

## 環境中化學物質之存在濃度與風險問題

簡慧貞\* 阮國棟\*\*

### 摘要

整個地球環境中，充斥著許多化學物質，不但造成人體健康的威脅，也開始影響生態平衡。到底各種環境領域內，現存的化學物質濃度如何？在此濃度下對健康及生態的風險又是如何？本文經過大規模文獻資料之查詢整理，分別就下列三種不同環境領域問題，進行歸納：

- (1) 環境背景中化學物質的濃度及風險。
- (2) 特定污染源周圍化學物質的濃度及風險。
- (3) 特定族群暴露於化學物質的濃度及風險。

針對現存濃度與潛在風險的了解，如何有效降低環境中化學物質造成的健康及環境的衝擊，就是當今環境保護首要的課題，本文亦提出看法及建議。

### 一、前言

探討環境與人類健康二者互動關係，學者區分四種型態的環境力，足以影響人類健康<sup>1</sup>：

1. 地球尺度環境的改變力：包括人口成長、全球糧食供應、能源資源利用、大地氣候變遷等。
2. 區域或社區尺度環境的改變力：包括生態系統的劣化，都會區或工業區的成長等。
3. 涉及環境健康風險的暴露型態的改變：例如從農業暴露移到工業暴露，從大氣空氣移到室內污染，從急性傳染移到慢性累積等。
4. 涉及環境健康風險的行為型態的改變：例如吸菸、日光浴，使用含毒性物質之消費產品等。

---

\*行政院環境保護署環境衛生及毒物管理處技正

\*\*行政院環境保護署環境衛生及毒物管理處處長

因此，我們必須面對的許多重要問題，某些是個人的選擇（行為或習慣的改變），某些則是特定區域人類生活的改變。但是，更多更基本的問題，則涉及國家或大地的改變力，必須藉助於國防、貿易及財政的力量，達成全球化學物質（例如CFCs）的管制，以解決某一特定之環境問題。

過去幾十年中，控制污染源的立法管制不斷增加，固然使得河川污染及靠近工廠的空氣污染得以大幅改善，但是卻忽略了工業活動生產或副產所製造出來大量的合成化學物質，這些物質經過使用，只要沒被摧毀，最終還是回到環境（存在各種環境介質中）。高煙囪過去曾是解決區域性火力電廠排放硫化物的方法，現在已經面臨酸雨的大問題。汞在遙遠湖泊的魚肉中發現，鉛在大草原的雪中發現，多氯聯苯、戴奧辛、農藥也在北極發現，化學物質一旦被釋放出來，則透過不同環境媒介，可以無遠弗屆。三氯乙烯（TCE）及苯較易揮發於空氣中，人類暴露途徑主要由呼吸吸入。滴滴涕（DDT）及多氯聯苯（PCBs）則溶於有機物，傾向於生物濃縮，由食物鏈進入人體。探討環境中排放源釋放化學物質，經由大氣及媒介傳送，最後進入人體的器官產生危害，其中經過許多複雜的機轉，目前尚有許多不確定性，科學的數據也不夠充分。因此，暴露濃度與健康風險之間的關係如何，必須經由嚴謹的風險評估程序才能確定，本文不做此方面之評介，只引錄文獻報告中已有的濃度測定範圍及風險推估數據，藉供比對參考。

## 二、環境背景中化學物質的濃度及風險

大氣污染物引起溫室效應、臭氧層破洞等已受到廣泛注意，但對健康的風險則反少引人注意。其實，以大地環境背景中存在的許多致癌物質中，人類致癌風險仍然相當值得關心，表1所列為11種大地污染物之背景致癌風險<sup>18</sup>，高達 $1.4 \times 10^{-3}$ ，以下分別就其中各種物質略作說明。

多氯聯苯為親脂性，估計99%存在土壤中，但每天通過美國本土上空的多氯聯苯即有900噸；此一數值僅為環境中總量的1%弱，背景攝取量為 $1.4 \times 10^{-5} \text{ mg/kg/day}$ ，而多氯聯苯之致癌潛能（Cancer potency）估計為 $7.7(\text{mg/kg/day})^{-1}$ ，因此致癌風險為 $1.1 \times 10^{-4}$ 。

