

# 垃圾焚化飛灰處理方法及其通路研究

柴希文

南亞技術學院土環系副教授 (NSC 94-2211-E-253-002-)

## 摘要

垃圾焚化飛灰全台年產量約十餘萬噸，因重金屬含量高為有害廢棄物，目前焚化廠大都採水泥固化法處理後送掩埋場掩埋。但台灣地區地狹人稠環，保意識高漲，現有掩埋場即將飽和，而新建掩埋場極為困難，必須早作因應。垃圾焚化飛灰處理方法主要有製造生態水泥、燒結後再生利用、高溫熔融固化法、添加化學藥劑法、濕式化學處理法、瀝青固化法、水玻璃固化法、熱塑物固化法及目前實物處理之水泥固化法。本論文列出上述各種方法之優劣點並提出垃圾焚化飛灰直接應用於混凝土工程之可能性以求其通路。結果顯示焚化飛灰使用量可達混凝土膠結料之 25%，水膠比 0.45，28 天強度 20MPa 以上。已過研究文獻顯示如飛灰/水泥比低於 3，進行 MTCLP 重金屬溶出試驗，結果仍符合現行規範 TCLP 之要求。建議焚化飛灰用量為膠結料之 20%，水膠比 0.45 至 0.55，並添加 10% 之矽灰，以抑制鹼骨材反應，並增強其強度與耐久性，以抵抗酸雨之侵蝕。惟焚化飛灰氯離子含量甚高，不適用鋼筋混凝土結構，因此主要可使用於非結構之無筋混凝土如山區道路緣石、混凝土空心磚、混凝土人行道磚、預鑄混凝土重力式擋土牆等。

**關鍵詞：**垃圾焚化飛灰、水泥固化法、再利用通路、矽灰、預鑄混凝土產品

## 一、前言

全台現有 22 座大型垃圾焚化爐，2005 年產生之灰渣共有 102 萬公噸，其中焚化飛灰（含反應生成物）近 17 萬公噸，大都採水泥固化法並添加化學螯合劑處理後送掩埋場掩埋。其比例當焚化飛灰為 100% 時，以添加水泥量 11%~15%，化學螯合劑 3%~4% 居多 [1]。其處理費用，以北部焚化廠為例，委外操作費每公噸飛灰約 1500 元至 1800 元。一般飛灰固化物約為飛灰重量 1.5 倍以下。原灰重金屬含量以鉛為最高，其特性溶出值約在 30~70mg/L。垃圾焚化飛灰（Municipal Solid Waste Incineration fly ash）與火力發電廠之燃煤飛灰（PFA）比較，焚化飛灰變異性大，雜質多，重金屬含量高，為有害廢棄物，且含有氯鹽， $K_2O+Na_2O$  含量亦高。主要化學成份為  $SiO_2$ 、 $Al_2O_3$ 、 $CaO$ 。但其  $SiO_2$  含量比燃煤飛灰低， $CaO$  含量雖比燃煤飛灰高，但低於水淬高爐石粉，化學成份比較如表一。

表一、焚化飛灰與燃煤飛灰及水淬高爐石粉主要化學成份比較 (%)

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	燒失量	Cl
焚化飛灰 (台灣)	13~27	10~14	0~3	26~30	2~3	8	8~9	2
焚化飛灰 (大陸)	13~29	16~25	4~7	24~40	2~12	4~7	4~15	5~10
燃煤飛灰	40~57	17~30	4~7	1~9	1~3	2~3	2~12	-
高爐石粉	30~40	8~18	-	40~50	0~8	-	<3	-

## 二、各種處理方法簡介

垃圾焚化飛灰處理方法主要有製成生態水泥、燒結後再生利用、高溫熔融固化法、添加化學藥劑法、濕式化學處理法、瀝青固化法、水玻璃固化法、熱塑物固化法及目前實際使用之水泥固化法，其原理及優、缺點簡述如表二[2]。

