專題報導

工業區污水處理廠污泥資源化案例探討

專案2部 鄭淑芬、劉蘭萍

一、前　言

依據工業局98年度「資源再生產業競爭力提升計畫」統計，工業局自行操作之32處工業區污水處理廠(以下簡稱污水廠)於97年之污泥申報量約有3.38萬公噸，其中有6,520.83公噸採廠內貯存(占19.31%)、委託公民營廢棄物處(清)理機構以熱處理或物理方式處理有18,208.9公噸(占53.92%)、委託公民營廢棄物處(清)理機構掩埋處理有6,619.24公噸(占19.6%)、委託再利用機構再利用約有1,106.92公噸(占3.28%)，而其他(含有害性污泥委託公民營廢棄物處理機構以化學處理方式及委託經濟部輔導設置之處理設施處理)約有1,312.89公噸(占3.89%)，有關32處污水廠污泥處理流向如圖1。

由於國內可供掩埋土地嚴重不足，故將污水廠污泥予以資源化，不僅可使其轉變為一種資源，亦可降低國內環境的負荷。本文將就工業局於96~98年期間針對所轄污水廠推動污泥再利用示範專案執行成果說明於后，期能拓展污水廠污泥再利用管道，進而提升污泥再利用量。

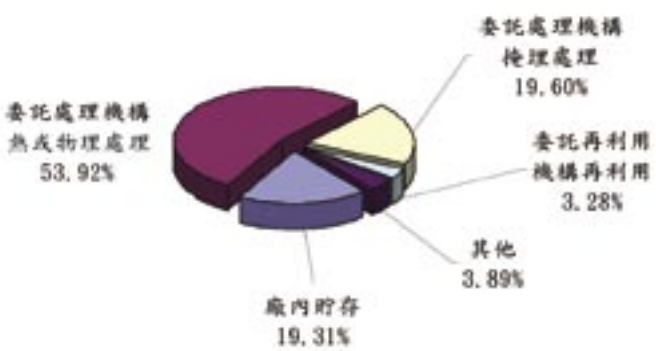


圖1　工業局自行操作之32處污水廠污泥處理流向(97年)

二、污泥再利用產製紅磚

1.污泥成分與特性分析

本專案試驗以工業局所轄南部某污水廠的污泥(以下簡稱L污水廠污泥)及黏土作為再利用產製紅磚之原料，有關其主要成分與特性分析結果彙整如表1，由表1得知因L污水廠污泥之二氧化矽含量較低，故需與富含二氧化矽之黏土混合，方能產製紅磚。另由表2污泥有毒重金屬毒性特性溶出程序(TCLP)檢測結果可知，其屬一般事業廢棄物。

2.試驗方法及流程

考量直接以污水廠污泥進行實廠燒結所產生之紅磚若無法符合產品標準，將衍生廢棄物清除處理的問題，因此，先以小型試驗進行可行性評估，並利用小型試驗所建立之摻配比，作為實廠試驗之參考。依小型試驗結果，以最大摻配比15%污泥再利用產製之紅磚，其紅磚抗壓強度及吸水率皆可符合CNS382 R2002三種磚規範值，另檢測其有毒重金屬溶出亦可符合法規規定，故於實廠再利用試驗採與小型試驗相同之原料及試驗程序，惟污泥最大摻配比提高至20%，分別以5%、10%、15%

表1 產製紅磚之原料主要成分與特性 單位：%

檢測項目	L污水廠污泥	黏土
SiO_2	5.34	62.7
Al_2O_3	3.63	5.33
Fe_2O_3	8.22	6.03
CaO	25.3	0.32
水分	12.6	24.4
灰分	60.8	72.2
可燃分	26.6	3.3
揮發性固體含量	20.1	2.32

表2 污泥有毒重金屬TCLP檢測結果 單位：mg/L

檢測項目	檢測結果	法規標準值[註]
總汞	N.D.	0.2
總砷	N.D.	5.0
總硒	N.D.	1.0
總銀	0.085	100
總銅	0.749	15.0
總鉻	0.019	5.0
總鎘	N.D.	1.0
總鉛	N.D.	5.0
六價鉻	<0.10	2.5

註：引用之法規標準值為「有害事業廢棄物認定標準」之「毒性特性溶出程序溶出標準」對於「有毒重金屬之溶出」規定值；ND：低於偵測極限。

及20%之比例摻配至黏土中製作試體。為求比較再利用產品與100%黏土製成紅磚之燒結特性差異，以原製磚黏土製作一組對照組試體。

試驗流程係將污泥及黏土以電子秤秤重後，送至混合機均勻攪拌混練後，將調製完成的泥漿送入真空擠壓機擠壓成長方形固定規格的泥條，抽成負壓去除土坯中的空氣以形成光滑表面，泥條再經由切磚機切成尺寸相同的磚坯。成型後的濕磚坯整齊交錯地堆疊於台車上，經自然陰乾1~2日後再拖運至隧道窯內乾燥，以去除濕磚坯的含水量，經乾燥後的磚坯送入燒成窯燒成後，即形成紅磚產品如圖2。

