

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

醫療廢棄物及其污染物於高溫電漿中之宿命

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2211-E-041-008-

執行期間：94 年 08 月 01 日至 95 年 07 月 31 日

執行單位：嘉南藥理科技大學環境工程與科學系(所)

計畫主持人：施明良

共同主持人：蔡政賢

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2 年後可公開查詢

中 華 民 國 95 年 10 月 16 日

醫療廢棄物及其污染物於高溫電漿中之宿命

Destiny of Medical Waste and Its Pollutants in Thermal Plasma

計畫編號：NSC 94-2211-E-041-008

執行期限：94 年 08 月 01 日至 95 年 07 月 31 日

主持人：施明良 嘉南藥理科技大學環境工程學系

一、中文摘要

本研究第一階段以高溫爐處理模擬醫療廢棄物焚化過程，為避免 PCDD/Fs 於廢氣中再合成，於二次爐後端以急速冷凝方式將廢氣溫度降至室溫。第二階段則以高溫電漿技術處理焚化爐生成之底灰，同時探討底灰、熱處理產生之飛灰與熔渣中 PCDD/Fs 濃度及特徵剖面。

關鍵詞：焚化、底灰、電漿、戴奧辛

Abstract

The first stage of this study is to incinerate the simulated medical solid waste. To prevent the formation of dioxins, a cooling system was connected to secondary incineration chamber to reduce the outlet gas to atmospheric temperature. The second stage is to use the plasma technology to treat the dioxins contaminated ash. Finally, the treatability and congener profiles of ash, slag, particle and gas phases in outlet gas from both thermal treatments were discussed.

Keywords: incineration, ash, plasma, dioxin

二、緣由與目的

醫療廢棄物組成中通常有較高之含氯量，因此，許多文獻發現以高溫焚化處理後之底灰、飛灰與廢氣中都含有高濃度之戴奧辛(PCDD/Fs)【1-2】。目前煙道中之戴奧辛是以洗煙塔、袋濾式集塵器及注入活性碳等方式控制戴奧辛排放濃度，然而戴奧辛也因此隨著粒狀物或是活性碳等在濾袋中被收集下來，使得飛灰中含有高濃度之戴奧辛含量，但是此方式只是將污染轉移，並且，如將含 PCDD/Fs 之吸附劑

以掩埋方式處置，同樣也有滲漏之疑慮，未達到最終處置之目標。學者也發現，衛生掩埋焚化灰渣中之 PCDD/Fs 會經由雨水等沖刷而滲漏出來【3-5】。

加熱技術可用來處理受 PCDD/Fs 等之環境污染物【5-11】，例如利用非熱電漿處理設備之 PCDD/Fs 破壞去除率可達 81%【12】。傳統熱處理技術溫度約為 800~1200℃，而高溫電漿之溫度可達 3000℃ 以上，雖然高溫電漿於熱處理過程中較傳統高溫處理耗能量，但處理成效卻遠優於傳統熱處理方式，且產物同時具有回收與再利用之價值【13-14】。因此，本研究將運用高溫電漿方法，處理含 PCDD/Fs 之灰分。文獻指出，PCDD/Fs 形成之最佳溫度範圍為 250~450℃，因此，本研究第一階段以高溫爐處理模擬醫療廢棄物焚化過程，為避免 PCDD/Fs 於廢氣中再合成，於二次爐後端以急速冷凝方式將廢氣溫度降至室溫。第二階段則以高溫電漿技術處理焚化爐生成之底灰，同時探討底灰、熱處理產生之飛灰與熔渣中 PCDD/Fs 濃度及特徵剖面。此外，也探討電漿熔渣中 PCDD/Fs 是否符合管制標準，以及熔渣轉化成高經濟價值原料之再利用方式。最後，將建立高溫電漿處理醫療廢棄物時之最佳操作參數。

三、研究方法

1. 樣品製備

a. 高溫處理樣品製備

本研究參考 Li 等人(1993)【15】之醫療廢棄物物理組成分析結果，以不同比例之組成配製出模擬醫療廢棄物，各成分比例如表 1 所示。模擬醫療廢棄物進料總重

為 80 g (乾基)

