式乾燥機

(1) 冷凍吸附式乾燥機

進入任何乾燥機之壓縮空氣愈低，對壓力露點的降低有絕對的優勢，可以減少乾燥機的負載，延長吸附時間，相對即減少耗能。所以有許多實際運用的場所，壓縮空氣先經冷凍式乾燥機冷卻後再經吸附式乾燥機。冷凍式乾燥機需要冷媒壓縮機，其運轉過程產生之熱量，在本技術中被運用於吸附劑之再生行程中，大幅減少電熱需求，減少耗能。

(2) 空壓機餘熱再生型吸附式乾燥機

利用離心式空壓機最後一級壓縮之後的空氣熱量，取代電熱器運用於吸附劑之再生行程，不需電熱耗能。

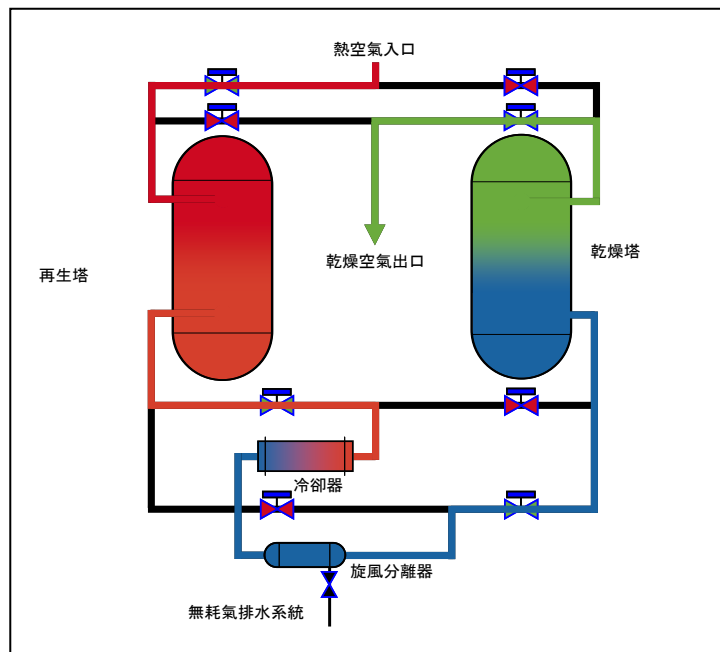


圖3 空壓機餘熱再生型吸附式乾燥機流程圖

五、改善效益

螺旋式空壓機是工廠內常見的公用設備，以往因能源價格低廉，其運轉效率甚少受到關切，故一般螺旋式空壓機系統潛藏極大的節能空間。運用系統評估經驗及變頻改善技術，可經濟有效降低運轉成本、提高競爭力。茲以實例說明如下：

1.改善前狀態描述

某工廠內有2個空壓系統A,B。其間各有管路相連通。平時以球閥關閉獨立運作，緊急時開啟該球閥互相支援。

(1)設備現狀

A系統：有1台180Kw +1台150 kW水冷螺旋式空壓機。壓力：6 ~ 7bar 交替運轉12小時，供應1,2,3廠使用。

B系統：有2台75 kW水冷螺旋式空壓機。壓力：6 ~ 7bar，輪流運轉，每12小時交替運轉，供應4,5廠使用。其配置如圖4。

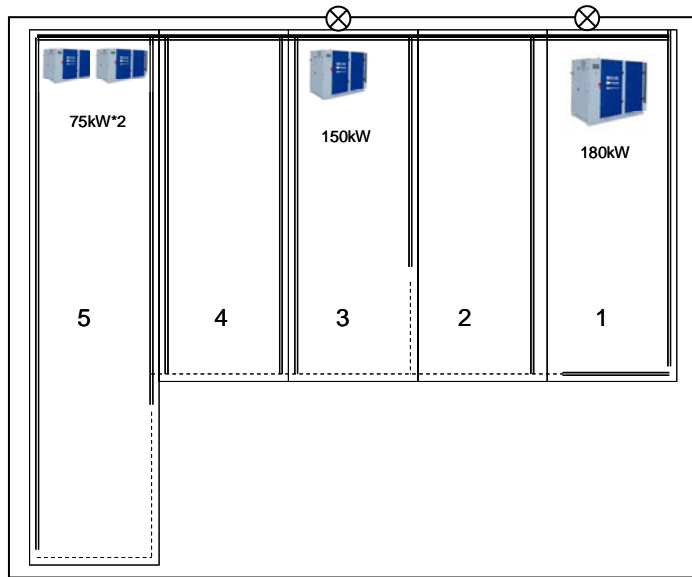


圖 4 空壓系統配置圖

(2)單機效率測試

以流量計及瓦時計測量各空壓機效率，其數據如表3。

表 3 空壓機效率表

機號	廠牌	標示馬力 HP	壓力 Kg/cm ² g	實測 耗電量 kw	實測風量 m ³ / h	效率 Kw/m ³ /h
1	S	250	7	207	1902	0.109
2	X	200				X
3	S	100	7	83	737	0.113
4	S	100	7	82	720	0.114

2# 未測量，因將移作他用。

a.A系統耗氣狀態:耗氣量：576 ~ 787 CMH,平均709 CMH (如圖5)。

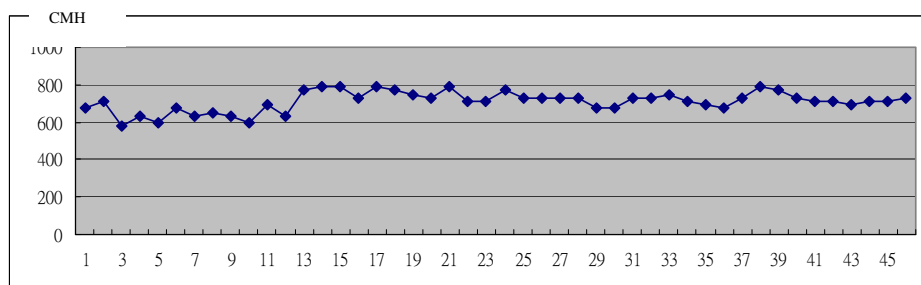


圖 5 A 系統耗氣曲線圖

b.A系統耗電狀態：

使用180Kw空壓機時，耗電136 ~ 146 kW，平均143 kW/H

使用150Kw空壓機時，耗電119 ~ 129 kW，平均126 kW/H

兩者各使用50%時間，平均耗電134.5 kW/H (如圖6)

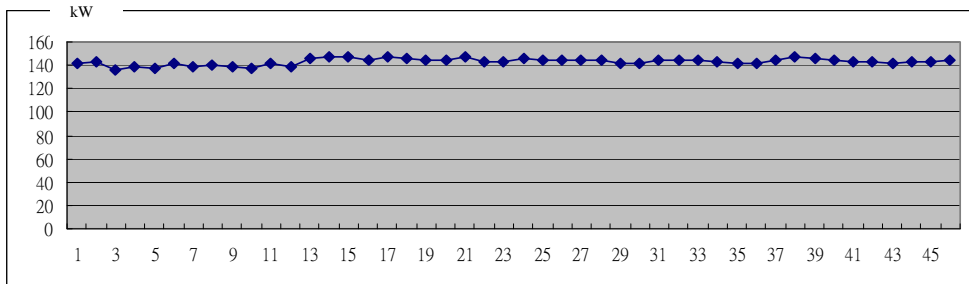


圖6 A系統耗電曲線圖

c.B系統耗氣狀態:耗氣量：360 ~ 480 m³/H,平均413 m³/H (如圖7)

