

令人關心的問題—醫院廢棄物

姚久龍* 林典岳**

一、前 言

適當地處理醫院廢棄物（包括許多劇毒和病理的物質），在最近已漸受關注，用掩埋法處理此類廢棄物已不再為環境保護單位所接受。目前高溫地焚化爐，已被推薦用來處理此類廢棄物——（醫院廢棄物）；大部份醫院現已裝設的老式焚化爐，產生了很多的問題；如無能力完全地破壞有毒物質，含氯的塑膠和其他有機鹵化物，細菌和有毒藥物不完全燃燒時，會產生驟毒的戴奧辛（dioxin）和氯芬（dibenzoturan）及在空中排放出鹽酸（HCl）和氯氣（Cl₂）。

現階段可控制空氣量及有效地處理複雜的廢棄物的新式焚化爐，在美國現已裝設者約只有15%。此高燃燒效率且能完全地破壞，分解有毒化合物和排放出的氣體中含有毒空氣污染物最少的焚化系統，仍應有效地利用一些控制技術，如用鹼性洗滌器以中和並除去酸性氣體和有毒的污染氣體。

二、一般廢棄物——塑膠的問題

醫院廢棄物的組成是富變化的，通常醫院廢棄物中85%可歸類為一般垃圾，此類垃圾較無危險，但因其中含有20%的塑膠，甚至高達30%，其跟都市固體廢棄物中含塑膠3~7%相比較，在焚化燃燒時其鹵化物會生成污染空氣的有害物質。醫院的行政管理及控制部門，現也發現已設置10年的許多焚化爐是不能涵蓋組成日益變化的廢棄物，這些問題仍是由於塑膠的存在及其他新的待處理廢棄物而產生。

醫院廢棄物的特性，可只以統計方式來描述，一般都市固體廢棄物的平均熱值為5,000 BTU/lb，而醫院廢棄物其熱值則在7,500~10,000 BTU/lb，其較高的熱值反映着有大量塑膠產品在廢棄物中，在焚化爐中，高熱值的塑膠，在操作上及控制上，是很重要的，因它是主要空氣中的污染源。雖然將大部份醫院廢棄物，歸類併入一般的廢棄物中，然而醫院廢棄物中含有許多有害的成份，值得在焚化時對其特別的關心，醫院廢棄物中傳染性廢棄物約佔10%，但此物質在一般操作及設計良好的焚化爐內可完全地加以破壞，故處理此類廢棄物，焚化爐是可行的方法之一。

*工研院能礦所正工程師

**工研院能礦所工程師

在設計上及操作不適當地醫院廢棄物焚化爐，因缺少正確的停留時間和適當的溫度去處理傳染性的廢棄物，下列任一或多項因素將影響消滅微生物所需的曝晒及停留時間；

1. 在間歇性的運作，溫度升降率
2. 超過焚化爐設計的線性速度
3. 超過焚化爐的進料容量
4. 垃圾中的含水量

同時焚化爐中，灰燼所潛在的微生物的污染，如都市廢棄物焚化爐一樣，仍未能達到完美的地步。

在實驗室的許多溶液廢棄物表中的有害廢棄物，如表 1（在資源保存 RCRA 和回收協會的規則），若這些物質能在一個有效的燃燒器中適當地燃燒時，可利用做鍋爐或焚化爐的燃料。

表 1 可用於熱回收的實驗室有害溶液

丙酮 (Acetone)	甲醇 (Methlalcohol)
二丁醇 (2-Butanol)	甲基溶纖劑 (Methylcellosolve)
丁醇 (Butyl alcohol)	戊烷 (Pentane)
二乙醚 (Diethylether)	石油醚 (Petroleum ether)
醋酸乙醚 (Ethylacetate)	二丙醇 (2-Propanol)
酒精 (Ethyl Alcohol)	仲丁醇 (Sec-butyl Alcohol)
庚烷 (Heptane)	特丁醇 (Tert-butylalcohol)
環乙烷 (Cyclohexane)	四氫扶南 (Tetra hydrofuran)
己烷 (Hexane)	二甲苯 (Xylene)

上述化合物在 RCRA 的規定下，是歸類為有害物質，但若不含有鹵化物時，在燃燒後，不會再產生有害的副產物，雖然所有藥劑的廢棄物，可以焚化爐來處理之，然而，焚化爐卻不能處理無機物質，這些無機化合物在燃燒後，其排放物也許會變成可溶解的或轉換成食物鏈的東西