表 1 模擬醫療廢棄物物理組成比例

種類	比例(%)	重量(g)
紙類	18	14.4
塑膠類	45	36
橡膠類	5	4
廚餘類	15	12
纖維類	10	8
木頭	2	1.6
豬殘肢	5	4

b. 電漿熔融樣品製備

採集模擬醫療廢棄物高溫處理後底灰，以擠壓成型器將底灰壓製成重量約 1.7 g 之錠狀。

2. 高溫處理系統

本研究高溫處理系統分為一次燃燒爐與二次燃燒室，一次燃燒爐溫度控制在約 900°C，停留時間為 1 hr，助燃空氣流量為 24.3 L/min，二次燃燒室溫度則控制在 1000°C，停留時間約為 9 secs。二次燃燒室後方為急速冷卻系統，以 4°C 循環冷卻水將廢氣溫度降至室溫以下，冷卻系統末端為一冷凝水收集裝置。廢氣中 PCDD/F 採樣過程係參考美國 EPA 修正方法 23 及使用美國 EPA 修正方法 5 之採樣裝置進行採樣。氣固相採樣模組則分別用來採集廢氣中固相(GFF)及氣相(PUF)之 PCDD/F 濃度。採樣系統抽氣量為 10 L/min，最後廢氣經由濕式洗滌塔處理後排放至大氣中。

3. 電漿熔融系統

本研究電漿熔融系統以氬氣作為載流氣體，進流量為 0.5~1.5 L/min，並以迴水式水冷系統作為電漿火炬內部之冷卻。高溫電漿熔融系統可分為傳輸型(transferred)與非傳輸型(non-transferred)兩種模式，傳輸型之電源接於電極與基板(不銹鋼板)之間，非傳輸型之電源接於電極與火嘴之間。非傳輸型電漿中心溫度可高達 4,000~10,000°C，而傳輸型電漿中心溫度可高達 15,000~20,000°C。本研究係採用非傳輸型作為操作方式，實驗時以不銹鋼板

做為樣品之載板，電漿火炬槍體內部為鎢電極(鎢棒)，火炬出口為銅質之火嘴。電漿熔融系統輸入功率分別為 1600W 及 3600W，操作時間 5min。廢氣採樣過程參考美國 EPA 修正方法 23 及使用美國 EPA 修正方法 5 之採樣裝置進行採樣。氣固相採樣模組則分別用來採集廢氣中固相(GFF)及氣相(PUF)之 PCDD/F 濃度。採樣系統抽氣量為 120 L/min。

四、結果與討論

1. 底灰與電漿熔渣特性

模擬醫療廢棄物經高溫處理後，底灰外觀呈灰色，底灰平均重量為 5.299 g，乾基減重比為 30.19。底灰再經電漿熔融後，熔渣呈現乳白色，平均重量為 1.5 g，其減重比為 1.21。為了解底灰及熔渣經高溫和電漿處理前後之表面結構，因此，利用掃描式電子顯微鏡 (SEM) 進行底灰與熔渣表面結構分析。經 1000~5000 倍掃描結果顯示，底灰為不規則、具有孔隙大、結構鬆散之表面特徵；而底灰經電漿於功率 1600W 與 3600W 處理後，熔渣呈表面熔融狀態，熔渣塊呈現表面平整、具玻璃光澤且無孔隙之結構。

2. PCDD/Fs 分析

2-1 PCDD/Fs 濃度分析

未經熱處理之模擬醫療廢棄物其 PCDD/Fs 濃度經分析結果為低於偵測濃度以下。模擬醫療廢棄物經 900°C 高溫處理後，PCDD/Fs 則於底灰中生成，其濃度為 1790 ng/kg，其中 PCDDs 濃度為 140 ng/kg，PCDFs 濃度為 1650 ng/kg，而 I-TEQ 濃度為 234 ng/kg。模擬醫療廢棄物經 900°C 高溫處理所排放之廢氣先經冷凝系統冷卻至室溫，然後再經由廢氣收集系統採集氣固相 PCDD/Fs 污染物。冷凝系統收集到之冷凝水及管壁凝結物經溶劑萃取分析，其 PCDD/Fs 濃度為 31 ng/L；而 I-TEQ 濃度為 2.49 ng/L。冷凝後之廢氣包括氣相與粒狀物相兩部份，氣相 PCDD/Fs 濃度經 PUF 採樣分析結果為 2621

pg/Nm³；而氣相中 I-TEQ 濃度為 408 pg/Nm³。粒狀物相 PCDD/Fs 濃度經 GFF 採樣分析結果為 1174 pg/Nm³；而粒狀物相中 I-TEQ 濃度為 151 pg/Nm³。

