

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

垃圾與焚化灰渣掩埋技術-子計畫一：

垃圾與焚化灰渣掩埋滲出水水質水量模式 The Leachate Quality and Quantity Modeling for the Landfill of MSW and Incinerator Ashes

計畫編號：NSC 87-2211-E-032-012

執行期限：86年8月1日至87年7月31日

主持人：高思懷 淡江大學水資源及環境工程學系

共同主持人：周錦東 萬能工商專科學校環境工程科

一、中文摘要

本研究利用各種鹽類之溶出特性進行萃取實驗，同時用垃圾滲出水淋於管柱內之底灰，模擬共同掩埋以找出鹽類影響 Pb 與 Fe 釋出之推估模式。研究結果發現，影響 Pb 釋出之鹽類順序為 $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{CO}_3^{2-}$ ；影響 Fe 釋出之鹽類順序為 $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{CO}_3^{2-}$ 。鹽類雖會影響重金屬的釋出，但影響量不大。而底灰與生垃圾共同掩埋對有機物的去除仍具有有相當好的效果。

在不同掩埋齡灰渣對生垃圾滲出水的影響方面，發現灰渣均對有機物質有去除能力，且隨著掩埋齡的增加，其去除生垃圾滲出水中有機物的能力高於掩埋齡低的灰渣。

關鍵詞：焚化底灰，重金屬，鹽類，衛生掩埋。

Abstract

This study contains the ash extraction by different ligands, and

lysimeter test of bottom ash leached by MSW leachate to explore the influence between heavy metals and salts, and to find out the simulation models. The results showed that, the order for ligands influenced the release of Pb was $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{CO}_3^{2-}$, and for Fe was $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{CO}_3^{2-}$.

For the influence of the incinerator ashes of different landfill ages toward the leachate, it was found that, all types of residues were capable of degrading the organic pollutants. As the landfill age of ashes lengthened, the organic degradation of the leachate increased.

Keywords: Incinerator bottom ashes, Heavy metals, ligands, Sanitary landfill.

二、緣由與目的

都市垃圾焚化是未來垃圾處理方法的重心，在大量採用焚化之後，灰渣的處置勢必成為關切的問題。據研究指出，焚化灰渣與生垃圾共同掩埋對滲出水水質具有正面的效果⁽¹⁾，所以針對共同掩埋特性做深入探討。

本研究以過去都市垃圾與焚化底灰共同掩埋之研究以及焚化底灰中鹽類影響重金屬之研究為基礎，以深入探討焚化底灰對生垃圾滲出水處理情況，同時探討底灰中重金屬，並由化學分析探討其釋出特性，以提供未來滲出水處理建議。重點以 Fe、Pb 為對象，將常見各類無機鹽類與金屬化合物特性加以歸納⁽²⁾，改善已往以總量之設計缺點。

三、研究方法與實驗設計

研究內容包括二部分，第一部分為萃取實驗，利用不同的程序找出無機鹽與重金屬之間的關係；第二部分為管柱掩埋實驗，主要在探討生垃圾與底灰共同掩埋時所造成的影響，最後則以不同掩埋齡之灰渣為探討對象，以了解其對於滲出水質的影響。主要研究內容為：1、探討重金屬與常見各種無機鹽類之化合特性。2、探討焚化底灰對垃圾滲出水之影響。3、探討重金屬之分佈特性。4、探討重金屬之釋出情形。5、找出鹽類對重金屬釋出影響之推估模式。6、探討掩埋深度對滲出水的影響。7、探討不同掩埋齡灰渣對滲出水水質之影響。

在都市垃圾及環境中影響重金屬的鹽類，大多為 S^{2-} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 CO_3^{2-} 、 PO_4^{3-} 、 OH^- 等，其中 CO_3^{2-} 、 PO_4^{3-} 、 OH^- 、 S^{2-} 具有沉澱性質，但 CO_3^{2-} 可溶於酸中且 SO_4^{2-} 來自酸雨。本研究以其中最具影響之 Cl^- 、 SO_4^{2-} 及 CO_3^{2-} 為探討重點，並探討底灰中重金屬之結合形態。為了探討底灰中鹽類與重金屬之錯合現象，先以 TCLP 萃取以模擬底灰中重金屬與鹽類之錯合現象，並模擬在掩埋中，重金屬可能釋出的最大量。經萃取後，由於鹽類會與重金屬在不同的情況中釋出，因此利用在不同的情況下，分析重金屬及鹽類釋放量來推測重金屬與鹽類之錯合比，亦

可比較出那些鹽類對重金屬有較大的影響，進而推估重金屬的釋出模式。

在第二部分實驗中，利用小型掩埋管柱，以生垃圾之滲出水為淋滲液，模擬生垃圾與底灰共同掩埋之情形。研究重點以生垃圾中常見的重金屬鐵及鉛為主，而鹽類部分則以氯鹽、硫酸鹽及碳酸鹽及重碳酸鹽為主，並在掩埋過程中測 ORP，以了解管柱中之好氧情況。在分析滲出水的鹽類及重金屬的含量後，並以迴歸的方式找出相互關係，進而求出重金屬的釋出模式。實驗方法為：