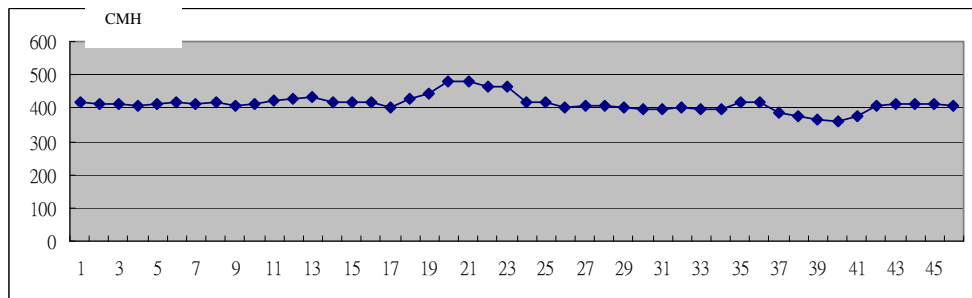


圖7 B系統耗氣曲線圖

d.B系統耗電狀態：耗電61 ~ 68 Kw，平均 64Kw (如圖8)

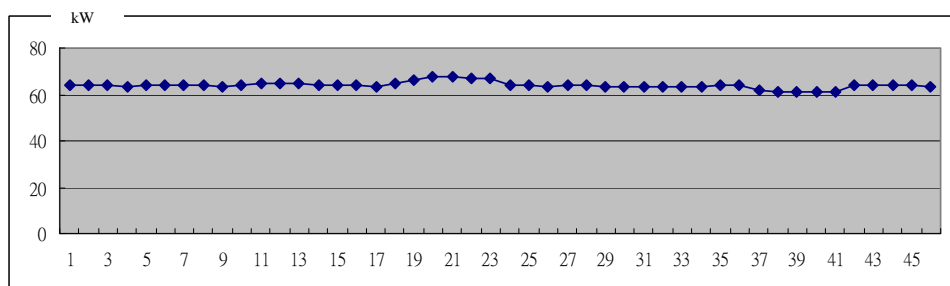


圖8 B系統耗電曲線圖

e.改善前耗能明細

記錄各台空壓機實測資料，經統計A,B系統耗能及效率如表4。

表4 改善前耗能紀錄表

空壓機編號 / kW	系統	平均耗電 kWH	平均耗氣 CMH	平均效率 kW/CMH
No.1 / 180	A	134.5	709	0.19
No.2 / 150	A			
No.3 / 75	B	64	413	0.155
No.4 / 75	B			
合計		198.5	1122	0.177

2.改善預估計算：

根據量測所得:系統A+B之需氣量為936~1,267CMH，平均1,122 CMH
全廠A,B系統只需由其中任依系統空壓機供應即符所需，但因B系統空壓機老舊、效率較差，故選擇以A系統之180Kw空壓機運轉。

計算其預估耗電量如下:

負載比率： $1,122 / 1,902 = 59\%$

預估耗能： $207 * 59\% = 122.13$

每年總耗能：負載時間比率*負載耗能*7,200h

$= 59\% * 207 * 7,200h$

$= 122.13 * 7,200$

$= 879,336 \text{ kwh}$

預估改善效益： $7,200 [(134.5\text{Kw}/\text{H} + 64\text{Kw}) - 122.13] = 549,864 \text{ kWH}$

3.改善內容

(1)180kW空壓機加裝變頻控制盤。

(2)樹枝狀配管改為環狀管路，增設之管路如圖5中之虛線

(3)B系統空壓機當備機，並配合180 kW空壓機調整其壓力，萬一A系統當機時，可自動啟動支援全廠壓縮控器需求。

4.實際改善效益

(1)耗氣量量測:實測平均需求氣量為1,135 m³/hr

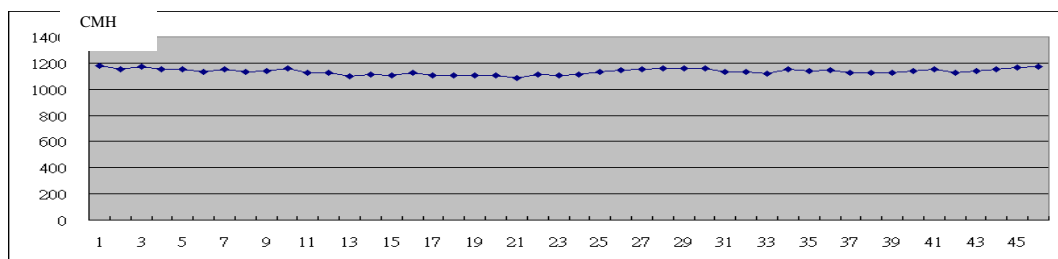


圖8 全系統耗氣曲線圖

(2)實際耗電量測：實測平均耗電量為125 kW

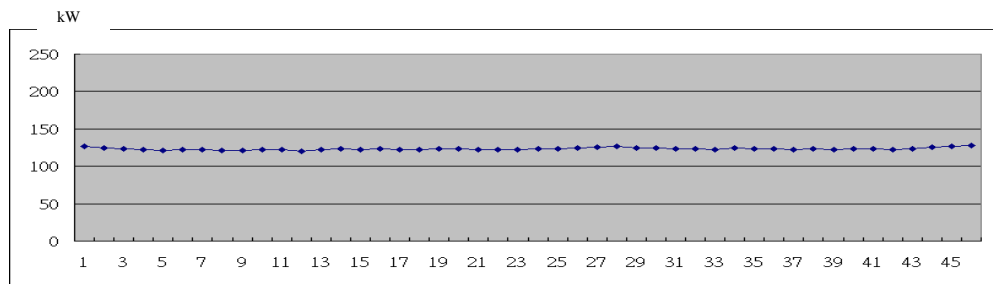


圖9 全系統耗電曲線圖

(3)實際改善效益

改善後實際耗能：125Kw

壓力設定為6.2Kg/cm²

$$7,200(198.5-125) = 529,200 \text{ kWh}$$

(4)改善前後比較(其數據如表5)

改善前平均運轉效率為0.177 kW/m³/hr

預估改善後運轉效率為0.109 kW/m³/hr

實際改善後運轉效率為0.11 kW/m³/hr

實際改善達成率為： $[(0.177-0.11)/(0.177-0.109)]\% = 98\%$

(5)改善成果：

每年節省電能： $(198.5-125)7,200 = 529,200 \text{ kWh}$

節能比率： $[(198.5-125)/ 198.5]100\% = 37\%$

抑低CO₂排放： $529,200*0.637 = 337 \text{ ton}$

表5 改善前後耗能記錄表

	平均耗氣量 m ³ /hr	平均耗電量 kW	壓力 Kg/cm ²	運轉效率 kW/m ³ /hr
改善前	1,122	198.5	6	0.177
預估改善後	1,122	122.13	6	0.109
實際改善後	1,135	125	6.2	0.11
達成率				98%

六、結 論

大部分使用者於購置空壓機時，非常在意空壓機之單機效率，甚者只在意空壓機的初購成本。然由本文結果可知：運轉效率才是降低成本的關鍵因素。

空壓系統潛藏極大空間，只要善用空壓節能技巧，運轉中的空壓機系統即可以經濟、有效的解決方案降低能源消耗。不僅可為企業減少許多不必要的支出，更能為減緩日益暖化的地球近一份心力。

清潔生產技術應用於空氣污染物減量之成功案例

郭志軍*、陳見財**

摘要

「清潔生產」(Cleaner Production, CP) 涵蓋製程、產品及服務等範疇，其中以製程面產生之空氣污染物最多且複雜，向來是工廠進行污染改善之重點，如：為防止異味物質排放產生，可透過「改變原料」、「改變製程」、「改善設備」及「加強維修」等方法，達到製程改善與管理之目的。本文彙整相關輔導成功案例，從「原物料替代」、「集氣效率提升」、「製程設備調校」、「廢氣流向調整」及「能資源回收」五個方向，介紹如何將清潔生產技術應用於空氣污染物之減量。