有毒細胞（癌）的部門，其所使用的化學療法及治癌的藥劑，在處理時，除非醫院廢棄物的焚化爐，能至少達到 $1,000^{\circ}\text{C}$ ($1,800^{\circ}\text{F}$)，否則不能有效地破壞之，如美國紐約 Solan-Kettering 癌紀念中心，即要求所有的化學醫療廢棄物均要加以焚化，該中心亦認為要完全地分解破壞這些有機化合物，焚化爐的溫度需達到 $1,800^{\circ}\text{F} \sim 2,000^{\circ}\text{F}$ 才行。該研究機構因為沒有一個焚化爐能達到此高溫，因此他們將此工作交給外面的公司，以適當的焚化爐來去除此化學醫療的廢棄物，這些致癌的物質若在不適當的焚化爐中燃燒將導致排放出有害污染源，造成二次污染。

醫院廢棄物中富變化的有毒化合物，應以紅色袋子裝上以符合 RCRA 的規定。醫院焚化爐也處理放射性的廢棄物，NRC（核子管制委員會）認為焚化爐是處理醫院放射性廢棄物的最佳方法，大氣稀釋也廣泛地被用於大部份液態和氣態的醫院放射性廢棄物，生物醫學的廢棄物，不受 NRC 的規定（包括藥水瓶，動物屍體其含有少於 0.05 微居里的重氫或碳-14）。醫院將此不受管制的物質，採用焚化而不予以掩埋，可視為一重大的改變。

三、排 放 物

醫院廢棄物中 PVC (聚氯乙烯) 和其他鹵化高分子及其共通的高分子化合物，佔重大的比例，一般這些可處理的器具如注射器、便盆、撒尿袋、輔助呼吸器等等，含鹵素的有機化合物，在完全燃燒時，通常會產生 HCl 或氯氣 Cl₂，若燃料或廢棄物中含有大量的氫氣 (H₂) 時，又在過量空氣比為 1 左右時即在靠近化學反應計量比時，大約有 65% 的垃圾中的氣會轉變為 HCl，另一方面而言，若廢棄物焚化時，加入大量的過剩空氣，則燃燒溫度因為冷空氣的稀釋而溫度降低，則會抑制 HCl 的形成，是因為附加過量的空氣迫使可逆反應向含氯氣濃度較高的方向移動，因之過量空氣必須抑制，醫院廢棄物焚化爐，有二段燃燒室的設計在處理 100eb/hr 的廢棄物，其塑膠含量 30% (重量計) 時，當做 Cl⁻ 及 Cl₂ 發散物的試驗，此試驗顯示 HCl 的排放，平均只有 5mg/m³，一般當 Cl₂ 的排放為 100mg/m³ 時，即有潛在的危險，在西德就醫院廢棄物焚化爐，排放 HCl 氣體的研究報告中，曾顯示排放氯氣的含量過高，導致附近農場植物的嚴重損害，在其國內的 18 個醫院焚化爐的灰塵中取樣氣含量為 12.9%，另有測出排放物含 HCl 量高達 1,382mg/m³，目前德國空氣污染防治規定 HCl 從廢棄物焚化爐排放標準為 100mg/m³(63ppm)。

在 1980 年美國加州病理廢棄物焚化爐，燃燒 1,300eb/hr 的廢棄物試驗中，在三次試驗，平均 HCl 排放量為 1,120ppm 在 1983 年加拿大醫院的焚化爐，自煙囪取樣試驗得到下表 (此次試驗是由 7 次運轉的結果，2 次對 HCl，7 次對煙塵，4 次對戴奧辛／酚醣，1 次對 PCB/PAH)

表 2

加拿大皇家邱比利醫院焚化爐對環保試驗的總結果			
HCl	1983,	1520ppm	50% 過剩空氣
TSP		195mg/m ³	平均 50% 過剩空氣
Dioxin, PCDD		69μg/m ³	(平均)
Furans, PCDF'S		156μg/m ³	(平均)
Total PAH		4μg/m ³	(平均)
Total PCB'S		217μg/m ³	
一些 PCB'S，可能從集塵器逃逸，故實際上的排放量可能高於此值			