1、Fe

a、蒸餾水萃取：加水萃取可溶出 Cl^- 、 SO_4^{2-} 。

b、強酸萃取：TCLP 實驗之萃取液或一般常用之酸，皆可使 CO_3^{2-} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 溶出。因此，上述底灰樣品經處理後，再以強酸萃取，以了解 CO_3^{2-} 之溶出情況。

2、Pb

a、蒸餾水萃取：加水萃取可溶出 SO_4^{2-} 。

b、蒸餾水加溫萃取：由於氯化鉛可以溶解於高溫沸水中，上述樣品於取得 SO_4^{2-} 資料後，再加水予以煮沸，即可溶出 Cl^- 。

c、強酸萃取：上述樣品經處理後，再以強酸萃取，即可溶出 CO_3^{2-} 。

至於掩埋實驗則分別探討重金屬溶出特性與滲出水返送的效率。其中探討重金屬溶出特性之掩埋實驗管柱，其操作條件如表一所示。藉由滲出水水質分析結果驗證溶出實驗所得之初步成果。而滲出水返送之實驗，採用掩埋齡為六年及三年的焚化灰渣，並以焚化廠採得之新鮮灰渣共同進行實驗比對。

四、結果與討論

針對上述常見之鹽類與灰渣中 Fe、Pb 之結合特性設計了不同之萃取實驗(表二、表三)⁽⁵⁾，藉由數值分析

方法，可將實驗結果歸納分析得到重金屬溶出推估模式。

在Pb釋出模式方面(表五)，以單位鹽類鉛之釋出比來看，影響Pb釋出之鹽類順序為 $SO_4^{2-} > Cl^- > CO_3^{2-}$ 。在第三階段之萃取中，雖然 CO_3^{2-} 的釋出濃度相當高，而所萃出的鉛濃度也很高，但其單位 CO_3^{2-} 影響鉛釋出比卻變得很小。所以在實際掩埋時，若含有高濃度的鹽類，勢必會影響重金屬鉛的釋出，而造成對環境之污染。

另外，經由萃取實驗可知，影響Pb釋出的鹽類，以 SO_4^{2-} 為最大， Cl^- 次之， CO_3^{2-} 再次之。Pb釋出濃度的推估模式為⁽⁴⁾：

$$y = 0.0007105x_1 + 0.0003036x_2 + 0.0001662x_3$$

y：Pb釋出量(mg/kg)

x_1, x_2, x_3 ： SO_4^{2-} ， Cl^- ， CO_3^{2-} 釋出量(mg/kg)

在Fe釋出推估模式方面(表六)，以單位鹽類中鐵釋出比來看，影響Fe釋出之鹽類順序為 $SO_4^{2-} > CO_3^{2-} > Cl^-$ 。在萃取實驗中Fe釋出濃度皆相當低，單位鹽類Fe之釋出比皆在 10^{-3} 以下，其中以 SO_4^{2-} 影響為最大，其單位鹽類Fe濃度之釋出值為 7.43×10^{-4} mg/kg。由萃取實驗可知，影響Fe釋出的鹽類，以 SO_4^{2-} 為最大， CO_3^{2-} 次之， Cl^- 再次之。Fe釋出濃度的推估模式為⁽⁴⁾：

$$y = 7.43 \times 10^{-4}x_1 + 5.37 \times 10^{-8}x_2 + 8.02 \times 10^{-5}x_3$$

y：Fe釋出量(mg/kg)

x_1, x_2, x_3 ： SO_4^{2-} ， Cl^- ， CO_3^{2-} 釋出量(mg/kg)

根據上列結合推估模式，將掩埋管柱之實驗資料加以比對，分別以各管柱滲出水中單一鹽類對重金屬釋出情況及多種鹽類對重金屬釋出情況加以討論，並以此為基礎建立Pb、Fe在掩埋中之溶出模式(表六)⁽⁵⁾。

此外，不同掩埋齡焚化灰渣對滲出水循環處理之研究中，針對TOC與

COD累積去除量的結果(表七)⁽³⁾可以看出，隨著灰渣掩埋齡的加長對於生垃圾滲出水中有機污染物的去除能力越好，其可能的原因為掩埋時長的灰渣內部不適合生物生長的條件較少，而隨淋滲時間的加長灰渣內部微生物因適應而繁殖，因而對有機物質去除而達穩定。

五、計劃成果自評

本研究經由所設計實施的諸多實驗之後，共執行獲致下列成果：

1. 焚化灰渣中Fe、Pb之釋出情形。
2. 重金屬與各種無機鹽類之化合特性。
3. 建立鹽類影響焚化灰渣中Fe、Pb釋出之推估模式。
4. 掩埋高度對滲出水返送之影響。
5. 不同掩埋齡灰渣對滲出水返送之影響。

