

新技術發展報導

工業及醫院用小型廢棄物焚化爐的潛在問題

傅孟台* 張榮興** 曾廣台*** 姚久龍****

摘要

如何妥善的處理各種廢棄物，是臺灣目前必須面對的問題。設計及建造能徹底分解有害廢棄物的焚化爐，以便有效處理產量日益增多的有害廢棄物更是當務之急。

在本文中除了介紹廢棄物的種類、焚化後產生的污染排放情形及國內小型事業廢棄物焚化爐的使用現況外，並說明良好的燃燒需具備的條件及設計焚化爐應注意的事項，其中並詳細說明能礦所設計完成的多燃燒室高燃燒效率控氣熱解式焚化爐系統。預計此套系統在今年可完成試車及測試工作，計畫完成後，技術將轉移給國內工業界及醫療事業單位使用，並進行商業化生產。

一、前言

環境保護是世界性的問題，需要國際間的相互合作。未來十年間臺灣最重要的問題將是必需面對如何處理各種不同的廢棄物，例如都市垃圾、醫院及工業有害廢棄物等。

都市垃圾是由各種不同種類的廢棄物混合而成，包括廚餘、紙張、金屬、木材、各種塑膠及樹脂（包括 PVC）、廢電池及電子零件（含有重金屬如鎘、鉛、汞等甚至還有 PCB）、攝影有關的廢棄物（含有複雜的化學藥劑及有毒金屬）、家庭用清潔劑、園藝用化學劑及殺蟲劑等。都市固體廢棄物中大部份的有害廢棄物都來自家庭，很難強行制止其隨意棄置。醫院廢棄物的分類收集也有同樣的問題，一般而言，很難要求病人及訪客在病房內將廢棄物作妥善的分類，因此使得焚化作業增加不少困難。工業廢棄物則由於產源穩定，處理上較易掌握。

焚化是指廢棄物於高溫狀態下所進行的一種燃燒程序，由於燃燒過程本身就是一種極其複雜的化學反應，因此焚化技術亦相當複雜。在實驗室燃燒相同性質的廢棄物時，有些反應尚可以利用理論分析加以預測，但事實上，運轉中的焚化爐所處理的廢棄物卻是各種性質都

* 工業技術研究院能源與礦業研究所副工程師

** 工業技術研究院能源與礦業研究所主任

*** 工業技術研究院能源與礦業研究所副組長

**** 工業技術研究院能源與礦業研究所副所長

有，其分析極其困難。雖然大部份的焚化爐都完全以理論來設計，但是一座成功的焚化爐必需兼顧理論及實務；例如材料的選擇、操作人員的安全考慮、系統的耐用性、成本、場地空間配置、及環境景觀等均應一併列入考慮。

廢棄物焚化最主要的目的是提供適當的氣氛及溫度將可燃物質轉化為無害之氣體產物，如二氧化碳及水蒸汽。其中最重要的因素，便是如何將燃燒的 $3T$ 控制在最好的狀況， $3T$ 就是時間 (Time)、溫度 (Temperature) 及擾流 (Turbulence)。學術界一致認定，假如是供應可燃物足夠的氧氣及提供適當的混合，並使燃燒溫度維持高於 1000°C ，滯留時間大於 2 秒，就是最難處理的氯化合物如 PCB's，戴奧辛 (Dioxins) 及呋喃 (Furans) 都能處理到 99.99%。甚至 99.9999% 更高的 DRE (Destruction Removal Efficiency, DRE) [Brunner, 1984]。