2,3,7,8四氯戴奧辛（TCDD）是最強化學致癌物之一，各種不同形式的PCDDs及PCDFs可以TCDD為代表。因為戴奧辛是高度脂溶性，主要存在於土壤中，小部分經由揮發藉大氣傳送。食物鏈（肉及乳類）大約導致人體暴露於TCDD的99%以上的量。在工業化國家的每人每天攝取量約為93pg( $1\text{pg} = 10^{-12}\text{g}$ )毒性當量，致癌潛能約為 $1.56 \times 10^{-5} (\text{mg/kg/day})^{-1}$ ，從食物攝入之終生致癌風險為 $2.1 \times 10^{-4}$ 。

苯的暴露，除了各種工商業活動外，也是各種燃燒過程的副產物，例如森林火災、垃圾焚化、菸葉燃燒等。遠離工業污染源之鄉村地區的空氣濃度約為 $13.7 \mu\text{g/m}^3$ ，以每人每天呼吸 $20\text{m}^3$ 空氣及苯的致癌潛能 $2.6 \times 10^{-2} (\text{mg/kg/day})^{-1}$ 估計，背景濃度暴露下的致癌風險為 $1 \times 10^{-4}$ 。

表 1 11種大地污染物環境背景濃度之致癌風險<sup>18</sup>

化 學 物 質	曝 露 介 質	致 癌 風 險 ( $\times 10^{-4}$ )
苯	室內空氣	1.0
三氯乙烯	室內空氣	0.15
四氯乙烯	室內空氣	0.12
四氯化碳	室內空氣	1.2
甲醛	室內空氣	0.65
二甲苯	室內空氣	0.11
氯仿	水	3.0
戴奧辛及呋喃	食物鏈	2.1
地特靈(Dieldrin) (EBDCs)	食物鏈	0.78 3.4
多氯聯苯(PCBS)	食物鏈	1.1
總一生致癌風險		14.0

汞由於高度揮發性、在大氣中將近一年的滯留時間及生物濃縮現象的本質，已成為全球性而非地域性的污染問題，許多地區的魚，體內汞含量已超過0.5ppm的健康標準值。每年進入大氣的汞的排放量約3,500公噸。

鉛由於使用於顏料、汽油及消費產品而流布於全球。以美國為例，每年約排放39,000公噸的鉛到大氣中，其中90%以上（約35,000噸）係汽油燃燒後排出。1個2歲小孩的背景鉛暴露量為 $46.6 \mu\text{g/day}$ （其中 $0.05 \mu\text{g}$ 來自吸入的空氣， $25.1$ 來自食物及飲料， $21.0$ 來自塵土經手嘴攝入）<sup>20</sup>。為保護99.5%暴露於鉛環境之孩童的血中鉛濃度能不超過 $30 \mu\text{g/dl}$ ，環境中的鉛濃度須訂定在 $1.5 \mu\text{g/m}^3$ 。

多環芳香碳氫化合物(PAHs)，普遍存在於環境中。其中八種PAHs為可能之致癌物，它們是：

- BaA : benzo(a) anthracone, 苯蒽
- CHRY : Chrysene, 蘆
- BbF : benzo(b) fluoranthene, 苯荧(b)
- BkF : benzo(k) fluoranthene, 苯荧(b)
- BaP : benzo(a) pyrene, 苯并芘(a)
- I123P : indeno[1,2,3-c-d] pyrene
- DahA : dibenzo[a, h] anthracene, 雙苯蒽

BghiP : benzo[g, h, i] pyrene, 萍并菲(g,h,i)

表 2 為 1970 年代的數據<sup>10</sup>，食物中 PAHs 的濃度含量約在十數至數十 ppb 的範圍，如表中所列碳烤牛肉 (26~35)，煙燻魚貝 (9~36)，綠葉蔬菜 (一般認為大氣沉降造成，19~46)，以及脂肪油脂類 (3.4~66) 等濃度較高。