近來世界各國正積極發展清潔生產技術，以使產品在製造過程中能減少能資源使用及污染產生。鑑於國內外大型企業紛紛將環保議題列為永續經營之重大考量因素，並要求供應商配合，且歐盟已發布 WEEE、RoHS 及 EuP 等環保指令，對國內產業發展造成重大衝擊，因而推動清潔生產相關工作將可有效協助產業進行因應，亦是未來不可避免之環保趨勢。

利用清潔生產技術應用於空氣污染物之減量，較傳統製程末端廢氣處理更具前瞻性與發展性，不僅能協助產業降低生產成本、提升產業競爭力，且能順應國際環保趨勢，達到污染減量之目標，值得產業共同推動與發展。

【關鍵字】清潔生產、空氣污染物減量、原物料替代、集氣效率提升、製程設備調校、廢氣流向調整、能資源回收

*財團法人台灣產業服務基金會綠色技術發展中心 專案副理

**財團法人台灣產業服務基金會 副總經理

一、前言

聯合國環境規劃署(United Nations Environmental Program, UNEP)於1997年提出「清潔生產」(Cleaner Production, CP)觀念，並將其定義為：「持續地應用整合且預防的環境策略於製程、產品及服務中，以增加生態效益和減少對於人類及環境的危害」。故「清潔生產」不僅具有污染預防之精神，更延長生產者對產品與環境之責任，且以追求「生態效益」及「永續發展」為主要目標。

「清潔生產」涵蓋製程、產品及服務等範疇，其中以製程面產生之空氣污染物最多且複雜，向來是工廠進行污染改善之重點，如：為防止異味物質排放產生，可透過「改變原料」、「改變製程」、「改善設備」及「加強維修」等方法，達到製程改善與管理之目的(如表1)。本文彙整相關輔導成功案例，從「原物料替代」、「集氣效率提升」、「製程設備調校」、「廢氣流向調整」及「能資源回收」五個方向，介紹如何將清潔生產技術應用於空氣污染物之減量。

表1 一些防止異味物質排放產生之製程改善與管理方法^[1]

方法	改變因子	舉例
改變原料	原料本質	1.有機溶劑改為水性溶劑 2.改變飼料成份以減低牲畜糞便異味
	原料型式	1.使用顆粒狀原料替代粉狀原料，以減低其揚塵或蒸發異味
改變製程	操作溫度	1.低溫操作以減少異味物質濃度 2.將蒸發濃縮改為冷凍乾燥
	操作壓力	1.低壓、負壓操作以減少異味物質洩漏量
	生產方式	1.連續式減少加卸料頻率
改善設備	防止洩漏	1.設密封或負壓式加料斗 2.設抽氣設備使之於負壓操作
		1.設備洩漏即刻維修
加強維修	防制洩漏	1.設備洩漏即刻維修
	廠內清理	1.每日清除廠房內可能散發異味之原料、中間產品、下腳料、廢料、積垢等物

資料來源：周明顯等，臭味及揮發性有機物控制，民國96年10月。

二、案例介紹

2.1 原物料替代

一般工廠對於廢氣污染防治，常先考量末端尾氣處理技術，但若能由原物料進行替代，便能直接減少廢氣產生，降低末端污染防治設備之規模及設置成本。如：印刷業改用水性油墨、高固型油墨及植物油墨等；PU 合成皮業改用水性樹脂等；塗裝業改用粉體塗料及 UV 硬化型塗料等。茲以某皮革整製工廠(A 廠)^[2]為例，說明如下：

1.工廠簡介

A 廠向上游供應商購入皮革後，進行皮革上色處理即為成品；使用之上色原料為水性及油性塗料，其年用量約為 54 公噸及 9.64 公噸。

2.工廠面臨問題

廠內主要 VOCs 產生源為油性塗料之揮發，其 VOCs 逸散廢氣收集情形不佳，且未裝設 VOCs 處理設備。

3.改善建議方案

因油性塗料使用量僅佔全廠塗料用量之 15%，建議在品質兼顧原則下，全面改用低污染型水性塗料生產。

4.減量效益

(1)改善前：水性塗料含有機溶劑約 5~10%(平均以 8%計)，用量約 54 公噸/年；油性塗料含有機溶劑約 40~50%(平均以 45%計)，用量約 9.64 公噸/年。

$$\text{VOCs 排放量} = 54 \text{ 公噸/年} \times 8\% + 9.64 \text{ 公噸/年} \times 45\% = 8.66 \text{ 公噸/年}$$

(2)改善後：全面改用水性塗料(VOCs 含量約 8%)。

$$\text{VOCs 排放量} = (54 + 9.64) \times 8\% = 5.1 \text{ 公噸/年}$$

(3)VOCs 減量 = 8.66 - 5.1 = 3.56 公噸/年

2.2 集氣效率提升

工業製程中常逸散各類空氣污染物，藉由提升局部排氣系統(即氣罩)之集氣效率，將污染物導引至後端污染防治設備中，將可減少污染排放。茲以某合成樹脂工廠(B 廠)^[3]為例，說明如下：

1.工廠簡介

B 廠主要產品為瞬間接著劑，產量約 1,193.4 公噸/年。製程中除原料入料作業及成品出料作業外，均為密閉集氣系統作業；聚合反應及精餾程

序產生之廢氣先由室溫(25°C，如圖 1)及超低溫冷凝器(-8°C，如圖 2)進行冷凝回收，再分為二條管道，其一經洗滌塔(如圖 3)串聯活性炭吸附塔(如圖 4)處理後排放；其二則直接由活性炭吸附塔處理後排放，實際檢測之總廢氣處理效率約為 50%。製程及廢氣流向如圖 5 所示。



圖 1 室溫冷凝回收器



圖 2 超低溫冷凝回收器



圖 3 洗滌塔



圖 4 活性炭吸附塔
(2 座串聯)

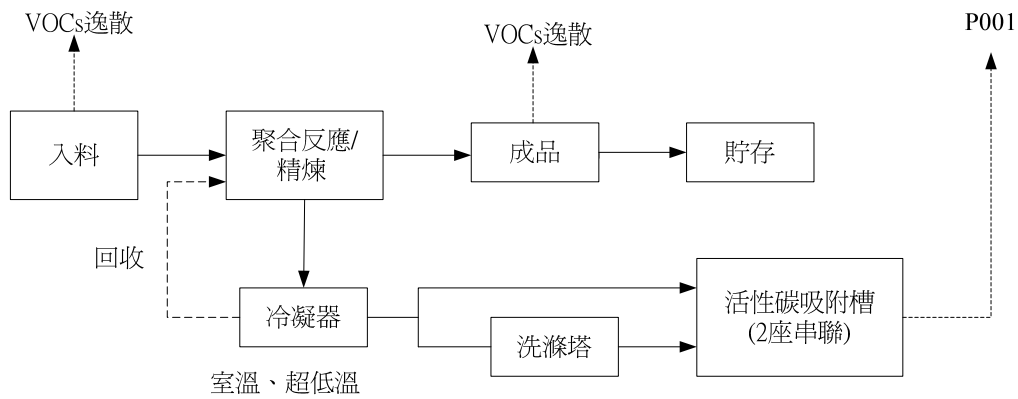


圖 5 B 廠製程及廢氣流向圖^[3]