在醫院焚化爐的試驗，燃燒約 800kg/hr 的醫院混合廢棄物，用最新空氣控制系統，二段燃燒室，高的燃燒效率，仍發現，若廢棄物含高的鹵化物，則其排放物中仍含高的 HCl 酸氣。排放物中 HCl 會腐蝕金屬，使眼睛，鼻，喉部不適，更引起大氣中酸雨的問題，氯氣是有毒的污染氣體，因此醫院焚化爐所排放的 HCl, Cl₂ 的酸性氣體，會引起公眾的健康問題，但新進的控制技術，已可處理此類問題，如歐美的醫院，已利用現代化的乾式洗滌技術來處理，依加拿大的顧問專家報告，排放入環境中的戴奧辛其主要來源，是從不正當操作的焚化爐，環境中持續地形成戴奧辛和其相類似的化合物，是由設計及控制不當地固體廢棄物焚化爐所排放出的氣體及微粒而發射出來的，醫院廢棄物中含有鹵化物，在不完全燃燒時，會產生高含量的戴奧辛和其相似的有毒物質。

PCDD'S 和 PCDF'S 其形成的因素

1. 相關的化合物如氯化苯，PVC 氯化酚和氯化藥物在燃燒或熱分解時。

2. 非氯的有機物促生劑，及廢棄物中含氯無機物的熱再結合。

垃圾中含 PVC，木質素，氯化藥物，氯化鹽，另外芳香族的有機化合物（苯環型），在焚化過程中，均可與氧及氯形成氯化戴奧辛的先驅化合物，氯化苯亦為戴奧辛的促生者。

有機化合物暴露在足夠高的溫度下可以分解，破壞，有機化合物的熱穩定性，依其成份，結構而不同，Duvall 和 Rubey 建議高含氯的有機化合物，要在趨近 800°C ($1,470^{\circ}\text{F}$)，才能有效地加以破壞，其他的研究報告則建議要在 $1,000^{\circ}\text{C}$ 的高溫才能完全地加以破壞其結構。

戴奧辛 (PCDD'S) 酥醣 (PCDF'S) 顯示相當低的蒸汽壓，且在排放的粒子及氣體中存在，它跟某些污泥及燃燒後排放的微粒有高度的親和力，它可以用適當的集塵器捕捉之，戴奧辛有非常地安定性，在紫外線的照射下可被氯解，一般醫院廢棄物焚化爐若操作在 800°C 的低溫時，若想完全破壞排放物中微粒和氣體中含有的戴奧辛則須有適當的集塵器收集才行，再回顧加拿大醫院焚化爐的試驗資料表 2 所示，戴奧辛，酥醣和 PCB 是醫院廢棄物焚化爐排放物的主要成份，且依廢棄物的組成及焚化爐的燃燒效率而富變化性，資料中並建議高的燃燒效率可使戴奧辛和酥醣的排放率降至最低；飛灰和灰燼的樣品，在加拿大一研究分析試驗中，顯示在灰燼的樣品中只有微量的戴奧辛和酥醣，但在飛灰中則發現高含量，此點可確認戴奧辛和酥醣是集中於微粒中，報告中更提及排氣中逃脫於大氣的含戴奧辛的粒子，其濃度 10 倍大於飛灰集塵器，此即表示排氣中有較多的戴奧辛附着於飛灰粒子中逃脫入大氣中。

一些具有最近現代化的焚化爐，可控制空氣及具有相當高的燃燒效率，其試驗報告中，亦發現有微量的戴奧辛和酥醣，以表 3 所示，（此樣品是取粒子分析）。

表 3 從三家美國醫院排放物所測的結果

焚化爐	廢棄物給料量	二次爐溫度	PCDD	PCDF
附濕式洗滌器	400lb/hr			
	傳染性廢棄物 730lb/hr	$1,750^{\circ}\text{F}$	11.8	18.9
附廢熱鍋爐	一般醫院廢棄物 1150lb/hr	$1,950^{\circ}\text{F}$	28.2	52.1
附廢熱鍋爐	一般醫院廢棄物	$1,700^{\circ}\text{F}$	4.8	4.8

表中所示的戴奧辛和二氫二氟可能少於實際總排放量的一半，因此實際排放物中應高出 50%。

一般老式含過量空氣的醫院廢棄物焚化爐，其燃燒效率低，煙囪的高度約只有 $20\sim60'$ ，其排氣溫度亦約只有 $150\sim470^{\circ}\text{F}$ ，如此其排放的氣體不可能達到一般 2,000 倍的稀釋標準，且排放出有毒的氣體，故此不能控制的焚化爐，其排氣會使附近的居民受到重大的危害是不爭的事實。