二、我國工業廢棄物及醫院廢棄物焚化爐現況

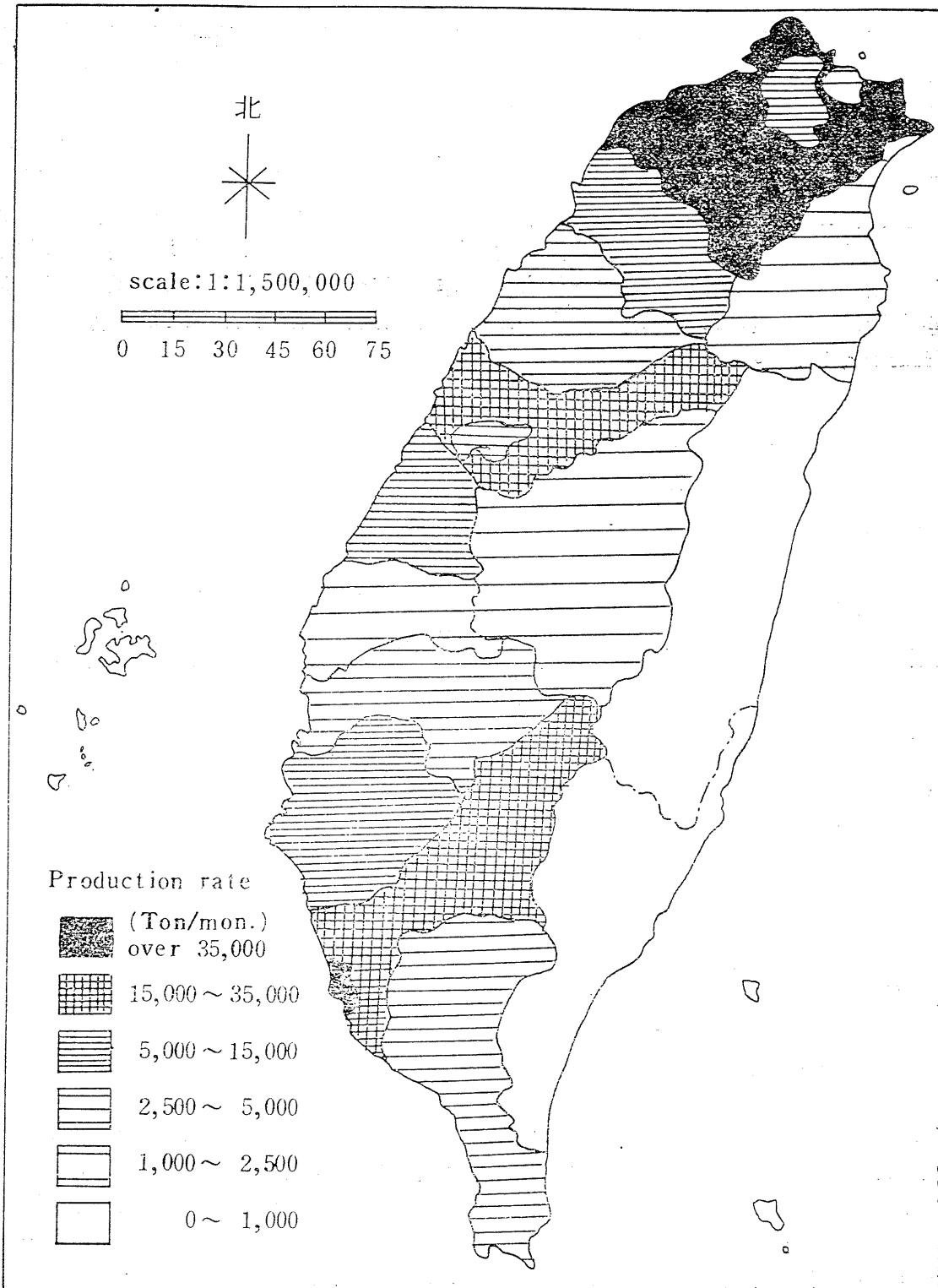
鑑於環境污染情況的日益嚴重，我國環保主管機關已制定了各種環保規章來管制廢棄物的產生、清除、處理及處置。最近更針對各種廢棄物的處理，分別訂定了廢棄物的定義、分類辦法及其管制及處理規範，使廢棄物清理法更趨完備。

在臺灣，至少有五萬家以上的工廠，於生產過程中不可避免的會產生各種不同的工業廢棄物，廢棄物的質與量當然也因工業技術層次的不同而有所不同。依前行政院衛生署環保局的統計資料，臺灣地區每年總計約產生二千八百萬公噸的事業廢棄物，其中約二百九十萬公噸屬於有害事業廢棄物。圖一為臺灣地區有害事業廢棄物產生率的分佈圖，有關於這些廢棄物的性質及產生速率的詳細資料可在相關的報告中找到。目前雖然只有少部份的工業廢棄物是以焚化方法處理，但是臺灣地區已設置的焚化爐大部份都是屬於舊式的過量空氣原理設計，而且大部份都沒有空氣污染控制設備。