3.試驗結果

(1)抗壓強度及吸水率

當污泥摻配比為5~20%時，各種污泥摻配比之再利用產品之抗壓強度及吸水率如表3所示，其抗壓強度為308~575kgf/cm^2，吸水率為12.2~13.7%，符合CNS382 R2002之三種磚規範值。由吸水率之變化可知試體燒結反應的差異，試體燒結愈緻密，孔隙率相對減少，吸水率也就隨之下降，且具有較高之抗壓強度。

(2)有毒重金屬溶出

重金屬溶出試驗為評估有害事業廢棄物之判定基準，對於污泥再利用之前題下，尤應注意再利用產品之有毒重金屬溶出問題，由表4可知，污泥摻配比20%產製紅磚之有毒重金屬溶出值均能符合法規標準。

圖2 污泥再利用產製之紅磚外觀

表3 污泥再利用產製紅磚之抗壓強度及吸水率

污泥摻配比(%)	機械性質		CNS382 R2002三種磚規範值	
	抗壓強度 (kgf/cm^2)	吸水率 (%)	抗壓強度 (kgf/cm^2)	吸水率 (%)
0	408	13.1	150以上	15以下
5	575	12.3		
10	562	12.2		
15	308	13.7		
20	328	13.4		

三、污泥再利用產製粒料

1.污泥成分與特性分析

本試驗所使用之污泥為工業局所轄南部某污水廠之污泥(以下簡稱S污水廠污泥)及黏土，其主要成分與特性分析結果彙整

表4 污泥再利用產製紅磚之有毒重金屬TCLP檢測結果

單位：mg/L

檢測項目	摻配20%污泥產製之紅磚	法規標準值註
總汞	N.D.	0.2
總砷	<0.100	5
總硒	<0.100	1
總銀	0.231	100
總銅	0.026	15
總鉻	2.11	5
總鎘	N.D.	1
總鉛	0.020	5
六價鉻	2.02	2.5

註：引用之法規標準值為「有害事業廢棄物認定標準」之「毒性特性溶出程序溶出標準」對於「有毒重金屬之溶出」規定值；ND：低於偵測極限。

表5 產製粒料之原料主要成分與特性

單位：%

檢測項目	黏土	S污水廠污泥
SiO_2	62.1	18.1
Al_2O_3	6.27	19.2
CaO_2	1.16	4.03
MgO_2	1.73	0.92
K_2O	0.66	0.686
Na_2O	0.0342	0.13
Fe_2O_3	6.43	6.15
水分	7.91	21.09
灰分	87.66	33.96
可燃分	4.43	44.95
揮發性固體含量	2.6	41.9
硫	0.05	0.28
氯	0.04	0.07

如表5，有毒重金屬TCLP檢測結果則彙整如表6。由檢測結果得知，污泥所含揮發性固體含量有41.9%，屬有機性污泥，其揮發性固體含量有助於達成粒料輕質化特性。另二氧化矽、三氧化二鋁及氧化鈣之含量合計約為41.33%，故須添加具二氧化矽及三氧化二鋁含量較高之黏土以調整其成分，使其成分接近發泡黏土組成範圍而產生膨脹現象。此外，污泥之含水率為21.09%，於再利用前無需經乾燥即可與黏土進行混拌，有助於降低再利用成本。另由污水廠污泥之有毒重金屬TCLP檢測結果可知，其為一般事業廢棄物。

表6 污泥重金屬TCLP檢測結果

單位：mg/L

檢測項目	檢測結果	法規標準值註
總汞	N.D.	0.2
總砷	N.D.	5.0
總硒	<0.100	1.0
總銀	0.328	100
總銅	0.109	15.0
總鉻	<0.020	5.0
總鎘	N.D.	1.0
總鉛	N.D.	5
六價鉻	<0.10	2.5

註：引用之法規標準值為「有害事業廢棄物認定標準」之「毒性特性溶出程序溶出標準」對於「有毒重金屬之溶出」規定值；ND：低於偵測極限。

2.試驗方法及流程

以0%、30%、40%及50%等4種污泥摻配比進行試驗，試驗流程係分別秤取污泥與黏土後，以剷運機送至定量供料機中，並利用其附屬之破碎機進行粗碎混合，以輸送帶將混合之物料送至混練機，加入適當水量予以均勻攪拌及混練後，再將上述調製完成之物料送入造粒機，以擠壓成粒徑8~10mm之雛粒，雛粒送入燒成窯(旋轉窯)以200℃~800℃預熱20~25分鐘後，進入以1,000℃~1,250℃燒成段燒成20~30分鐘後產製粒料。