四、焚化爐的設計及操作

一個有效的焚化爐在設計上需注意下列基本條件

1. 廢棄物的物理性質（液體，固體，污泥等）
2. 總進入熱值（包括燃料及廢棄物的熱值即多少B/hr）
3. 特別性能的要求（如有害化合物要求破壞至99.99%）

焚化爐的構造依第1項和第3項，配合固體廢棄物的可燃性而定，乾的可燃物（如紙和塑膠類）可導入冷空氣在火格子中燃燒，如果固體是濕的，則燃燒用的空氣須預熱，若是不可燃的固體，則不必加入空氣在此廢棄物上，因在此不可燃的廢棄物加空氣是一點用處都沒有的，這些不同點，顯示要設計一個焚化爐來燃燒所有型式的廢棄物是很困難的。也指出要改修現有的焚化爐以適用於燒一般廢棄物到病理的廢棄物是不切實際的。焚化爐的輸入熱量一般以廢棄的量來換算較方便，濕的病理廢棄物在焚化爐內的輸入熱量幾乎由燃料來提供；爐體內釋放的熱量初期以爐體的大小來決定較以進料的速度來決定為佳，後期則以每小時多少磅的廢棄物進料率來決定釋放和吸收的熱量，另外控制補助燃料量以提供維持爐內所需的溫度，通常此熱量並非由廢棄物所提供；需要控制廢棄物和燃料的流量，以維持操作運轉所需的條件，是每一醫院廢棄物焚化爐所要注意的問題；當廢棄物的燃燒能力改變時，廢棄物的進料量和燃料的輸入量亦要相對地隨之調整。醫院廢料物包含有高熱值的大量塑膠和濕的病理廢棄物（含較少的熱值），其熱值變化極大的結果，使醫院用的焚化爐在設計上要比同容量的焚化爐，需要更精緻的控制。

有害廢棄物要求其破壞達到99.99%時，其燃燒溫度和停留時間，至少要達到 $2,000^{\circ}\text{F}$ ($1,093^{\circ}\text{C}$)；2秒或更久。有害排放物的發生，可能由於缺乏控制造成不足夠的燃料以維持高溫或不足夠的空氣造成不完全的燃燒，也可能由於部份排氣經由一個短的通路，造成停留時間不足夠，通常停留時間2秒是必需的，也可防止此短通路的發生。在量測破壞的程度是測排放氣體的氧氣(O_2)含量有助於溫度的修正。廢棄物中若含有鹵素化合物，則要達到高的破壞效率，需要多段燃燒室。大部份的廢棄物可在第一燃燒室予以破壞，但進一步要求完全破壞時，則要有二次，三次，燃燒室；固體廢棄物在第一燃燒室被加熱，燃燒而破壞而產生的氣體（若需要時）則在第二次燃燒室，經由補助燃料加熱至 $2,000^{\circ}\text{F}$ 予以完全地破壞之。二次燃燒室的空間需足夠的大，以使燃氣能至少停留2秒的時間才能通過。

焚化爐利用二次以上燃燒的控制空氣量之設計原理即為在第一次燃燒室保持低於理論空氣量，第二次燃燒再加足空氣量將有害排氣充分的破壞之並產生高溫，仍維持一定的停留時間，其方法如圖1、2。

焚化爐若在一次燃燒室及二次燃燒室內分別加裝視窗則爐內燃燒時其空氣量的控制是否適當，可由爐內的顏色來判斷，一般廢棄物在爐內焚化時，一次燃燒室先期所看到的是黑煙，即揮發物及碳粒，再發生火舌，爐內顏色由黑→紅→深橙色，二次燃燒室的顏色則由橙色轉為黃白色如圖3所示