圖二為臺灣地區大型醫院（超過 100 床）規模的大小分佈圖。臺灣地區各醫院產生的固體廢棄物每日產量計達 174 公噸，大型醫院目前約有 150 家，但約只有十分之一的醫院設有廢棄物焚化爐。工研院能礦所能源與環境研究室已在去年完成醫院廢棄物焚化爐使用現況的調查，表一中可看出這些焚化爐的主要設備。目前所有的醫院廢棄物焚化爐都採用舊式的過量空氣焚化方法設計；這些焚化爐有一個共同的問題，就是在焚化塑膠含量高的廢棄物時，絕大部份的焚化爐都會發生冒黑煙的情況。

醫院廢棄物種類繁多，包括感染性廢棄物，病理學廢棄物，塑膠類廢棄物，毒性廢棄物，廢棄的藥劑及一些低放射性廢棄物；根據文獻資料顯示醫院廢棄物由於塑膠及 PVC 含量高，焚化時可能會產生高於 1,000 ppm 的 HCl 酸性氣體 [Doyle et al., 1985; Allen et al., 1986; Powell, 1987]，遠高於我國政府規定的排放標準（臺灣環保標準為 80ppm）；因此，必須考慮使用廢氣洗滌裝置，將酸性氣體去除後才可排放。此外，由於大部份醫院廢棄物焚化爐都是在高過量空氣條件下操作，因而可能產生氯氣的污染，甚至有可能會進一步產生毒性更高的戴奧辛 (Dioxins) 及呋喃 (Furans)，使用上不可不慎。

臺灣大部份的工業廢棄物焚化爐及醫院廢棄物焚化爐都缺乏有效的空氣污染控制設備



圖一 臺灣地區有害事業廢棄物產生率分佈圖 (Lo, et al., 1987)