表二、焚化飛灰各種處理方法、原理、優缺點一覽表

方法	原理	優點	缺點
製成生態水泥 [3]	以焚化灰渣、下水道污泥及石灰石為原料，於旋轉窯內 1450°C 燒成熟料	可有效再利用	含有氯鹽，不適用於鋼筋混凝土構造 需重金屬回收設備
燒結人工骨材	添加補助原料高溫燒結	可有效再利用	耗能源、成本高、
高溫熔融 固化法	以高溫使飛灰熔融，形成熔渣固結	熔渣穩定性佳、重金屬可回收再利用、減容率高	耗能源、成本高、 技術要求高
添加化學 藥劑法	藥劑與重金屬反應，使其不易溶出	操作簡單 技術穩定發展	無法確保長期安定性、無法再利用
濕式化學 處理法	飛灰浸水，添加鹽酸、硫酸將重金屬溶出，再以藥劑處理沉澱污泥	重金屬可回收再利用 成本較低	較不適合乾式與半乾式系統、需處理大量廢水及污泥
瀝青固 化法	添加熱瀝青與飛灰混合，冷卻後固化	成本較低 固化物透水性低	固化物受熱易軟化 無法再利用、抗壓強度低於 10 kg/cm <sup>2</sup>
水玻璃 固化法	以水玻璃為主劑，酸為輔助劑將飛灰固化	成本較低	無法再利用、抗壓強度低於 10 kg/cm <sup>2</sup>
熱塑物 固化法	添加碳酸鈣、樹脂、觸媒、促進劑、河砂混合後加溫使之固化	固化物緻密堅硬且不溶於水	方法有專利、成本高、固化前需乾燥
水泥固 化法	以水泥並添加化學螯合劑固化飛灰	成本較低 操作簡單、技術穩定發展	無法再利用、無法確保長期安定性

台灣目前對焚化飛灰處理以水泥固化法為主，其主要優點為成本較低、操作簡單、技術要求不高。惟水泥固化法如使用多重毒性特性溶出試驗 MTCLP 以探討飛灰固化之長期溶出潛勢，當萃出液之 PH 達酸性狀態時，飛灰中之重金屬如鎘鉛等有可能大量溶出，且超過法規要求[4][5]。但如飛灰/水泥比低於 3，則可有效降低重金屬之溶出，惟將大幅增加成本及固化物之數量，對掩埋場亦極為不利。

### 三、通路研究

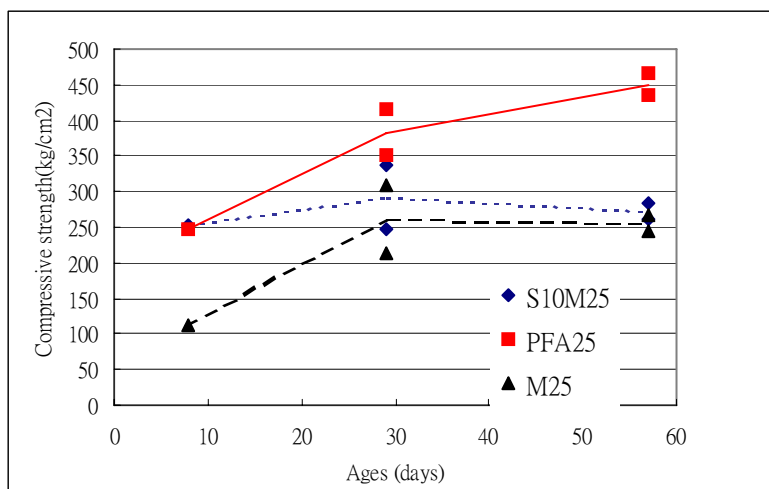
政府 2010 年希望達成「資源全回收，垃圾零掩埋」，則垃圾焚化飛灰之通路非打通不可。由表二所示處理方法中能回收再利用之方法為製成生態水泥、燒結人工骨材、濕式化學處理法及高溫熔融固化法。其中濕式化學處理法易產生二次污染，不利環境保護。而製成生態水泥、燒結人工骨材及高溫熔融固化法成本均高。今嘗試將垃圾焚化飛灰當作另一種礦物摻料如燃煤飛灰直接再利用於混凝土中。惟兩者飛灰性質有很大不同（參考表一）使用焚化飛灰應注意下列幾點：

- 含有氯鹽，不適用於鋼筋混凝土構造
- $K_2O+Na_2O$  含量高，應注意防範鹼骨材反應
- 燒失量高，應注意對工作性及化學參摻料的影響
- 變異性大，雜質多，用量不宜太大

試拌配比如下：飛灰用量為膠結料之 25%，控制組 PFA25 為燃煤飛灰，對照組 M25 為北部焚化廠之飛灰，另一組則使用 10% 之矽灰加 25% 焚化飛灰 S10M25，三組水膠比皆為 0.45，詳細配比如表三，其抗壓強度發展如圖一：

表三、焚化飛灰直接再利用於混凝土試拌配比 ( $kg/m^3$ )

	水	I 型水泥	飛灰	矽灰	細骨材	粗骨材	強塑劑	坍度 (cm)
PFA25	186	310	104	0	932	800	0	2
M25	188	314	105	0	932	800	2	5
S10M25	185	268	103	41	932	800	4.2	5.5



圖一、焚化飛灰直接再利用於混凝土之抗壓強度發展 ( $1MPa = 10.2 kg/cm^2$ )