燃燒時控制焚化爐的空氣量，可使煙塵排放量特別低，若排放率過高，其造成的原因如下：

1. 二次燃燒室的設定不夠高

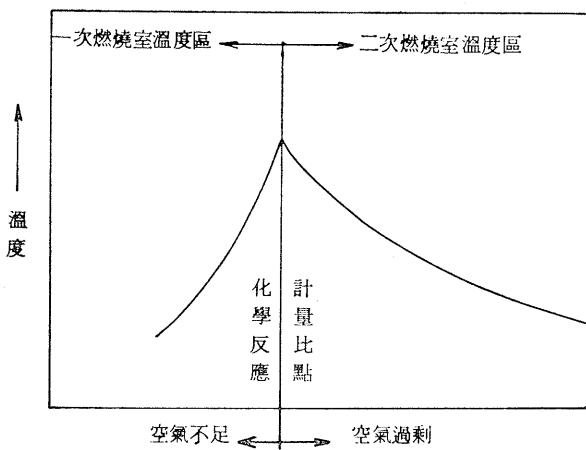


圖 1 控制空氣量焚化爐的空氣和溫度關係

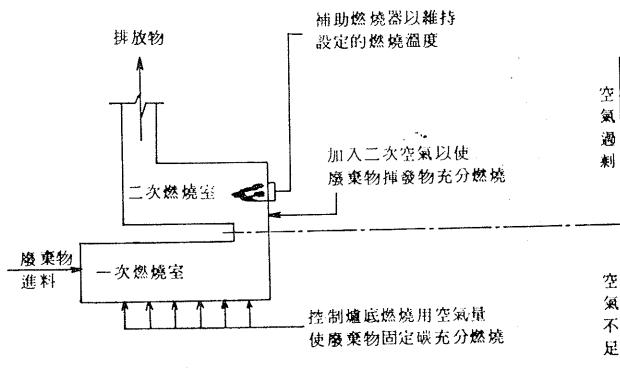


圖 2 設計圖概述

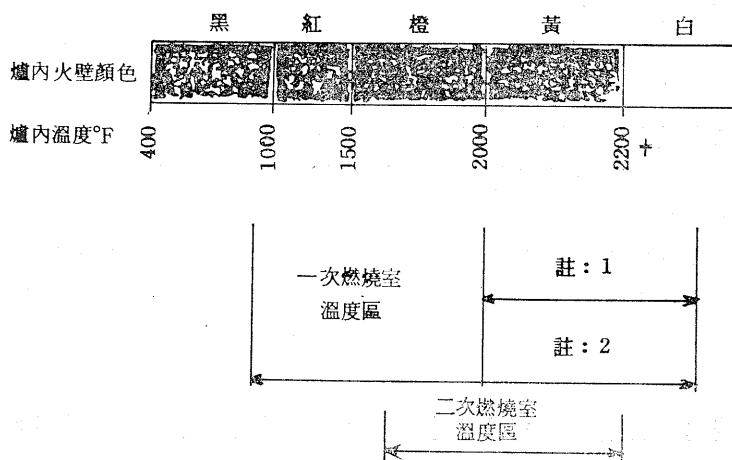


圖 3

- 2.一次燃燒室內發生高度負壓
- 3.滲漏的空氣太高
- 4.一次燃燒室內格底燃燒空氣過高
- 5.待處理廢棄物品質變更
- 6.二次燃燒室空氣不適當

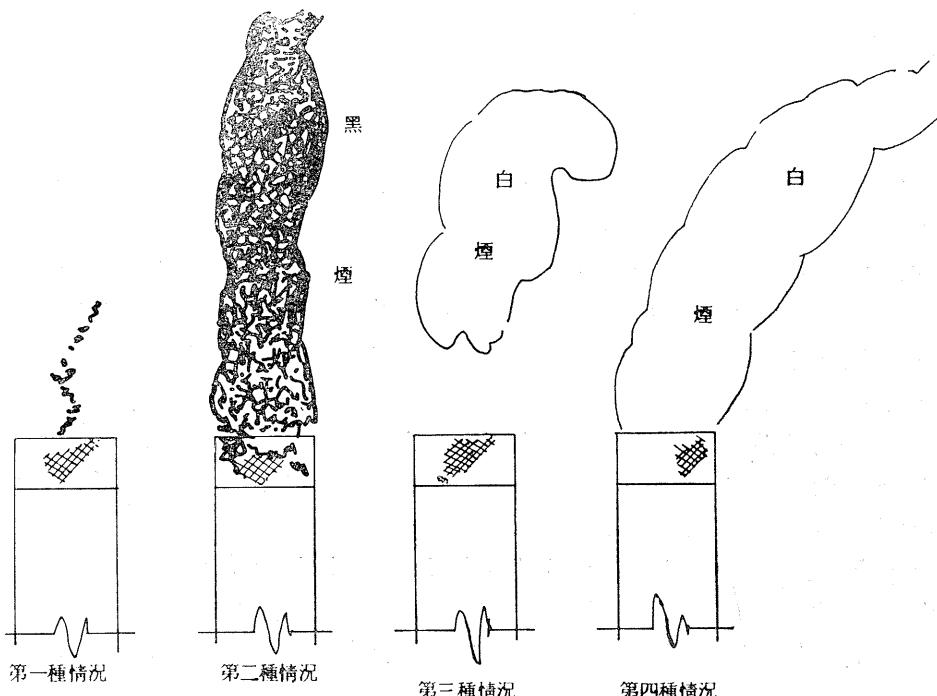
控制空氣量時若焚化爐的煙囪發生下列四種排放情況時其原因及解決的方法如下：

第一種情況：表示二次燃燒室溫度不夠高，可調高補助燃燒器的設定溫度。

第二種情況：濃黑煙的發生表示燃燒不完全，可將二次空氣調到最大，若問題仍未解決，可降低火格底的空氣量及調高補助燃燒器的設定溫度，一般設定在 $1,100^{\circ}\text{C}$ ，並確認進料量不要太多。

第三種情況：如果發生白煙，而不連續，離煙囗口有一段距離，表示有氯化氫的存在，須注意後處理設備之，中和液的添加量。

第四種情況：拖着尾巴的一種不穩定不透明的白煙，表示排氣中挾帶着過量的粉塵，一定是格底空氣過多，先降低其空氣量，若仍未改善，再核查廢棄物的品質。



低密度排煙情況的簡圖

焚化爐要達到良好的控制是不容易的，因為精緻的控制跟焚化爐的大小無關，建造和操作一個小型的焚化爐和大型的焚化爐還來得困難，且必須有一套連續且熟練的操作管理，因為隨着處理焚化爐的廢棄物會發生很多問題，故須有完善的說明和自動控制。良好的焚化控制需要在排氣中將 O_2 維持在設定的標準；直接測量 O_2 ，和修正控制空氣流量和補助燃料量。高的含氧量顯示太多的空氣，使燃燒的溫度降低，而不能有效地破壞有毒排氣物，低的

含氧量反映出不足夠的空氣去完全氧化（燃燒）所有的廢棄物，且可能導致增加排放某些有毒氣體或一氧化碳（CO）；同時採用CO（一氧化碳）排氣檢測器，也可確保高效率的焚化，因為固體廢棄物品質的不穩定及進料量的變化，故焚化爐的燃燒速率也不容易預測，因之如何控制空氣流量和補助燃料量亦甚困難，但不十分精確地控制空氣流量又會造成不完全燃燒及溫度降低，在許多焚化爐的設計，其空氣的流量，分佈，供給，必須加以自動地調節控制，雖然不簡單，但仍是可能辦到的。

五、結論