焚化底灰經以電漿功率 3600W 處理後，電漿熔渣 PCDD/Fs 濃度降低為 31.4 ng/kg，其中 PCDDs 濃度為 16.3 ng/kg，PCDFs 濃度為 15.1 ng/kg，PCDD/Fs 濃度去除率為 98.25%，而 I-TEQ 濃度降為 0.0008 ng/kg，去除率為 99.999%。焚化底灰經電漿處理所排放之廢氣包括氣相與粒狀物相兩部份。經 3600W 電漿處理之氣相 PCDD/Fs 濃度為 161.9 pg/Nm³；而氣相 I-TEQ 濃度為 5.3 pg/Nm³。經 3600W 電漿處理之粒狀物相 PCDD/Fs 濃度為 1560 pg/Nm³；而粒狀物相 I-TEQ 濃度為 22.7 pg/Nm³。由於本電漿處理系統並非一密閉系統，部份廢氣可能逸散而未被採樣系統收集到，因此，由上述結果可推論出，PCDD/Fs 污染底灰於電漿中以瞬間高溫處理時，部份底灰內部或底層中之 PCDD/Fs 未直接接觸到電漿，卻藉由熱傳導作用而逸散至廢氣中，因此，造成氣相與粒狀物相 PCDD/Fs 隨廢氣排出，然而此結果已經低於都市垃圾焚化爐 PCDD/Fs 排放濃度 0.1 I-TEQ ng/Nm³之嚴格標準。

2-2 PCDD/Fs 之特徵剖面

模擬醫療廢棄物經高溫處理後，由底灰之 17 種 2,3,7,8-氯取代 PCDD/Fs 特徵剖面發現，底灰 PCDD/Fs 濃度百分比主要分佈於 PCDFs，其中 2,3,7,8-TCDF、1,2,3,7,8-PeCDF 與 2,3,4,7,8-PeCDF 分別佔總 PCDD/Fs 濃度之 33.2%、16.2%與 17.8%，而 I-TEQ 濃度百分比主要分佈於 2,3,4,7,8-PeCDF、2,3,7,8-TCDF 與 2,3,7,8-TCDD，佔總 I-TEQ 濃度之 68.0%、25.4%與 15.2%。

底灰經輸入功率 3600W 電漿處理後，PCDD/Fs 濃度百分比則以 OCDD、OCDF 與 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF 等高氯數物種為主，分別為 44.8%、16.5%與 12.1%，而低氯數之 PCDFs 等之

PCDD/Fs 濃度百分比有減低趨勢。I-TEQ 濃度部份，底灰經由電漿處理後 I-TEQ 濃度百分比仍以 2,3,4,7,8-PeCDF 佔最高為 79.6%，其中低氯數之 PCDDs 與 PCDFs 之 I-TEQ 濃度百分比有降低趨勢，但是高氯數 PCDFs 之 I-TEQ 濃度百分比則有升高現象。

分析模擬醫療廢棄物經高溫處理所排放廢氣之氣相與粒狀物相 PCDD/Fs 特徵剖面，結果顯示氣相與粒狀物相濃度特徵剖面類似，且以 PCDFs 所佔比例較高，而氣相與粒狀物相之 I-TEQ 特徵剖面也類似，主要物種為 2,3,4,7,8-PeCDD 與低氯數之 PCDDs 及 PCDFs。電漿處理排放廢氣之氣相與粒狀物相濃度特徵剖面也類似，主要物種為高氯數之 OCDD 與 OCDF，分別為 18.5%與 50.8%及 27.1%與 39.1%。但氣相與粒狀物相 I-TEQ 濃度特徵剖面則有所不同，氣相中主要以低氯數物種 2,3,7,8-TCDD、1,2,3,7,8-PeCDD 與 2,3,4,7,8-PeCDF 為主，分別為 27.8%、13.5%與 27.6%，而粒狀物相中則以 PCDFs 為主，主要物種為 2,3,4,7,8-PeCDF、2,3,4,6,7,8-HxCDF 與 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF，分別佔總 PCDD/Fs I-TEQ 濃度之 25.7%、18.8%與 11.6%。綜合上述結果可知，焚化飛灰經電漿處理後，熔渣及廢氣之氣相與粒狀物相 PCDD/Fs 特徵剖面已改變。原來毒性當量較大之物種大部分降低或是消失，取而代之的是毒性當量較低之高氯數物種。