2. 工廠面臨問題

廠內已有 VOCs 處理設備，惟有部分逸散廢氣未收集處理。

3. 改善建議方案

建議於入料及出料口處加裝局部集氣罩(如圖 6)，收集逸散廢氣導入現有污染防制設備處理，建議之工程改善示意如圖 7 所示。



圖 6 入料及出料口加裝局部集氣罩

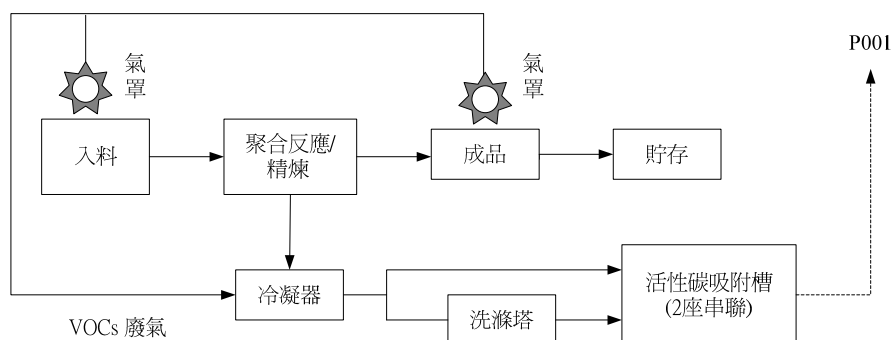


圖 7 B 廠建議之工程改善示意圖^[3]

4.減量效益

(1)改善前

a.B 廠適用之環保署公告係數為「接著劑化學製造程序」，係數值為「6.418 kg-VOCs/ton-產品生產量」。

b.活動強度(產品生產量)：1,193.4 公噸/年(即 298.35 公噸/季)。

c.集氣情形：目前僅入料及出料口未完全密閉操作(總集氣效率約 95%)。

d.防制設備：實際檢測之總廢氣處理效率約為 50%。

e.VOCs 排放量 = $6.418 \times 298.35 \times (1 - 95\% \times 50\%) = 1,005.3$ 公斤/季

(2)改善後

a.集氣效率：於入料及出料口處加裝活動式氣罩，提升集氣效率至 98%。

b.VOCs 排放量 = $6.418 \times 298.35 \times (1 - 98\% \times 50\%) = 976.6$ 公斤/季

(3)VOCs 減量 = $1,005.3 - 976.6 = 28.7$ 公斤/季

2.3 製程設備調校

隨著國際環保趨勢進步，工廠必須改採低污染之生產方式，逐步減少污染排放，除前述 2.1 節原物料替代方式外，亦可藉由提升生產技術之方式達成，如塗裝業改用高效率噴槍及塗裝技術(含靜電塗裝、電著塗裝、粉體塗裝)等。此外，工廠若能仔細檢視污染防制設備之配置情形及操作參數，適當地對設備進行調校、換新或維護，亦能有效減少污染排放。茲以某機械零件製造工廠(C 廠)^[4]為例，說明如下：

1.工廠簡介

C 廠使用銑鐵/廢鐵、焦炭及石灰石為原料，利用熔鐵爐將銑鐵/廢鐵融煉成鐵漿，進行澆鑄、脫膜、磨邊整修即為機械零件產品。熔鐵爐廢氣先以旋風集塵器(如圖 8)去除火星，再以兩道「間接水冷式冷卻器」將廢氣降溫至 70°C 左右，導入袋濾式集塵器(如圖 9)處理後排放，其廢氣處理流程如圖 10 所示。



圖 8 旋風集塵機



圖 9 袋濾集塵機

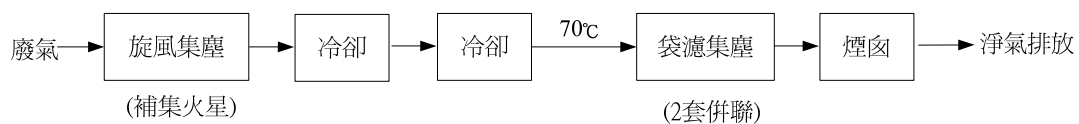


圖 10 C廠熔鐵爐廢氣處理流程圖^[4]

2. 工廠面臨問題

- (1) 進入濾袋之廢氣溫度偏低(約 70°C)，濾袋易潮濕增加廢氣穿透濾袋之阻力，降低濾布壽命。
- (2) 附近居民反應有異味。

3. 改善建議方案

- (1) 建議提高進入濾袋之廢氣溫度至 150°C 左右，避免濾袋受潮。
- (2) 加強袋濾式集塵器之操作維護，可行作法包括：
 - a. 新濾布進行預塗佈處理：建議袋濾式集塵器在更新濾布時，先以石灰進行濾布之預塗佈動作，以保護濾布之孔隙阻塞，延長濾布使用壽命(示意如圖 11)。

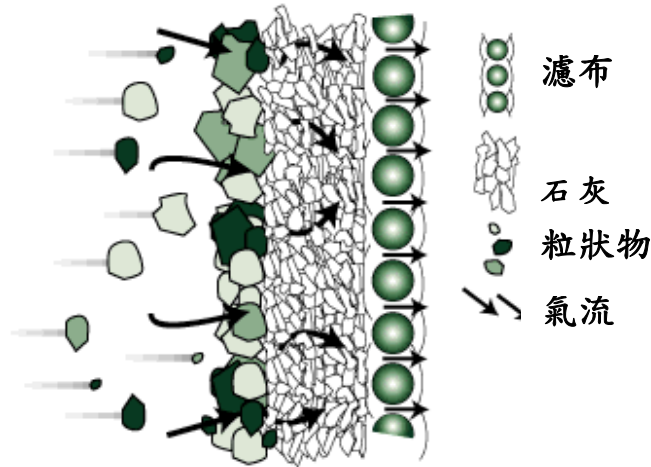


圖 11 濾布經預塗佈形成濾餅之過濾示意圖^[4]

- b.調整濾布清洗次序：C 廠之袋濾式集塵器內有 10 支濾袋，建議其清洗次序可由原設定值 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10 依序噴洗方式，修改為 1-4-7-10、2-5-8、3-6-9 跳躍噴洗方式，避免已洗淨之濾袋受鄰近濾袋清洗之干擾而再次污染。
- c.調整濾布清洗時間長短及間隔：清洗濾袋之時間原設定值為 0.2 秒，間隔原設定值為 2~3 秒；建議視實際操作狀況，調整清洗時間為 0.05 秒，間隔為 6~10 秒，以節省空壓機之清洗動力。
- d.建議在袋濾式集塵器入口噴入氫氧化鈣或活性碳粉末，吸收異味氣體，其建議改善之廢氣處理流程如圖 12 所示。

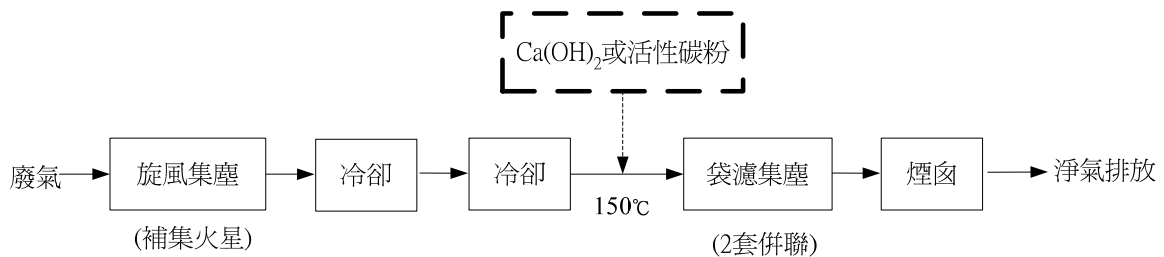


圖 12 C 廠建議之熔鐵爐廢氣處理流程圖^[4]