計劃執行成果已完成原預期成果，可提供未來實場操作參考。

六、參考文獻及發表論文

1. 高思懷，「都市垃圾與焚化灰渣共同掩埋之模場研究」，行政院環保署，(1992)
2. 楊萬發，李穆生，「垃圾及焚化飛灰之污染特性」，環境工程會刊，L(4)，(1990)
3. 張道森，「垃圾焚化灰渣掩埋對生垃圾滲出水之處理能力」，碩士論文，淡江大學水資源及環境工程研究所，(1996)
4. 高思懷等，「都市垃圾與焚化底灰共同掩埋滲出水特性與鐵鉛溶出之推估模式」，第十二屆廢棄物處理技術研討會，(1987)
5. 簡昆賜，「都市垃圾與焚化底灰共同掩埋之重金屬溶出推估模式」，碩士論文，淡江大學水資源及環境工程研究所，(1997)

表一 各組掩埋管之操作條件

編號	高度 cm	掩埋密度 T/m ³	加水量 ml/day	淋滲水來源
1	60	1.02	200	生垃圾滲出水
2	60	1.09	85	1之滲出水
3	60	1.05	45	2之滲出水

4	60	1.08	25	3之滲出水
---	----	------	----	-------

註：單位面積淋滲量 6.72 l/m²day

表二 不同萃取程序中鹽類及鉛的釋出濃度

樣品編號	第一階段		第二階段		第三階段	
	SO ₄ ²⁻ mg/L	Pb mg/L	Cl ⁻ mg/L	Pb mg/L	CO ₃ ²⁻ mg/L	Pb mg/L
1	72.3	0.05	371	0.108	3641	0.638
2	70.5	0.03	361	0.098	3722	0.589
3	73.4	0.05	375	0.118	3680	0.603
4	71.2	0.04	379	0.112	3649	0.618
5	78.3	0.06	368	0.128	3598	0.593

表三 不同萃取程序中鹽類及鐵的釋出濃度

樣品編號	第一階段			第二階段	
	SO ₄ ²⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	Fe mg/L	CO ₃ ²⁻ mg/L	Fe mg/L
1	70.8	377	0.056	3,753	0.302
2	71.9	369	0.065	3,765	0.237
3	70.8	372	0.055	3,664	0.263
4	68.5	385	0.086	3,748	0.348
5	72.3	377	0.059	3,688	0.289

表四 萃取實驗所得鹽類影響鉛釋出之模式

鹽類種類	鹽類釋出量 mg/kg	鉛釋出量 mg/kg	單位鹽類鉛之釋出比
SO ₄ ²⁻ (第一階段)	1460	1.04	7.11*10 ⁻⁴
Cl ⁻ (第二階段)	7430	2.26	3.04*10 ⁻⁴
HCO ₃ ⁻ (第三階段)	73200	12.2	1.66*10 ⁻⁴

釋出模式：
 $y = 7.11 \times 10^{-4} x_1 + 3.04 \times 10^{-4} x_2 + 1.66 \times 10^{-4} x_3$
 y: Pb 釋出量, x₁, x₂, x₃: SO₄²⁻, Cl⁻, CO₃²⁻ 釋出量

表五 萃取實驗所得鹽類影響鐵釋出之模式

鹽類種類	鹽類釋出量 g/kg	鐵釋出量 mg/kg	單位鹽類鐵之釋出比
SO ₄ ²⁻ (第一階段)	1.42	1.06	7.43*10 ⁻⁴
Cl ⁻ (第一階段)	7.29	3.92*10 ⁻⁴	5.37*10 ⁻⁵
HCO ₃ ⁻ (第二階段)	7.45	5.97	8.02*10 ⁻⁵

釋出模式：
 $y = 7.43 \times 10^{-4} x_1 + 5.37 \times 10^{-5} x_2 + 8.02 \times 10^{-5} x_3$
 y: Pb 釋出量, x₁, x₂, x₃: SO₄²⁻, Cl⁻, CO₃²⁻ 釋出量

表六 多種鹽類影響鐵鉛釋出模式

重金屬	迴歸式	R ²	F檢定值
Pb	$y = 0.003.56 \times 10^{-3} x_1 + 2.48 \times 10^{-4} x_2 + 5.03 \times 10^{-4} x_3 - 1.77 \times 10^{-3} x_4 + 3.56 \times 10^{-3}$	0.74	84.01
Fe	$y = 1.81 \times 10^{-4} x_1 + 5.00 \times 10^{-3} x_2 + 3.58 \times 10^{-4} x_3 - 6.54 \times 10^{-4} x_4 - 1.86 \times 10^{-3}$	0.41	20.88

其中 y: Pb 或 Fe 釋出量(mg/kg), x₁, x₂, x₃, x₄: SO₄²⁻, Cl⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻ 釋出量(mg/kg)

表七 不同掩埋齡灰渣層對 TOC 及 COD 的累積去除率

掩埋管柱	No.1	No.2
各管柱代表之深度	60 cm	120 cm
新鮮灰渣 COD 累積去除百分比(%)	55.9	71.6
新鮮灰渣 TOC 累積去除百分比(%)	32.3	61.4

掩埋三年組 COD 累積去除百分比(%)	61.1	86.4
掩埋三年 TOC 累積去除百分比(%)	44.1	78.0

掩埋六年 COD 累積去除百分比(%)	81.6	98.3
掩埋六年 TOC 累積去除百分比(%)	78.8	96.7