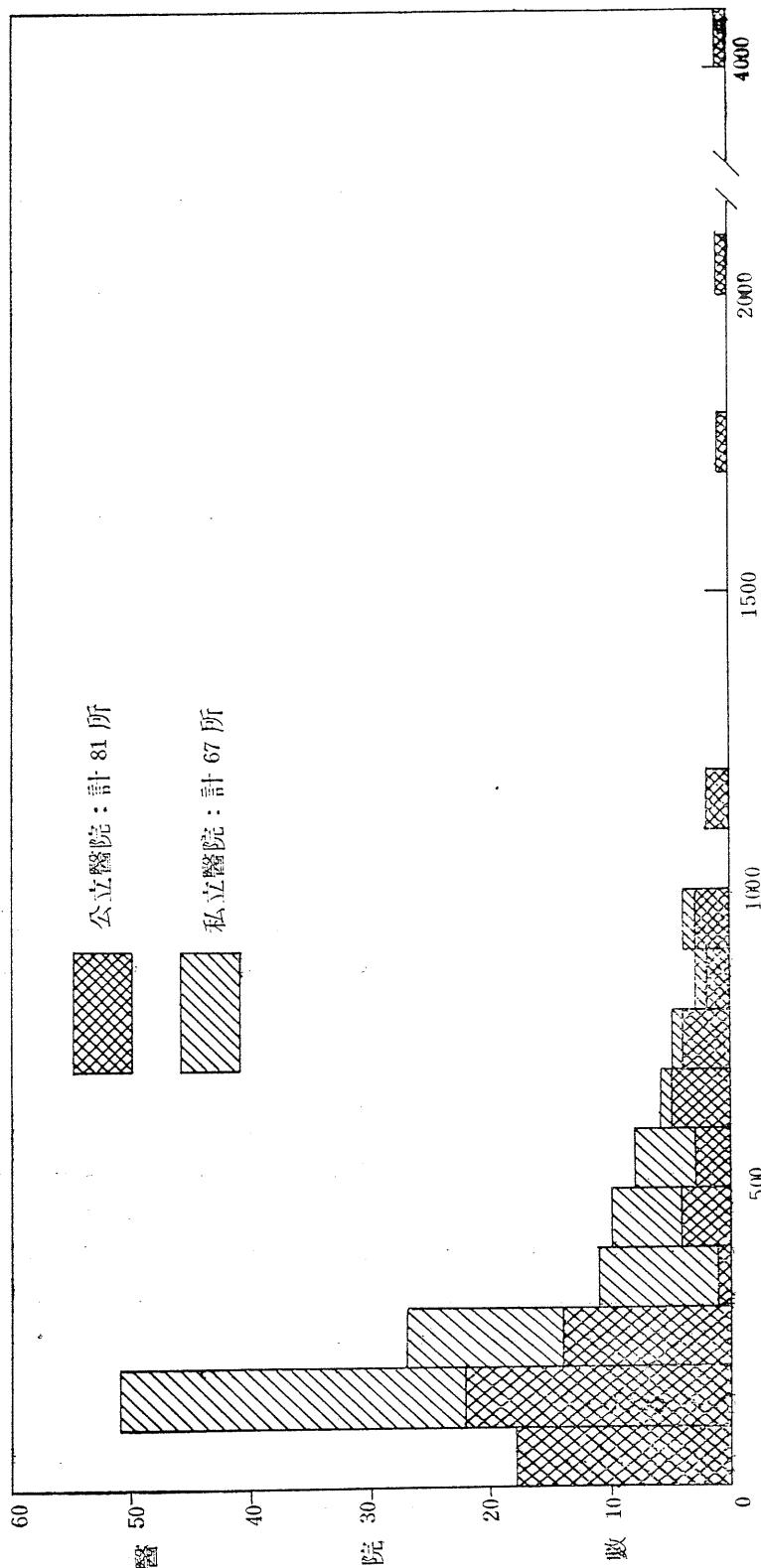


Table-1 Process Equipments

Hospital	Primary Secondary Ram Auto Ash Heat							
	chamber	chamber	feeder	removal	Recov.	Cyclone	Scrubber	
N-001	O	O	X	X	X	O	O	
N-002	O	O	X	X	X	O	X	
N-003	O	O	X	X	X	O	O	
N-004	O	O	X	X	X	O	X	
N-005	O	O	X	X	X	X	X	
M-001	O	O	X	X	X	O	O	
M-002	O	O	X	X	X	X	X	
M-003	O	O	X	X	X	O	X	
M-004	O	X	X	X	X	X	X	
M-005	O	X	X	X	X	O	X	
S-001	O	O	X	X	X	O	X	
S-002	O	O	O	X	O	O	O	
S-003	O	O	O	X	X	X	O	
S-004	O	X	X	X	X	X	X	

(Air Pollution Control Devices, APCDs)，這些焚化爐所產生的有害氣體總排放量可能遠大於集中式廢棄物焚化爐的排放量。研究報告及報章雜誌也曾報導過，一些未良好管制的感染性廢棄物焚化爐及一些操作狀況不良的焚化爐，可能對環境造成傷害。能礦所正計畫從工業廢棄物及醫院廢棄物焚化爐的排氣中直接取樣分析污染排放量，以進一步評估這些問題。

三、廢棄物焚化的污染排放

廢棄物焚化過程所可能產生的污染排放物包括：粒狀污染物、酸性氣體、微量的毒性有機化合物及重金屬等。在理想狀況下，燃燒過程所產生的廢氣成份應該只是二氧化碳及水蒸汽。但事實上，焚化程序雖然看似一簡單的反應過程，實際上卻是相當複雜的；它可能包含了數以萬計的物理及化學反應，反應動力學、催化反應，燃燒空氣動力學，質傳及熱傳等 [Oppelt, 1987]，這些反應加上廢棄物本身的複雜性及不安定性，使整個反應過程更加複雜，更難於掌握。主要的污染排放物，性質及污染控制技術討論如后：

3-1 粒狀污染物 (Particulates)