4.減量效益

C 廠完成工程改善後，已解決異味問題，並節省袋濾式集塵器進行濾袋清洗之空壓機動力約 15~30%，延長濾袋使用壽命。

2.4 廢氣流向調整

工廠若能盤查製程中產生之各股廢氣成份，將性質明顯不同或可能產生未知化學反應之廢氣分流，並分別裝設適當之污染防制設備進行廢氣處理，將可有效減少污染排放。如：水溶性與非水溶性廢氣、高溫與低溫廢氣、高濃度與低濃度廢氣、高風量與低風量廢氣、酸氣與鹼氣分流處理等。茲以某印刷電路板基材製造工廠(D 廠)^[5]為例，說明如下：

1.工廠簡介

D 廠從事印刷電路板基材製造，其製程如圖 13 所示。主要原料為丁酮(MEK)，用量約 15 公噸/月。

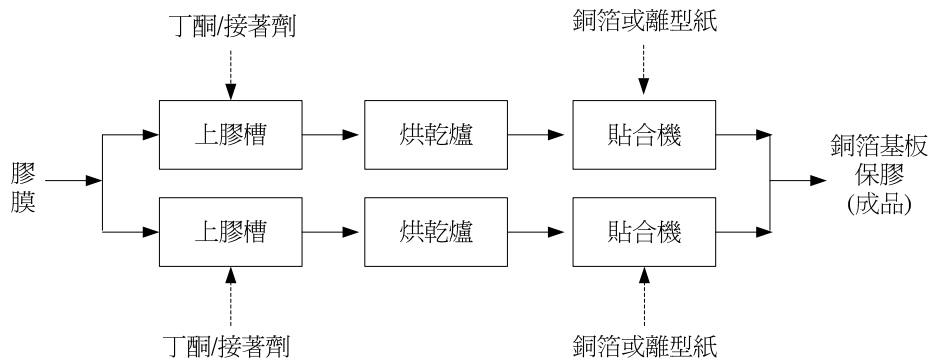


圖 13 D廠製造流程圖^[5]

D 廠之 VOCs 污染源包括上膠槽、貼合機之逸散廢氣及烘乾爐之烘乾廢氣，以烘乾爐廢氣為主。上膠槽及貼合機設有上吸式氣罩，收集逸散廢氣後與烘乾廢氣匯流，通過一洗滌塔處理後排放，廢氣處理流程如圖 14 所示。

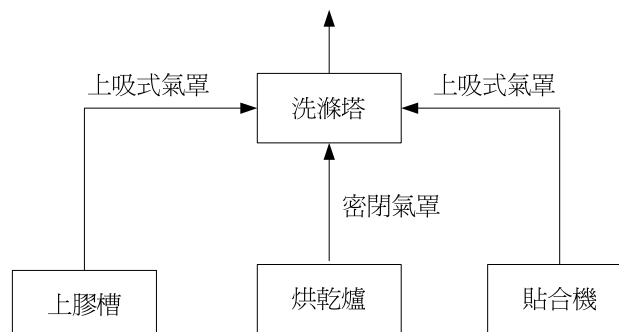


圖 14 D廠廢氣處理流程圖^[5]

2. 工廠面臨問題

廠內目前僅有洗滌塔處理 VOCs 廢氣，因採循環用水方式，非採一次流(one-through)更換新鮮水量，故處理效果未達預期(預估僅有 30%效率)，為達有效污染減量，應裝設其他防制設備。

3. 改善建議方案

(1) 因「上膠槽」與「貼合機」逸散廢氣屬低濃度、高風量廢氣，不適合與「烘乾爐」廢氣匯流處理，建議將「烘乾爐」廢氣分流，另裝設蓄熱式焚化爐(RTO)或蓄熱式觸媒焚化爐(RCTO)處理，將可有較佳之處理效率(預計可達 95%以上)，而「上膠槽」與「貼合機」廢氣仍以原有洗滌塔處理。建議之工程改善示意如圖 15 所示。

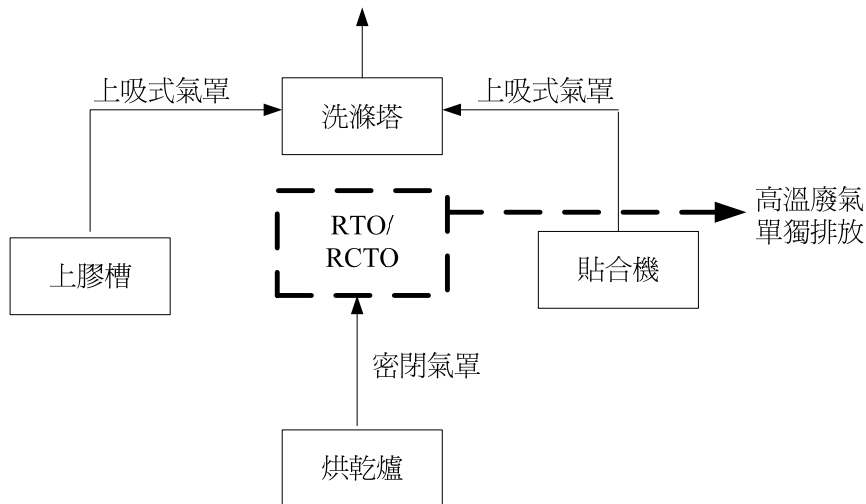


圖 15 D 廠建議之工程改善示意圖^[5]

4. 減量效益

(1) 改善前

- D 廠適用之環保署公告係數為「銅箔基板製造程序」，係數值為「525 kg-VOCs/ton-原料樹脂使用量」。
- 活動強度(原料樹脂使用量)：約 15 公噸/月(45 公噸/季)。
- 集氣情形：D 廠「上膠槽」及「貼合機」逸散廢氣約佔總廢氣之 20%，以上吸式氣罩收集(集氣效率 60%)；「烘乾爐」廢氣約佔總廢氣之 80%，以密閉式氣罩收集(集氣效率 100%)。
- 防制設備：洗滌塔(處理效率約 30%)。

e.VOCs 排放量估算

未控制前 VOCs 排放量 = 525(公告係數)×45(活動強度)=23.63 公噸/季

$$\begin{aligned} & \text{【20\%上吸收集經水洗】} + \text{【80\%密閉收集經水洗】} \\ \text{VOCs 排放量} = & \text{【23.63}\times\text{20\%}\times\text{(1-60\%}\times\text{30\%)}\text{】} + \text{【23.63}\times\text{80\%}\times\text{(1} \\ & \text{-100\%}\times\text{30\%)}\text{】} = 17.11 \text{ 公噸/季} \end{aligned}$$

(2)改善後

a.防制設備：「上膠槽」及「貼合機」廢氣以原有洗滌塔處理(處理效率約 30%)，「烘乾爐」廢氣改以 RTO 或 RCTO(處理效率約 95%)。

b.VOCs 排放量估算

$$\begin{aligned} & \text{【20\%上吸收集經水洗】} + \text{【80\%密閉收集經} \\ \text{VOCs 排放量} = & \text{RTO/RCTO】} = \text{【23.63}\times\text{20\%}\times\text{(1-60\%}\times\text{30\%)}\text{】} + \\ & \text{【23.63}\times\text{80\%}\times\text{(1-100\%}\times\text{95\%)}\text{】} = 4.82 \text{ 公噸/季} \end{aligned}$$