表 2 食物中的致癌物 PAHs 濃度<sup>10</sup>

食 物	平均最低值 ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	平均最高值 ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
非碳烤	0.11	0.69
碳烤或煙燻		
• 牛肉	26	35
• 豬肉	12	26
• 雞肉	12	12
魚		
• 魚貝類	0.10	0.10
• 煙燻魚貝	9	36
蔬菜		
• 番茄	1.06	1.06
• 綠葉蔬菜	19	46
• 馬鈴薯	11	21
穀類	0.60	9
水果	0.50	2.40
飲料		
• 非酒精類	2	27
• 酒 類	0.04	0.08
• 乳 類	0.01	0.09
其他		
• 脂類油類	3.40	66
• 乳酪類	1.70	1.70

表 3 為各種環境介質中致癌物 PAHs 的濃度範圍，表面水比地下水、飲用水濃度高的原因為水中懸浮微粒吸附 PAHs 所致。五大湖區空氣中 PAHs 為  $0.2 \sim 3.0 \text{ ng}/\text{m}^3$ ，賭城拉斯維加斯郊區空氣 PAHs 濃度亦在  $3.5 \text{ ng}/\text{m}^3$  左右。一支無濾嘴之香煙燃燒可以排放  $0.1 \sim 0.25 \mu\text{g}$  的 PAHs。森林表土的背景濃度約為  $5 \sim 100 \mu\text{g}/\text{kg}$ ，都市交通及工業地區表土濃

度則為 $1,000\sim3,000 \mu\text{g/kg}$ ( $1\sim3\text{ppm}$ )，而都市道路邊之灰塵則含 $8\sim33.6\text{ppm}$ (約 $200\text{ppm}$ )，此一數值亦更顯示柴油車、汽機車排出粒狀物對健康影響之重要性了。

表 3 環境介質中致癌物PAHs之濃度<sup>10</sup>

介 質	研究取樣數	濃 度 範 圍	中 數 濃 度
表面水	25	$0.1\sim830 (\text{ng/L})$	$8.0 (\text{ng/L})$
地下水	10	$0.2\sim6.9 (\text{ng/L})$	$1.2 (\text{ng/L})$
飲用水	10	$0.1\sim62 (\text{ng/L})$	$2.8 (\text{ng/L})$
室外空氣	28	$0.2\sim65 (\text{ng/m}^3)$	$5.7 (\text{ng/m}^3)$
	85	$1.0\sim148 (\text{ng/m}^3)$	$2.6 (\text{ng/m}^3)$
	27	$2\sim9 (\text{ng/m}^3)$	$4.4 (\text{ng/m}^3)$
	12	$2\sim75 (\text{ng/m}^3)$	$13.0 (\text{ng/m}^3)$
室內空氣			
• 乾淨辦公室	1	$0.6\sim29 (\text{ng/m}^3)$	$1.5 (\text{ng/m}^3)$
• 家庭	9	$7\sim29 (\text{ng/m}^3)$	$8 (\text{ng/m}^3)$
• 抽煙室	4	$2\sim13 (\text{ng/m}^3)$	$13 (\text{ng/m}^3)$
• 木炭火爐房	7		$3.8 (\text{ng/m}^3)$
• 煤油加熱房	1		$15.0 (\text{ng/m}^3)$
• 沒有煤油加熱房	1		$1.6 (\text{ng/m}^3)$
土壤			
• 森林	16	$0.01\sim1.3 (\text{mg/kg})$	$0.05 (\text{mg/kg})$
• 鄉村	8	$0.01\sim1.01 (\text{mg/kg})$	$0.07 (\text{mg/kg})$
• 都市	15	$0.06\sim5.8 (\text{mg/kg})$	$1.10 (\text{mg/kg})$
• 路邊塵埃	7	$8\sim336 (\text{mg/kg})$	$137.0 (\text{mg/kg})$
底泥	65	$0.003\sim232 (\text{mg/kg})$	$1.4 (\text{mg/kg})$

