

## 焚化灰渣處理技術之探討(二)

焚化灰渣之資源化再利用技術實為近年新興之研究話題，主軸技術簡要說明如下：

### 1.分選篩分

焚化灰渣中底渣可經分選篩分後直接再利用或作成混凝土製品。據學者（胡紹華，1999）之研究顯示焚化底渣可先經由磁選回收鐵金屬，渦電流分選非鐵金屬，如此可將佔底渣重量約 20 %、體積約 50 % 之金屬物分選回收，所剩之矽酸渣再篩分，將其餘顆粒區分為 5mm 以下、5 ~ 25mm 及 25mm 以上三種尺寸，小於 5mm 的細顆粒可能因含重金屬程度較高，不適宜資源化再利用可與飛灰混合處理處置；5 ~ 25mm 的灰渣顆粒則可符合 CNS 6298 C-20 級道路用碎石級配粒徑之規定，得直接應用於道路工程，做為基層或底層之級配填充料；至於大於 25mm 的顆粒因所佔比例少可直接掩埋處置，或經壓碎後併入 5 ~ 25mm 的分類中。

### 2.燒結

燒結製程頗類似製磚作業，底渣除必要之乾燥、磁選及破碎外亦應研磨，然後再混入其他必要之成分（如黏土、黏著劑），最後壓縮成型後送入窯爐燒成固化體，燒成溫度約為 800 ~ 1,000 °C。燒結成品主要應用於建材方面如磚瓦等，亦有以焦炭或污泥混合燒結，製成人工輕質骨材。

### 3.熔融處理

熔融處理係利用燃燒熱及電熱兩種方式，將飛灰予以加熱減容的資源化技術，而熔融操作溫度須達灰渣的熔流溫度，熔流速度則與焚化灰渣組成（如鹽基度： $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ ）有關。在高溫（1,200 ~ 1,400 °C）下，灰渣中之有機物產生熱分解、燃燒及氣化，而無機物則熔融成玻璃質之爐渣。至於重金屬之變化情形，飛灰中含沸點低之重金屬鹽類，一部分發生氣化現象，另一部分則移到熔渣中。灰渣中之  $\text{SiO}_2$  在熔融處理時形成極安定之玻璃質熔渣，降低重金屬溶出之可能性。主要應用於道路級配、建築工程之磚瓦建材及裝飾品等。

### 4.固化/穩定化

應用最廣的水泥固化法係將適量之水泥與飛灰均質混練，並經適當造粒成形及充分

養生後，使飛灰中的重金屬離子在水泥水化後之高鹼性環境中，形成難溶的氫氧化物或碳酸鹽沉澱物，而在水泥砂漿中被包封，並藉著高 pH 值維持重金屬的化學穩定狀態。一般常用的水泥固化劑為波特蘭（Portland）水泥。惟水泥固化法減容效果不佳，且經長期掩埋後之重金屬仍有再度溶出之虞。因此，近年亦有採用化學穩定法處理焚化飛灰，主要乃將適當之重金屬安定劑與飛灰混練均勻，其成品不具抗壓強度但減容效果不錯，一般常用的安定劑主要為螯合劑或硫化物。惟此安定劑成本高，在考量經濟性與水泥固化的缺點下，國內外亦常將安定劑添加於水泥固化體中，以防止重金屬的再度溶出。

## 5. 濕式化學處理法

濕式化學處理法包括酸萃取法及排氣中和處理法，本法係將水先添加於飛灰中，再注入酸性溶液或導入排氣中的 CO<sub>2</sub>，降低 pH 值，使飛灰中所含之重金屬溶出，沉澱分離後之溶出液仍須以化學處理程序處理至符合放流水標準始放流。本法因飛灰中之重金屬鹽類同時溶出，故可減輕掩埋場中鹽類溶出之二次公害等問題，惟重金屬係自灰中溶出而濃縮於溶出液中，故後續仍有廢水與污泥的處理處置的問題，另外，溶出液之處理須注意鹽類問題。

此外，國內一般垃圾資源回收(焚化)廠之設立大都承接日本之技術，因此日本一些企業針對焚化灰渣之適當處理與有效利用進行相關之研究，值得作為我國之借鏡，日本人 Hiroki 曾分析飛灰之中間處理方式，並針對三個焚化飛灰處理系統之代表性實例進行比較評估。實例一：焚化底渣與焚化飛灰混合熔融，熔融渣、金屬可有效利用，熔融產生的飛灰經處理後再行掩埋。實例二中：焚化底渣以掩埋處置，焚化飛灰單獨進行熔融處理，熔融渣、金屬可有效利用。實例三：焚化底渣以掩埋處置，焚化飛灰進行處理後，以掩埋處置。因此，平成八年六月，日本衛生署宣佈今後國庫補助對象必須附設有灰渣熔融/固化設備者為限。

綜合上述，基於目前國內的灰渣大都以掩埋方式處理，但在地狹人稠，掩埋場地取得不易的環境條件下，應考慮將其資源化以節省掩埋空間。參考世界各國做法則是將焚化底渣應用在道路工程之下層級配或作為製造建築材料的原料，但各國對於底渣的應用範圍以及其所具成份均有規範，如丹麥對應用在道路工程底渣的化學特性限制如下：

1. pH 值 > 9
2. 總鹼度 > 1.5g equiv/kg (乾基)
3. Pb < 3,000mg/kg (乾基)
4. Cd < 10mg/kg (乾基)

5.Hg < 0.5mg/kg (乾基)

然而，底渣由於垃圾中所含重金屬種類與含量的不同，在焚化過程中所造成之殘留量亦不同，如 Amalendu 指出底渣經 TCLP 試驗，部分樣品的鉛及鎘的溶出超過規範，Legiec 則以 1.0N NaCl 並添加 HCl 調至 pH=3 的溶液萃取底渣，結果發現鉛、鎘及鉻的溶出均超過規範。底渣重金屬溶出有不穩定性，介於有害與無害廢棄物之灰色地帶，因此底渣之再利用受到限制，再利用率也不高。若要將其有效資源化，首先應考慮將影響 TCLP 溶出結果之重金屬去除，才不致於有第二次污染之慮，同時也可回收金屬資源再利用。其次由於焚化灰渣之性質限制，其應用推廣相當困難，因此有必要進一步對其性質進行改良，如混練燒結、熔融固化等操作，藉以降低其危害並增廣用途。因此焚化灰渣未來工作重點如下：

1. 近程目標：將灰渣中之金屬物於焚化廠內去除或於暫存處分選，以利其中矽酸渣再利用。
2. 中期目標：將灰渣熔融固化後再利用。
3. 遠程目標：灰渣熔融固化後再利用規格建立與推廣。◆