(3)VOCs 減量=17.11 - 4.82 = 12.29 公噸/季

2.5 能資源回收

產業若致力於提高能資源(包括原料及能源)再利用率，將可有效節省生產成本、提高產業競爭力。在原物料回收應用上，如於製程末端裝設冷凝器，利用超低溫接觸方式，使氣相之廢熱空氣降溫達到冷凝點而產生相改變，冷凝成液相物質回到製程源頭使用或貯存；在能源回收應用上，如將製程中直接或間接排放之熱空氣作更有效之再利用，包括：空氣預熱、鍋爐飼水預熱、鍋爐連續排放熱回收、冷凝水回收槽閃沸蒸汽熱回收、壓縮機壓縮熱回收及塗佈烘乾熱回收等^[6]。茲以某 PU 樹脂製造工廠(E 廠)^[7]為例，說明如下：

1.工廠簡介

E 廠為 PU 樹脂專業製造廠商，主要原料為己二酸、乙二醇(1,2-EG)和丁二醇(1,4-BG)。製程中產生大量高濃度廢液，直接進入小型廢棄物焚化爐之二次燃燒室中焚化處理，焚化爐溫度達 850°C，由於廢液熱值不足，故以低硫燃油為輔助燃料，並注入空氣補充；燃燒廢氣經冷卻水塔冷卻後排放，其廢液焚化處理流程如圖 16 所示。

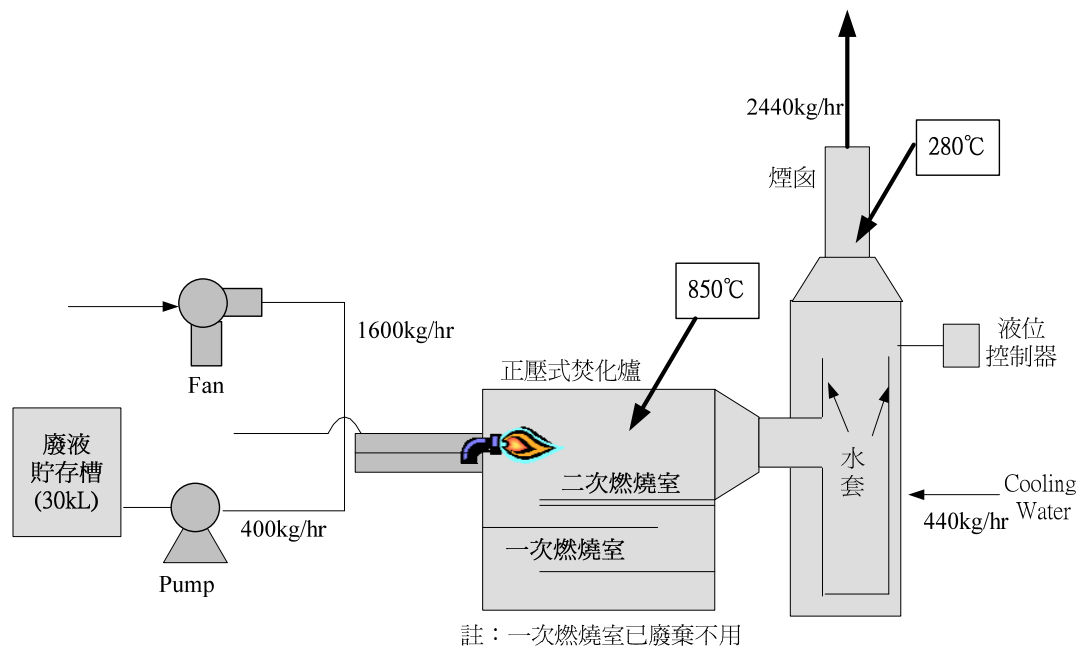


圖 16 E廠廢液焚化處理流程^[7]

2. 工廠面臨問題

為響應節約能源之國際環保趨勢，E 廠主動尋求燃料使用減量之方法。

3. 改善建議方案

- (1) 因 E 廠產生之高濃度廢液 COD 值大於 5,000 mg/L，其廢液處理仍應維持現有之焚化處理較合乎經濟原則，故建議 E 廠可朝提高焚化爐效率及回收廢熱為改善目標。
- (2) 因高濃度廢液含水率達 98%，且乙二醇、丁二醇及己二酸在常壓下之沸點分別為 197.5°C、228°C 及 337.5°C，皆遠高於水之沸點(100°C)，故建議 E 廠可將煙囪底部空間作為廢液預熱槽，讓已處理過之燃燒廢氣通入預熱槽中與冷卻水接觸，未處理之廢液則先經預熱槽初步預熱後，再進入二次燃燒室中燃燒處理，以節省加熱成本。建議之改善工程如圖 17 所示。

4. 減量效益

經完成工程改善後，E 廠每年消耗之燃料油由 168 公秉降至 60 公秉；每年所須支付之燃料費用由 200 萬元降至 70 萬元。

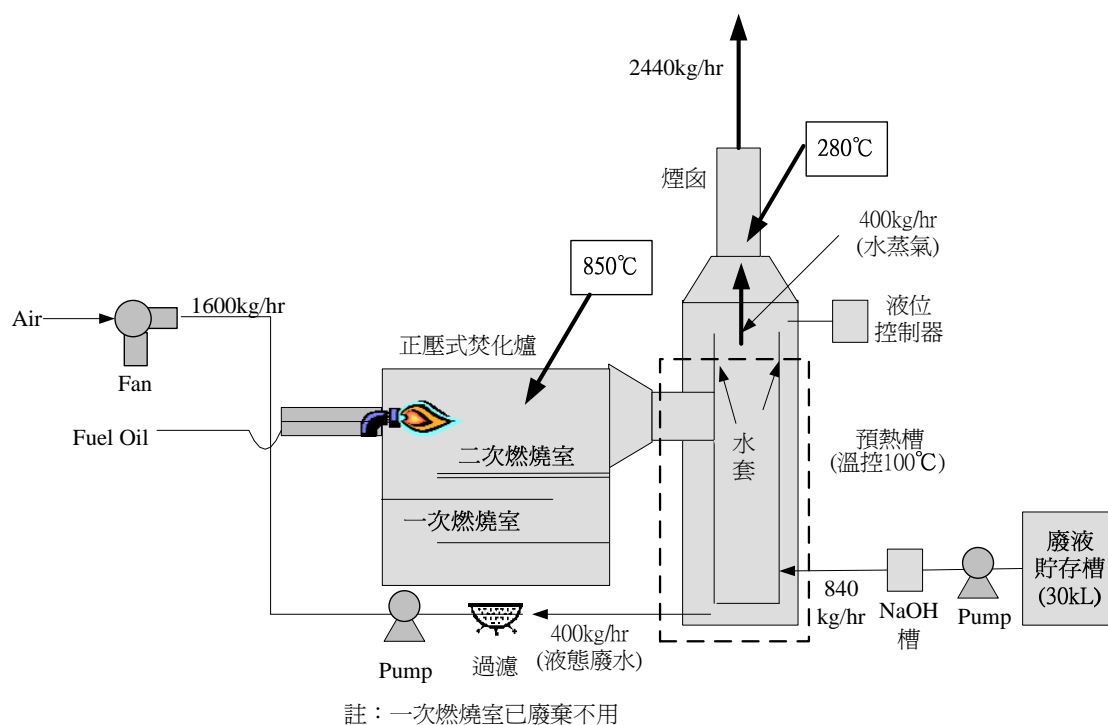


圖 17 E廠建議改善之廢液焚化處理流程^[7]