表 4 為潛在劑量的比較，很清楚看出抽煙的劑量可能超過食物，佔重要比例，水及土壤等背景濃度引起潛在攝取劑量並不高，故個人習慣或行為的改變（不抽煙），將大幅度降低PAHs的危害。據估計，每年排入大氣的PAHs在美國約 $10,000\text{噸}$ ，瑞典約 $500\text{噸}$ ，挪威約 $300\text{噸}$ <sup>3</sup>。表 5 為美國城市、交通、冬夏季不同的大氣中PAHs的濃度值。顯示冬季濃度一般均比夏季為高。表 6 為德國之數據，顯示不同地點（交通隧道、工業區、鄉村及都市）大氣中PAHs的濃度範圍。

表 4 致癌物PAHs潛在劑量的比較<sup>10</sup>

來 源	中 數 值		最 大 值	
	攝取量(mg/day)	百分比(%)	攝取量(mg/day)	百分比(%)
非吸煙者				
食物	3	96.2	12	79
空氣	0.05	1.6	2.70	18
水	0.006	0.2	0.124	1
土壤	0.06	1.9	0.4	2
總計	3.12	100.0	15.22	100
吸煙者(無濾嘴)				
主流煙	2~5*		6~15**	
所有其他來源	3		15	
總計	5~8		21~30	

[註] \* : 以每天抽一包計

\*\* : 以每天抽三包計

表 5 美國大氣中PAHs濃度值<sup>3</sup>單位: ng/m<sup>3</sup>

都 市	洛 杉 磯				紐 澤 西			
地 區	城 市		城 市		城 市		鄉 村	
來 源	交 通		交 通		交 通		加 热	
時 間	1974. 5		1981. 2		1982. 3		1982. 3	
季 節	夏	冬	夏	冬	夏	冬	夏	冬
BaA, 苯蒽	0.1	0.6	0.2	0.6	0.1~0.2	0.6~0.9	0.0	0.1
CHRY, 茄	0.4	1.6	0.6	1.2	0.2~0.5	0.6~2.4	0.1	0.3
BbF, 苯荧(b)	0.3	1.3	0.4	1.2	0.2~0.3	0.8~1.1	0.1	0.3
BkF, 苯荧(k)	0.2	0.5	0.2	0.4	0.1~0.2	0.4~0.6	0.0	0.1
BaP, 苯并芘(a)	0.3	1.3	0.2	0.6	0.1~0.2	0.7~1.1	0.0	0.2
Bghip, 苯并芘(g,h,i)	93.7	10.9	0.3	4.5	0.2~0.6	1.1~1.4	0.0	0.3
I123P	1.0	2.6	-	-	0.2~0.4	0.9~1.0	0.1	0.2

表 6 德國大氣中PAHs濃度值<sup>3</sup>單位 : ng/m<sup>3</sup>

都 市	愛森 (Essen)								慕尼黑(Munich)
	地 區	隧 道	住 宅			工 業 區	都 市		
來 源	交 通	煤 使 用	油 使 用	煉 焦 炭	交 通				
時 間	1978.9		1978.9		1978.9		1978.9		1978.9
季 節	夏	冬	夏	冬	夏	冬	夏	冬	全 年
BaA, 莨蒽	31.6	48.6	15.5	31.2	3.3	9.6	39.1	76.2	1.5~1.8
CHRY, 蘆	44.7	66.6	29.9	56.1	9.9	22.2	53.6	102.9	4.3~5.0
BbF, 莐英(b)	19.9	41.6	18.1	33.6	7.6	15.6	33.6	64.2	-
BkF, 莐英(k)	19.2	35.5	14.7	26.5	6.0	12.6	31.5	58.2	5.8~7.0
BaP, 莐并茈(a)	20.0	38.9	8.7	20.2	3.6	7.6	26.7	50.1	2.0~2.2
Bghep, 莐并茈(g,h,i)	12.8	20.5	7.3	15.7	5.2	10.5	24.3	29.7	1.6~2.0
I123P	12.7	27.1	6.8	14.8	3.6	7.4	17.3	30.1	3.0~3.5

表 7 為日本環境廳於 1989 年對水系（水質、底泥質及魚體）所做 PAHs 檢測一覽表。表 8 為同年所測空氣中 PAHs 的檢測值，表 9、表 10 均為日本環境廳於 1989 年所做調查之數據值。