工業及醫院廢棄物焚化爐所產生的粒狀污染物，粒徑有可能從小於 1 Micron 到數百 Microns。粒狀污染物一般而言包括碳粒 (Carbon)、二氧化鋁 (Alumina)、矽土 (Silica) 及硫酸鹽 (Sulfate) 等，並可能與酸氣，微量毒性有機化合物、重金屬及其它有害物質結合。

合。

微細的粒狀污染物對人體有害，它會影響肺功能及呼吸系統。

控制廢棄物焚化爐的粒狀污染物排放量是相當重要的，一般採用旋風分離器 (Cyclone Seperator) 控制較大顆粒的粒狀物，而根據焚化爐規模的大小、粒狀物濃度、粒徑分佈情況及排氣溫度選用靜電集塵器 (ESP) 或濾袋室 (Bag house) 來控制較細的粒狀污染物。

3-2 酸性氣體排放物 (Acid gas)

酸性氣體的污染可能造成(一)區域性酸雨 (Acid Rain)，(二)局部的酸性氣體腐蝕及對健康造成的不良影響，(三)增加重金屬的毒性反應。酸性氣體主要是來自於廢棄物中的硫 (Sulfur) 及氯 (Chlorine)，廢棄物中的氯會變成鹽酸 (HCl)，而因燃燒產生的二氧化硫 (SO_2) 則會轉化為硫酸 (H_2SO_4)；除了 HCl 及 SO_2 外，焚化爐在燃燒過程中也會產生其它種類的酸性氣體，但所產生的量較少。

硫酸 (H_2SO_4) 及硝酸 (HNO_3) 的排放會造成酸雨的問題。但鹽酸 (HCl) 則無法像二氧化硫一樣在很大的排放量時，也可以順利的排放掉。HCl 是一種強酸，腐蝕性很強，它會造成局部性的腐蝕、刺激眼睛及呼吸系統。隨著醫院廢棄物中塑膠含量的增加，酸性氣體的排放量也會增加，以目前情況而言，每噸醫院廢棄物約會產生 4Kg 的 HCl，因此，為了減少 HCl 的產生量必需減少或管制醫院中 PVC 的使用量。

重金屬本身便具有毒性，由於重金屬在人體內可溶性更高，因此對人體的危害性相當大。至於酸性氣體和重金屬的結合會不會對人體的健康產生更大的影響，到目前為止，則尚不十分清楚。

一般較常用於處理酸性氣體的空氣污染防治設備，有文氏管洗滌器 (Venturi Scrubber)、濕式洗滌器 (Wet Scrubber)、乾式洗滌器 (Dry Scrubber)、半乾式洗滌器 (Semi-Dry Scrubber)、填充塔 (Packed Tower) 及板式洗滌塔 (Plate Tower)，而且大部分以鹼性水溶液為中和劑。

3-3 微量有機化合物 (Trace Organic Compound Emissions)

戴奧辛 (Dioxins) 及呋喃 (Furans) 被認為是最毒的人為物質，但很不幸的，廢棄物中若含有氯化物及芳香族化合物，則當燃燒狀況不良時，便有可能會產生這種物質。由於都市固體廢棄物及醫院廢棄物中普遍都含有氯酚 (Chlorophenols)、苯 (Benzene)、木質素 (Lignin) 及氯 (Chlorine)，因此焚化時都有可能會產生這類毒性物質。而醫院廢棄物中，由於塑膠類含量比都市固體廢棄物大約要多出 5 倍，所以有可能產生更多的戴奧辛及呋喃等污染物 [Doyle et al., 1985]。

關於戴奧辛及呋喃的組成及有效的燃燒是否可將這些高毒性物質少量化，有各種不同的說法。Doyle et al. [1985] 指出在焚化廢棄物時，若燃燒效率高則可能使戴奧辛及呋喃少量化；同時過量空氣燃燒會助長戴奧辛及呋喃的形成，在可能情況下，宜考慮採用控氣焚化方式。