添加矽灰主要有下列優點：

- 可提昇混凝土早期強度
- 可彌補焚化飛灰卜作嵐活性不如燃煤飛灰之缺點
- 有效抑制鹼骨材反應
- 可使混凝土孔隙細密增強其耐久性，以抵抗酸雨之侵蝕

焚化飛灰直接再利用於混凝土中除有水泥固化重金屬之效果外，拌合均勻之混凝土並可「分散」「稀釋」飛灰中之重金屬。例如焚化飛灰鉛之含量為 5500mg/kg，如每一方混凝土配比使用 80 kg 飛灰，則一方混凝土含有鉛 440000mg，相當於每kg混凝土鉛之含量為 191mg，再加上水泥固化重金屬之效果，可確保 MTCLP 重金屬溶出試驗結果能符合現行規範 TCLP 之要求[6]。

焚化飛灰氯離子含量甚高，不適用鋼筋混凝土結構，因此主要可使用於非結構之無筋混凝土如山區道路緣石、混凝土空心磚、混凝土人行道磚、混凝土重力式預鑄擋土牆或混凝土假設工程及臨時施工便道等。

#### 四、結論

綜上所述，垃圾焚化飛灰處理及其通路可得下列結論：

- 欲達「資源全回收，垃圾零掩埋」之目標，每年十餘萬噸垃圾焚化飛灰必須再生利用
- 將焚化飛灰直接再利用於無筋混凝土預鑄產品，可藉混凝土「稀釋」飛灰中之重金屬，再加上水泥固化重金屬之效果，可確保 MTCLP 重金屬溶出試驗結果能符合現行規範 TCLP 之要求
- 建議焚化飛灰用量為混凝土配比膠結料之 20%，水膠比 0.45 至 0.55，並添加 10% 之矽灰，以抑制鹼骨材反應，並增強其強度與耐久性，以抵抗酸雨之侵蝕
- 焚化飛灰為有害廢棄物，應嚴格控管，無筋混凝土預鑄產品應以專用廠生產為宜，且因每公噸焚化飛灰處理費用有上千元之補貼，市場上應有足夠之競爭力
- 飛灰為有害廢棄物，本再利用方案，依法需向相關主管機關申請核准

## 五、參考文獻

1. 樊國恕，林永珍。“都市垃圾焚化廠飛灰固化體養護齡期對管理制度影響之探討”，碩士論文，高雄第一科技大學環境與安全衛生工程所，2002
2. 楊萬發，詹炯淵。“垃圾焚化飛灰管理對策之研究”，碩士論文，臺灣大學，環工所，2000。
3. 馮乃千，實用混凝土大全，第二版，科學出版社，2004
4. 席正行，于宗賢。“固化法於飛灰重金屬及戴奧辛之穩定化研究”，碩士論文，高雄第一科技大學環境與安全衛生工程所，2003
5. 楊萬發，羅文林。“添加劑對都市垃圾焚化飛灰水泥固化體強度及重金屬溶出影響之研究”，碩士論文，臺灣大學，環工所，2001。
6. 彭耀南，紀利想。“焚化飛灰混凝土應用在工程上可行性之研究”，碩士論文，交通大學，土木所，2001

# **Research on the Treatment Technologies and Recycling of Municipal Solid Waste Incineration Fly Ash**

Paul Hsi-Wen Chai ( NSC 94-2211-E-253-002- )

Department of Civil and Environmental Engineering, Nanya Institute of Technology,

## **Abstract**

The total amount of Municipal Solid Waste Incineration (MSWI) fly ash in Taiwan was about 170,000MT in 2005. Because the heavy metals of particles contained in the MSWI fly ash is hazardous to health, most of fly ash were treated by cement solidification and then followed by the landfill treatment. This paper presented the comparison of treatment technologies, such as Sintered, High temperature vetrification, Chelating agent solidification, Solidification with cement and chelating agent and wet type chemical treatment. Moreover, the concrete trial mixes using MSWI fly ash as a mineral admixture were carried out. From the test results suggested that the content of fly ash can be used to the extent of 20% binders. The range of water/binder ratio was from 0.45 to 0.55. The compressive strength can reach 20MPa at the age of 28 days. The results of MTCLP test meet the requirements of TCLP of EPA. The amount of silica fume of 10% of binders can be added in the concrete mix to increase the early strength of the concrete and to increase the resistance of aggregate alkali reaction AAR. MSWI fly ash can not be used in reinforced concrete due to its high Cl content. However, MSWI fly ash can be used in precast concrete product such as concrete block, concrete pavement brick and precast concrete retaining wall.

**Keywords :** MSWI fly ash, Solidification, recycling, silica fume, concrete product