醫院有害的廢棄物，前面已敘述很多危險的問題，當醫院的醫務人員及病人，他們在接近這些藥物，化學品和傳染的廢棄物時會受到傷害；從處理不當的老式焚化爐中所排放的氣體，可能使下風周圍的居民（包括醫院本身）亦會受到危害，醫院焚化爐的排放物一般資料較為缺乏，但其可從都市及工業用焚化爐的資料，報告加以參考應用，現今有限的試驗資料，已明確地指出醫院的廢棄物焚化爐的排氣中存在着有毒的戴奧辛和酞酮，但這些東西可藉一個高燃燒效率的焚化爐的設計和操作而減至最少。乃採用最佳有效的控制技術（Best Available Control technology）加以控制，以防空氣的污染。

參考資料：

1. Bleckman John R "Hospital Waste Management Practices" Present at octorber 1984 Hazards 84 Conference Houston.
2. Lauber Jack D "An update on Best Available Control technology for Resource Recovery Facilities and optimum Combustion Conditions to minimze Emissions of Toxic Air Contaminants" Waste Incineration Seminar, The Technior. Isracl, May 17, 1984.
3. Niesser. W. R. "Combustion and incineration process" Marcel Decker 1978.
4. "Airpollution Control at Resource Recovery Facilities" California Air Resource Board May 24. 1984.
5. Murnyak G. R. Gazenich. D. C. "Chlorine Emissions from a Medical Waste incinerator" Journal of Environmental Health Sept/oct 1982.
6. Dunn K. S. "Incineration of Wastes" Hospital Devlopment Journal Sept/oct 1981.
7. Operation and Maintenance of Controlled Air Incinerator Robert E. Mcree Ecolaire Enviormantal Control Products, INC, Charlotte, N. C.
8. Operation of Controlled Air incinerators and design Consideration For Controlled Air Incinerators Treating Radioactive Wastes Dale Jessop Associated Technologies, Inc. Charlotte, N. C.