廢棄物焚化時，所生成的廢氣中，氯較鹽酸更易於反應生成戴奧辛。而廢棄物中的硫會

取代氯促使鹽酸的形成，而氨 (Ammonia) 為鹵素 (Halogens) 的煉清劑；因此廢棄物中的硫及氮均可以抑制戴奧辛的形成。利用控氯熱解式焚化技術，由於可促使氯的形成，因此可有效地抑制戴奧辛的產生。

戴奧辛及呋喃和 PCB 類似，會在150°C 或更低的溫度下凝結在微細的粒狀物上，而這個溫度正好是濾袋系統的操作溫度，因此有效的除塵系統如乾式或濕式洗滌器的操作溫度均宜設定在90~150°C 之間，這個溫度範圍正好可提供各種廢棄物焚化爐有效的控制這些毒性污染物的排放。

四、設計及操作應注意事項

目前最方便也是最好的燃燒效率測試方法，就是測量燃燒爐排氣中的一氧化碳濃度。最近，大型的都市固體廢棄物焚化爐及有害事業廢棄物焚化爐也正逐漸採用這種方法進行測試 [Dellinger, et al., 1986]，但尚未應用在小型焚化爐的監測上。一般而言，較高的燃燒效率及較低的一氧化碳排放量，將可確保廢氣中含有較少的碳氫化合物及有毒物質。但以目前已知的資料來分析，這二者之間的關係仍未很明確，因為其中還有其它複雜的反應存在。但無論如何，可以確定的是焚化爐在高效率下操作 ($\text{CO} < 100 \text{ ppm}$) 時，確實可以減少戴奧辛及其它毒性有機化物的產生。

Dellinger et al., (1986) 指出只要廢棄物中有一部份燃燒狀況不良，就會影響到整個焚化爐的燃燒狀況及處理效果。例如燃氣混合不良，氣體流經後燃室時利用大量的空氣急冷或與冷爐壁接觸而降溫，即可能使整個設計的處理效果造成很大的偏差。實驗室的研究結果，小部份的處理不良可能會使整個焚化系統的效率從99.99% 降至90%，甚至更低。

造成工業廢棄物及醫院廢棄物焚化時不能完全被分解的相關因素包括：廢棄物的組成、廢棄物的進料速率、燃燒溫度、空氣及燃料的供應量、混合狀況及燃氣的流路等。

由於各種不同的廢棄物有不同的性質，因此廢棄物的組成必然會影響燃燒效率。在焚化技術中這是相當重要的考慮因素，不同的廢棄物需視其特性採用不同的燃燒技術；因此，在設計焚化爐時，必需要先考慮所要處理廢棄物的性質，因應考量，作適當的爐型、進料系統、爐床負荷率等選擇。除了廢棄物的組成外，進料速率也會影響焚化爐的性能。使用焚化爐時，若未依原設計要求使用，則過大的進料量除了會增加污染排放量外，同時也會降低後處理系統的效率。

燃燒溫度也是另一重要的因素，因為它會直接影響到廢棄物分解的效率。在設計時為最難處理的廢棄物設定的燃燒溫度，就是焚化爐的最低操作溫度。同時必須遵守一項操作原則：在將任何有害廢棄物送入焚化爐焚化前，爐內溫度必須要先達到這個設定溫度，以確保廢棄物能被徹底分解。

空氣及燃料的供應量，一般是根據試燒時來調節決定的。在實際操作上，空氣的供應量是不太需要作機動調整的；燃料的供應量則是根據廢棄物的種類及燃燒溫度來決定，必須隨時作機動調整。

設計一座小型工業或醫院用焚化爐時，有個觀念很重要，那就是要假設廢棄物中一定有

某一部份是屬於有害廢棄物，這些有害廢棄物若沒有完全被分解，可能會對人們的健康造成危害。同時在燃燒過程中，這些有害廢棄物可能會變成毒性污染物的產生源或會造成感染性廢棄物排放。因此，設計考慮必須遠較實際需要更為週詳。

要確保工業或醫院所產生的廢棄物能完全被分解，最好的方法就是使焚化爐具有高燃燒效率，足夠的燃燒溫度，混合均勻及足夠的滯留時間，以便將毒性有機物質充分破壞，使其濃度降至最低。控氣熱解式焚化也稱之為缺氧熱解焚化，在各種焚化技術中，是一種較先進、具代表性和發展快速又能夠適當地處理固體廢棄物的技術，最適合小型工業焚化爐或醫院焚化爐之採用。