五、計畫成果自評

本研究發現電漿在適當能量下可將高溫焚化產生含 PCDD/Fs 底灰處理至低濃度且可符合土壤法規標準，電漿處理所排放廢氣部分，也能夠達到預期目標且低於目前最嚴格之煙道 0.1 ng I-TEQ/Nm³之排放標準許多。電漿處理產生之熔渣也具有無孔隙與低吸水率特性，可作為回收再利用之資材。

六、參考文獻

1. Wikström, E.; Löfvenius, G.; Rappe, C.; Marklund, S. 1996, Influence of

- Level and Form of Chlorine on the Formation of Chlorinated Dioxins, Dibenzofurans, and Benzenes During Combustion of an Artificial Fuel in a Laboratory Reactor. *Environmental Science and Technology* 30, 1637-1644.
2. Wang, L. C.; Lee, W. J.; Lee, W. S.; Chien-Chang G. P.; Tsai, P. J. 2003, Effect of Chlorine Content in Feeding Wastes of Incineration on the Emission of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins/dibenzofurans. *Science of the Total Environment* 302, 185-198.
 3. Kim, Y. J.; Lee, D. H.; Osako, M. 2002, Effect of Dissolved Humic Matters on the Leachability of PCDD/F from Fly Ash-Laboratory Experiment Using Aldrich Humic Acid. *Chemosphere* 47, 599-605
 4. Takeshita, R.; Akimoto, Y. 1991, Leaching of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxin and Dibenzofuran in Fly Ash from Municipal Solid Waste Incinerators to a Water System. *Arch. Environ. Contamin. Toxicol.* 21, 245-252
 5. Shimizu, Y.; Sato, K.; Kim, S.; Suzuki, T.; Takamatu, M.; Nakamura, M.; Yabushita, H. Yamamoto, T.; Murata, Hiroshi. 2003 Distribution of Dioxins and the Relevance to Soil Characteristics in the Yasu River. Asian-Pacific Regional Conference on Practical Environmental Technologies, Dec. 18~21, 2003, Tainan, Taiwan
 6. Izumikawa, C. 1996, Metal Recovery from Fly Ash Generated from Vitrification Process for MSW Ash. *Waste Manage.* 16, 501-507
 7. Jones, D. A.; Lelyveld, T. P.; Mavrofidis, S. D.; Kingman, S. W.; Miles, N. J. 2002, Microwave Heating Application in Environment Engineering- A Review. *Res. Conser. Rec.* 34, 75-90
 8. Reed, G. P.; Ergüdenler, A.; Grace, J. R.; Watkinson, A. P.; Herod, A. A.; Dugwell, D.; Kandiyuti, R. 2001, Control of Gasifier Mercury Emissions in a Hot Gas Filter: the Effect of Temperature. *Fuel* 80, 623-634
 9. Fox, R. D.; Alperin, E. S.; Huls, H. H. 1991, Thermal Treatment for the Removal of PCBs and Other Organics from Soil. *Environ. Prog.* 10, 40-44
 10. Mino, Y.; Moriyama, Y. 2001, Possible Remediation of Dioxin-Polluted Soil by Steam Distillation. *Chem. Pharm. Bulle.* 49, 1050-1051
 11. Kasai, E.; Harjanto, S.; Terui, T.; Nakamura, T.; Waseda, Y. 2000, Thermal Remediation of PCDD/Fs Contaminated Soil by Zone Combustion Process. *Chemosphere* 41, 857-864
 12. Y.X. Zhou ; P. Yan ; Z.X. Cheng ; M. Nifuku ; X.D. Liang ; Z.C. Guan. 2003, Application of non-thermal plasma on toxic removal of dioxin-contained fly ash, *Powder Technology* 135-136, 345-353
 13. Leech, P. W. 1998, *J. Vac. Sci. Technol. A* 16, pp.2037-2041
 14. Boenig, H. *Fundamentals of Plasma Chemistry and Technology*, Technomic Publishing Co., Inc., 1998
 15. Li, C. S.; Jenq, F. T. 1993, Physical and Chemical Composition of Hospital Waste. *Infection Control and Hospital Epidemiology.* 14(3), 145-150.