三、結 語

近來世界各國正積極發展清潔生產技術，以使產品在製造過程中能減少能資源使用及污染產生。鑑於國內外大型企業紛紛將環保議題列為永續經營之重大考量因素，並要求供應商配合，且歐盟已發布 WEEE、RoHS 及 EuP 等環保指令，對國內產業發展造成重大衝擊，因而推動清潔生產相關工作將可有效協助產業進行因應，亦是未來不可避免之環保趨勢。

利用清潔生產技術應用於空氣污染物之減量，較傳統製程末端廢氣處理更具前瞻性及發展性，不僅能協助產業降低生產成本、提升產業競爭力，且能順應國際環保趨勢，達到污染減量之目標，值得產業共同推動與發展。

四、參考文獻

- 1.周明顯、黑正明、黃柏仁、張筱瑜、李尚娟、江炫伸、王嘉禧、李偉勝、馬家珍，臭味及揮發性有機物控制，民國 96 年 10 月。
- 2.經濟部工業局，「產業綠色技術輔導與推廣計畫」—雲嘉南地區揮發性有

機物減量輔導追蹤報告(案例 A 廠)，民國 97 年 10 月。

3. 經濟部工業局，「雲嘉南地區產業揮發性有機物減量輔導與推廣專案計畫」—復勘輔導報告(案例 B 廠)，民國 97 年 2 月。
4. 經濟部工業局，「產業綠色技術輔導與推廣計畫」—專案工廠輔導報告(案例 C 廠)，民國 97 年 5 月。
5. 經濟部工業局，「雲嘉南地區產業揮發性有機物減量輔導與推廣專案計畫」—復勘輔導報告(案例 D 廠)，民國 97 年 5 月。
6. 李凱，廢熱回收節能技巧，經濟部能源委員會「節能績優廠商節能技術原理及案例分析」，民國 96 年。
7. 經濟部工業局，「產業綠色技術輔導與推廣計畫」—專案工廠輔導報告(案例 E 廠)，民國 96 年 4 月。

斷熱塗佈清潔生產技術與應用成功案例

陳明焜*、司洪濤**、郭志軍**、卓憲騰***

摘要

近年來，由於經濟部工業局、能源局等政府部門，大力推動「節能減碳」相關工作，能源節約觀念已深植於國內工廠，有心致力於之工廠，紛紛探討廠內每一個可進行能源節約的地方，並積極採取各種能源節約措施，降低生產成本，提高產業之競爭力。從台灣產業服務基金會執行工業局「產業製程清潔生產與綠色技術提升計畫」經驗發現傳統產業使用之鐵皮屋廠房，因陽光直射使廠房內高溫悶熱，特別是夏季期間，員工工作效率低落，為提供作業員工舒適之工作環境，即使強制送風或吹送冷氣，除降溫效果不佳外，亦浪費諸多能源，是故國內期待經濟有效的絕熱或斷熱技術問世。

本文主要介紹一種新發展的斷熱塗佈清潔生產技術及其成功的應用實例，提供相關產業參考應用，產業若能善用此等清潔生產技術，有效斷絕高溫表面熱散失或降低熱傳速率，除提供員工舒適的工作環境外，將工廠以往視為「正常損耗」的能源節省下來，減少生產製造成本，提高產業競爭力，可說是工廠之福。

【關鍵字】橡膠、陶瓷、斷熱、溫室氣體、節能減碳、清潔生產

*昭志工業股份有限公司 董事長

**台灣產業服務基金會綠色技術發展中心 專案副理

***台灣產業服務基金會綠色技術發展中心 工程師

一、前言

產業鐵皮廠房或建築外牆如果未做好適當的隔熱/遮熱，夏季過熱時經常需要耗費巨額空調費用才能將室內空氣溫、溼度維持在適當範圍內。尤其是夏季尖峰用電量高，常造成發電系統跳機，有時甚至需以分區斷電或限電的措施來因應，造成業界之損失。增建核電廠或蓋水庫採水力發電或燃煤採火力發電方式都會造成環保與生態上能否永續的廣泛討論與抗爭，耗費不少社會成本。

依據台電統計資料顯示有 30~40%之冷卻負荷，來自透過鐵皮廠房或建築外殼進入的熱量，若能有效降低此部分熱量的進入，將可達到節能減碳之目的；又國內眾多傳統產業使用鐵皮屋作為廠房，夏季高溫時，縱始使用強風扇降溫，作業環境仍顯悶熱，員工工作效率不高，故本文主要介紹某廠使用斷熱技術，降低廠房內作業環境溫度之成功案例，供相關產業參考。

二、常見之斷熱方法或措施

在廠房或建築斷熱工程實務中，常見之斷熱方法或措施乃使用保麗龍、PU 與玻璃棉(glass wool)等隔熱資材於夾層或內表面，或使用雙層玻璃窗或雙層外牆，以空氣為中間夾層做隔熱/斷熱之用(參見圖 1 所示)，或使用遮蔭網、百葉或遮熱/隔熱塗料或貼紙等。又市面上遮熱/隔熱塗料品牌眾多，以隔熱漆為名的尚有陶瓷、雲母與樹脂成分等之別。將隔熱漆塗在建築物外表面上，使得室內溫度降低的能力依產品不同也有若干差異。然眾所周知，只要在鐵皮廠房或建築外殼施予適當隔熱/遮熱材料或措施，即可阻絕熱源由外進入內部之熱傳速率，獲得若干降溫成效，近年來，亦有在小學教室屋頂栽種水耕蔬菜，降低頂樓教室室內溫室 4°C 之改善案例。

材料與斷熱絕熱有關性質包含比熱、熱導係數、熱傳透率及熱擴散係數等，「比熱」代表材料本體的儲蓄熱量的能力，「熱導係數」為材料的內涵性質(intensive property)與材料厚度無關，「熱傳透率(conductance)」則為外延性質(extensive property)與材料厚度有關，「熱擴散係數」決定一個材料隨時間變化的傳熱速率。例某些隔熱材料之斷熱絕熱性質如表 1 所示，某斷熱塗料塗層厚度與降溫隔熱效果實驗室測試如表 2 所示。

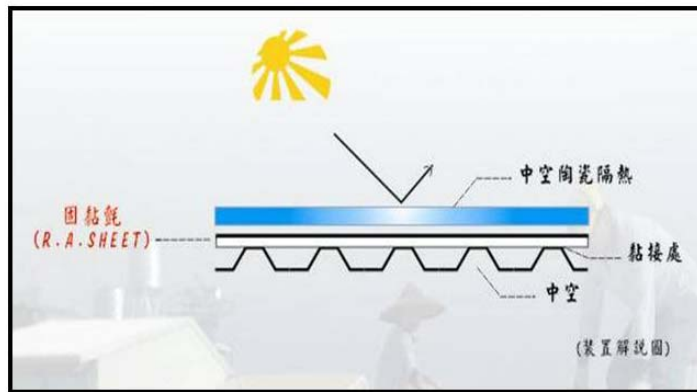


圖 1 以空氣為中間夾層做隔熱/斷熱用之案例^[2]

表 1 某些隔熱材料之斷熱絕熱性質^[1]

	密度 (kg/m ³)	比熱 (J/kg/K)	熱導係數 (W/m/K)	熱擴散係數 (mm ² /s)	熱傳透率 (W/m ² /K)
某隔熱漆	849.11	616.35	0.068	0.13
一層 0.3 mm					226.8
二層 0.6 mm					113.4
三層 0.9 mm					56.7
PU 板 0.3mm	25-50	1,590	0.05	0.628-1.25	93.3
HD 保麗龍 0.3mm	28-40	1,220	0.037	0.758-1.083	123.3
備註	所示的高密度(HD)保麗龍(發泡聚苯乙烯 polystyrene)與硬質聚烏保溫板(Polyurethane, PU 板)的熱導係數 k 與密度值摘自林(1995)，分別為 0.037 與 0.05 W/m/K。後兩者的比熱值摘自美國加熱冷凍空調工程師協會 (ASHRAE, 1985)出版的技術手冊。				