多燃燒室控氣解熱式焚化爐，大部份的焚化或熱解反應是在第一燃燒室中進行，後燃燒室則用於確保含有毒性的有機化合物能夠完全被分解破壞。固體廢棄物在主燃室中熱解產生可燃性氣體，進入後燃室，加上足夠的輔助燃料加熱到 $1,000\sim1,200^{\circ}\text{C}$ ，以完全破壞有機物質。後燃室的體積要足夠讓燃氣滯留 2 秒以上。由於後燃室可做為主燃室無法精確控制燃燒速率的調節之用，因此，這種焚化系統的效率通常均較高。

作者根據這種設計觀念，設計了一座多燃燒室高燃燒效率控氣式焚化系統，除了爐體外，並具有急冷 (Quenching) 及洗滌 (Scrubbing) 設備，用以控制酸性氣體及有毒物質的排放。圖三即為此系統的流程圖，目前這套焚化系統正進行試車及測試工作。這個計畫完成後，將把技術轉移給國內工業界商業化生產，並提供事業單位實際使用。

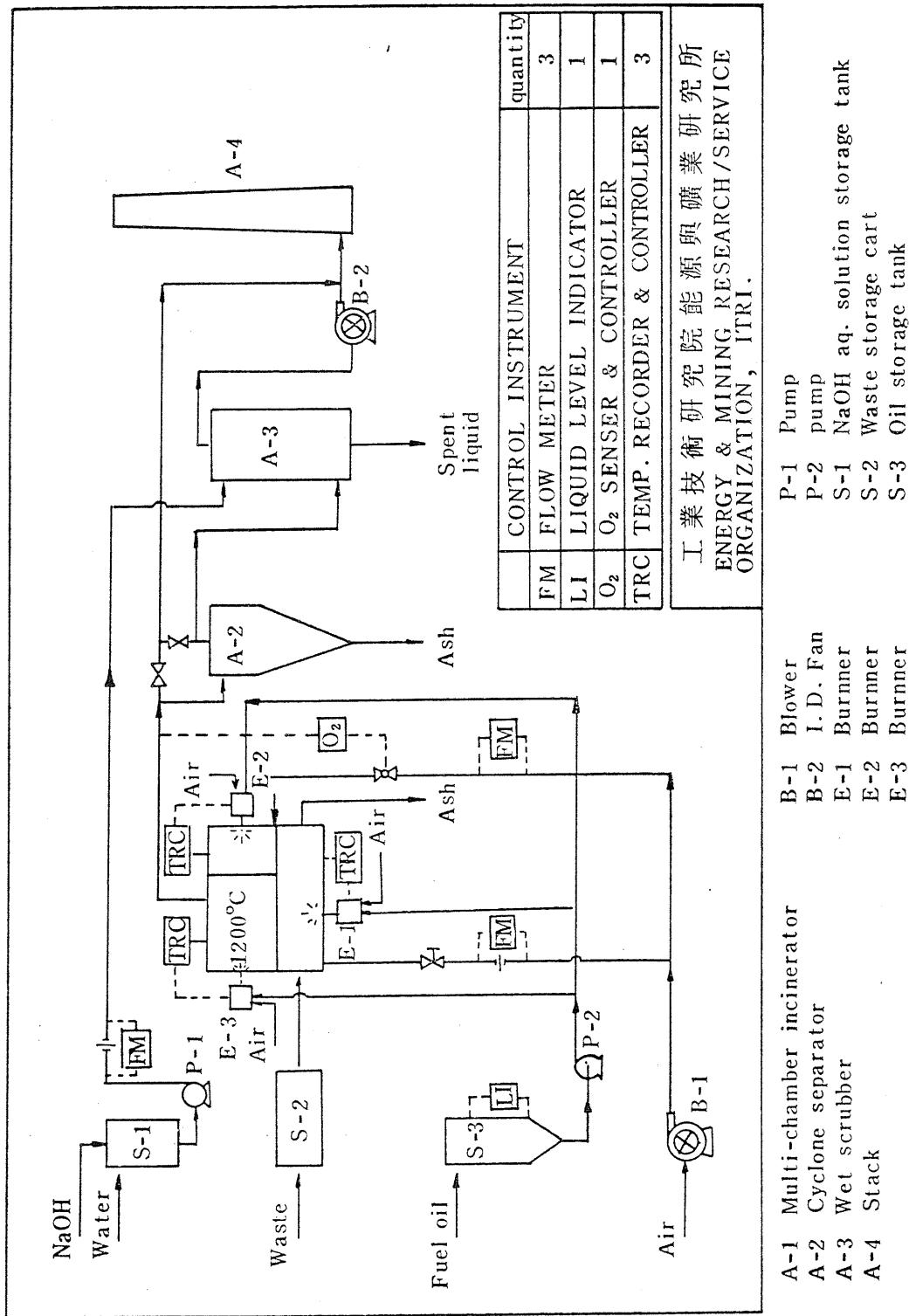
五、結論

環境保護是世界性的問題，當然也是臺灣未來最重要的課題之一。而臺灣目前最急需要面對的問題是如何妥善的處理各種產量日益增加的不同的廢棄物。

設計或操作不良的焚化爐，均可能會產生各種不同的污染排放物，而其中尤以醫院廢棄物焚化爐最為嚴重，最近的一些測試報告已證明醫院廢棄物焚化爐的排氣中含有毒性污染物。其主要原因是由於醫院廢棄物中含有大量的感染性廢棄物及塑膠類廢棄物，可能會產生較大量的酸性氣體及戴奧辛或呋喃等有害物質。

工研院能礦所發展的控氣熱解式焚化技術是一種先進又發展快速的方法，同時也是處理固體廢棄物最具代表性的方法。在控氣熱解式焚化系統中，廢棄物在主燃室熱解，產生的可燃性氣體，進入後燃室與輔助燃料充分混合後加熱到 $1,000\sim1,200^{\circ}\text{C}$ ，並滯留 2 秒以上，以確保有毒物質能完全被分解。後燃室尚有調節主燃燒室無法精確控制燃燒速率的優點。

能礦所在燃燒技術上有多年的經驗，同時在 1986 年完成了廢五金焚化爐的改善案，目前設計的多燃燒室高燃燒效率控氣式焚化爐正進行試車及測試工作中，計畫完成後，技術將轉移給國內工業界商業化生產，為環境保護工作貢獻一份心力。



圖三 工研院能礦所示範性控氣熱解式焚化系統流程圖

References:

- Allen, R. J., Brenniman, G. R., and Darling, C., (1986), "Air Pollution Emissions from the Incineration of Hospital Waste," JAPCA, 36 (7), pp. 829-381, July.