3.試驗結果

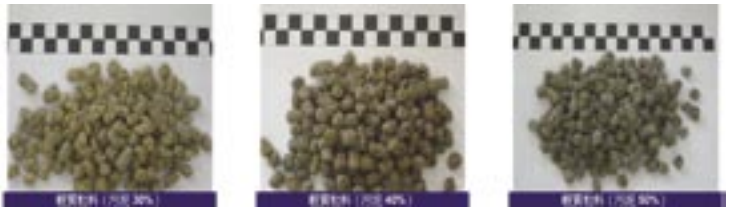
(1)吸水率、乾鬆單位重及筒壓強度

以4種污泥摻配比所燒製之粒料吸水率、乾鬆單位重及筒壓強度等檢測結果彙整如表7，由表7可知，輕質粒料之吸水率介於14.2~26.9%，乾鬆單位重介於634~753kg/m^3，而其顆粒筒壓強度介於13.2~29.6 kgf/cm^2，以污泥所燒製

之粒料外觀照片如圖3所示。

表7 粒料之吸水率、乾鬆單位重及筒壓強度

污泥掺配比(%)	試驗項目		
	吸水率(%)	乾鬆單位重 (kg/m³)	筒壓強度 (kgf/cm²)
0	4±0.2	812±6	104.1±2.1
30	14.2±0.1	753±8	29.6±1.4
40	26.7±1.2	662±4	13.2±0.1
50	26.9±0.3	634±4	14.1±0.1



(a) (b) (c)

圖3 粒料之外觀

(2)有毒重金屬溶出

以4種污泥掺配比燒製之粒料有毒重金屬TCLP檢測結果彙整如表8。由表8可知，掺配30~50%污泥所產製之粒料，其有毒重金屬溶出結果皆低於「有害事業廢棄物認定標準」之毒性特性溶出程序有毒重金屬溶出標準。此結果顯示，以高溫燒結處理之方式，可有效封存及安定有害之重金屬物質。

四、結論

綜合前述試驗結果可獲致之結論如下：

1.由L污水廠污泥再利用產製紅磚之試驗結果顯示：以5~20%污泥與黏土掺配、混練及成型之濕磚坯，經燒成窯燒成後，其產製之紅磚抗壓強度為308~575kgf/cm^2，吸水率為12.2~13.7%，符合CNS382 R2002之三種磚規範值。

2.由S污水廠污泥再利用產製粒料試驗結果顯示：以30~50%污泥與黏土掺配進行造粒形成之雛粒，經旋轉窯燒結後，其產製之粒料乾鬆單位重為634~753kg/m^3，吸水率為14.2~26.9%，顆粒筒壓強度為13.2~29.6kgf/cm^2。其中，掺配30%污泥所燒製之粒料，未來可應用於營建工程之混凝土製品製作，至於掺配40%及50%污泥所燒結之粒料，可利用其高吸水性(＞26%)及質輕(乾鬆單位重＜670kg/m^3)之特性，應用於地盤改良或城市排水用滲透帶等大地工程。

參考文獻

1.王景玟、鄭淑芬、劉蘭萍、林政江，「工業區污水處理廠污泥資源化案例探討」，綠基會通訊，第10~14頁，97年7月。
2.工業廢棄物清除處理與資源化輔導計畫期末執行成果報告，經濟部工業局，96年12月。
3.工業廢棄物清除處理與資源化輔導計畫期末執行成果報告，經濟部工業局，97年12月。
4.資源再生產業競爭力提升計畫期末執行成果報告，經濟部工業局，98年12月。
5.王順元、鄭淑芬、劉蘭萍、林明傳，「工業區污水處理廠污泥燒製輕質粒料之可行性探討」，清潔生產暨環保技術研討會論文集，第281~290頁，99年11月。

表8 粒料有毒重金屬TCLP溶出檢測結果

單位：mg/L

污泥掺配比(%)	檢測項目								
	總銅	總鎘	總鉻	總鉛	總砷	總汞	總硒	六價鉻	總銀
0	<0.020	N.D.	<0.020	<0.040	N.D.	N.D.	<0.100	<1.00	0.725
30	<0.020	N.D.	<0.020	<0.040	N.D.	N.D.	<0.100	<0.10	0.321
40	0.139	N.D.	<0.020	0.114	0.272	N.D.	<0.100	<1.00	0.191
50	0.032	N.D.	<0.020	<0.040	0.348	N.D.	<0.100	<1.00	0.267
法規標準值	15	1	5	5	5	0.2	1	2.5	100