表 2 某斷熱塗料塗層厚度與降溫成效實驗室測試結果^[2]

塗層厚度 (mm)	未塗佈前之熱金屬板表面溫度(°C)								
	93	149	204	260	316	371	467	482	537
	塗佈後之金屬板表面溫度(°C)								
1.27	68	95	147	-	-	-	-	-	-
2.5	51	76	128	157	-	-	-	-	-
6.30	64	73	96	123	151	173	-	-	-
10	49	62	83	111	133	161	-	-	-
12.7	48	63	82	90	112	125	-	-	-
15.3	-	36	48	63	76	91	106	-	-
17.5	-	-	35	47	54	70	94	116	-
20.32	-	-	-	42	51	77	83	102	111
25.40	-	-	-	-	27	36	47	61	73

三、應用成功案例介紹

南部某傳統產業因建廠之初，採用建造成本較低之鐵皮屋當作廠房，建廠至今已超過 10 年之久，鐵皮屋已有部分鏽蝕現象，如圖 2 所示。南部因常日照強，鐵皮屋頂常居高熱，故廠房內溫度偏高，夏季時，鐵皮屋廠房內作業環境悶熱，即使是室內溫度仍高達 35~36°C(未開啟冷氣空調)，該工廠遂決定採用斷熱塗佈技術，藉以降低廠房內溫度，當完工後(請參閱圖 4)，鐵皮屋下之室內溫度，未開啟冷氣空調時，可溫度降低至 30~31°C，改善前後溫差約降低 5~6°C，明顯節省冷氣所耗用之電費，其改善成效對照如表 3 所示。本改善案例因使用 EPDM 橡膠黏貼在鐵皮上，再於橡膠上塗佈一層隔熱材料，除具有室內降溫之效果外，據使用工廠表示：原本鐵皮屋腐蝕現象有減緩之趨勢，長年鐵皮屋漏/滴水的現象亦一併改善，且豪雨落下鐵皮屋之噪音亦降低許多。



圖 2 某產業鐵皮屋頂塗佈降溫改善案例(施工前)



圖 3 某產業鐵皮屋頂塗佈降溫改善案例(施工中)



圖 4 某產業鐵皮屋頂塗佈降溫改善案例(施工後 5 年)

表 3 某產業鐵皮屋頂塗佈斷熱材料之降溫改善成效

	改善前	改善後
鐵皮廠房之室內溫度	36~37°C	30~31°C
降低室內溫差	4~6°C	
備註	鐵皮廠房之室內溫度為未啟動冷氣時，量測所得之溫度。	

四、其他應用範圍

在產業廠房或各型露天設施(或材料等)外殼上適當地塗佈斷熱/隔熱材料可發揮不少的節能減碳功效，塗在建築物室內牆上亦可充分獲得若干優點。同樣之斷熱清潔生產技術亦可應用至其他範圍，列舉以下：

1. 蒸汽鍋爐、加熱爐本體及蒸汽輸送管線隔熱：降低熱輻射損失，減少能源浪費。
2. 禽、畜舍之屋頂與外牆隔熱：降低室內溫度，減少通風冷卻成本。
3. 教室、住宅、大樓等之屋頂與外牆隔熱：降低空調成本。
4. 屋頂水塔、置於戶外的水桶隔熱：降低水溫。
5. 穀倉外殼隔熱：降低通風冷卻成本。
6. 油槽、瓦斯槽外殼隔熱：降低危險。
7. 通訊設施露天機房隔熱：減少當機。
8. 露營帳棚/露天帳棚式車庫：使用塗上隔熱漆的帆布為搭建材料。
9. 汽車、貨櫃隔熱：在可收放式遮陽帆布上塗上隔熱漆或直接塗於外殼。
10. 植物栽培組織培養室：室外隔熱，室內加強反光減少所需燈管數。

五、結 論

在鐵皮工廠、儲藏庫等之屋頂或外牆施予適當之斷熱/隔熱材料，確實可降低進入室內的熱量，進而減輕室內空調系統的冷卻負荷，由實際觀察得知在鐵皮工廠/儲藏庫等之屋頂外與內層表面的溫差可降低5°C以上，至於會達到多少差距之溫差，端視使用之材料品質及塗佈材料之厚度而定，亦即與產業欲投資改善之成本相關，不論如何，產業如能善用各種斷熱絕熱技術，做好廠內熱損失之預防保養工作，將工廠以往視為「正常損耗」的能資源節省下來，可大幅提升產業競爭力，達到企業永續經營的目標。此利用斷熱塗

料清潔生產技術達成節能減碳改善案例，仍值得相關產業參考與應用。

六、參考文獻

- 1.方煒，建築設施空調節能設計新思維－市售隔熱漆產品遮熱性能之再思考，資料來源網址
<http://www.ecaa.ntu.edu.tw/weifang/SysEng/%E9%81%AE%E7%86%B1%E6%BC%86.htm>。
- 2.陳明焜，省電膠布防水、隔熱、隔音技術介紹，98年正隆股份有限公司清潔生產中衛體系輔導第一次工作會議教育訓練講義，98年7月7日。
- 3.導管隔溫塗料技術型錄，統偉貿易股份有限公司。
- 4.HOT SURFACE COATING，資料來源網址
<http://www.eaglecoatings.net/content/hotsurface300.htm>。
- 5.林憲德。1995。建築及空調節能設計規範的解說與實例。詹氏書局。
- 6.ASHRAE, 1985。Handbook of Fundamentals. ASHRAE (美國加熱冷凍空調工程師協會), Atlanta, GA. USA.
- 7.ASHRAE, 1993。Handbook of Fundamentals. ASHRAE (美國加熱冷凍空調工程師協會), Atlanta, GA. USA.
- 8.Duffie J.A. and W.A. Beckman, 1982. Solar engineering of thermal processes. 歐亞書局。
- 9.Kusuda, T. 1976. The computer program for heating and cooling loads in buildings. National Bureau of Standards Load Determination Program. US Department of Commerce/National Bureau of Standards. BSS No. 69. Washington D.C., USA.

清潔生產暨環保技術研討會論文集 2009／朱興華總編輯，
---臺北市：工業局，財團法人台灣產業服務基金會
民 98.11 面； 公分

ISBN — — — —1(平裝)

1.環保工程 2.清潔生產 3.論文集

445.907

2009 清潔生產暨環保技術研討會論文集

出版日期：中華民國 98 年 11 月

發行人：杜紫軍

總編輯：朱興華

審查委員：王鵬堯、李公哲、李育明、周明顯、胡憲倫、馬小康、
康世芳、張祖恩、張添晉、楊萬發、劉希平、鄭福田
(依姓氏筆劃排列)

編輯企劃：王義基、李碧鈴、陳見財、陳志銘、吳虹蒨

發行所：經濟部工業局

出版所：經濟部工業局

台北市信義路三段 41-3 號

TEL：(02)2754-1255

FAX：(02)2704-3753

<http://www.moeaidb.gov.tw>

財團法人台灣產業服務基金會

台北市四維路 198 巷 39 弄 14 號 1 樓

TEL：(02)2325-5223

FAX：(02)2784-4186

<http://www.ftis.org.tw>

美工排版：財團法人台灣產業服務基金會

印刷承製：致琦彩色印刷製版股份有限公司

定價：新台幣伍佰元整

版權所有 翻印必究