- Brunner, C. R., (1984), "Incineration System-Selection and Design," Van Nostrand Reinhold Co.
- Chang, R. H., and Tseng, K. T., (1987) "A Survey on the Performance of Infectious Waste Incinerators in Taiwan," Proc. Symp Management and Treatment Infectious Wastes, pp. 87-102, Taipei, Dec. 10-11.
- Dellinger, B., Rubey, W., Hall, D. L., and Graham, J. L., (1986) "Incinerability of Hazardous Wastes," Hazardous Waste and Hazardous Materials, Vol. 3, No. 2.
- Doyle, B. W., Drum, D. A., and Lauber, J. D., (1985) "The Smoldering Question of Hospital Wastes," Pollution Engineering, 16 (35), pp. 21-24.
- Lo, K. M., et al., (1987), "Production Rate and Characteristic Analysis of Hazardous Wastes in Taiwan," Proc. 2nd Conf. on Solid Waste Management Technology in Republic of China, pp. 97-111, July.
- Oppelt, E. T., (1987), "Incineration of Hazardous Waste-A Critical Review," JAPCA, 37 (5), pp. 558-586.
- Powell, F. C., (1987), "Air Pollutant Emissions from the Incineration of Hospital Wastes-The Alberta Experience," JAPCA, 37 (7), pp. 836-839, July.

4