美國環保署第五區分署曾經在芝加哥東南區進行一項完整的研究，藉以了解都會區空氣污染物暴露之下的致癌風險。研究評估了 30 種空氣致癌物，根據擴散模式、單位風險係數、人口資料等推算每一受體風險及該區域之超常致癌人口。結果顯示：以目前濃度推估，在未來 70 年中，會增加 77 個癌症病例，平均風險為  $2.0 \times 10^{-4}$ ，大部份（超過 99%）的風險均來自傳統的污染源，研究中利用模式推算之濃度與實例之濃度還是有相當大的差異，經實測的濃度值分別為<sup>16</sup>：苯  $4.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，鎬  $3.0 \text{ng}/\text{m}^3$ ，多氯聯苯  $0.8 \text{ng}/\text{m}^3$ 。表 11 為風險度推估 77 個超常致癌病例導因於那些工業或污染源所造成的，由表中顯示主要的影響，來自煉焦業（24.2 病例）、鉻電鍍（13 病例）、甲醛（11.4 病例）、四氯化碳（4.5 病例）。此一研究除了評估總致癌數以外，尚且評估以街道區隔之個別小區域的致癌風險，在芝加哥東南區，除了特別高的  $4.7 \times 10^{-3}$  外，大部分致癌風險均在  $4 \times 10^{-5}$ 。

表7 環境調查（水系）結果檢出狀況一覽表<sup>22</sup>

物 質	名 稱	水質 ( $\mu\text{g}/\text{ml}$ )			底質 ( $\mu\text{g}/\text{g dry}$ )			魚質 ( $\text{ng}/\text{g wet}$ )		
		A/B	C/D	檢出範圍	A/B	C/D	檢出範圍	A/B	C/D	檢出範圍
<b>pyrene, 芬類</b>										
pyrene, 芬	8/6 9	3/23	0.00001~0.000065	0.000009	68/71	23/24	0.02~3.90	0.006	10/63	6/21 0.0013~0.0096
benzo [a] anthracene, 芬類	0/159	0/53		0.0001	112/145	41/51	0.0032~2.1	0.003	1/111	1/37 0.0012
benzo [a] pyrene, 芬類(a)	0/138	0/46		0.0001	22/134	41/45	0.005~3.7	0.005	1/123	1/41 0.008
benzo (e) pyrene, 芬類(e)	0/75	0/25		0.0001	72/74	25/25	0.0009~1.8	0.008	0/66	0/22
benzo [b] fluoranthene- 芬類(b)	0/159	0/53		0.0001	118/159	42/53	0.01~5.5	0.01	1/120	1/40 0.004
benzo [j] fluoranthene- 芬類(j)										
benzo [k] fluoranthene- 芬類(k)										
benzo [g,h,i] perylene, 芬類(g,h,i)	1/72	1/24	0.00005	0.00005	72/72	25/25	0.003~1.31	0.003	1/66	1/22 0.016
di benzo [a,h] anthracene, 雙芬類	1/73	1/25	0.0001	0.0001	55/60	19/20	0.0081~0.34	0.006	1/63	1/21 0.003
phenyl 錫化合物, 芳基錫化合物	14/67	9/23	0.00033~0.0473	0.00003	28/55	11/19	0.019~1.1	0.015	28/54	11/18 0.015~1.1
diphenyl 錫化合物, 雙芳基錫化合物	5/72	4/24	0.00038~0.027	0.00006	31/53	13/19	0.007~0.5	0.005	8/59	17/20 0.005~0.99
anthraquinone, 蔥甙	0/66	0/22		0.00018	20/67	11/23	0.015~0.16	0.015	...	...

[註] 1. (A/B: 檢出數 / 檢體數 ; C/D: 檢出地點 / 調查地區)

2. 檢出物質 : tetrabromobiphenyl、hexabromobiphenyl、decabromobiphenyl、1,1-bis(t-peroxybutyl)-3,3,5-trimethylcyclohexane (水質、底質、魚類) ; dicyclo pentadiene(DCPD)、3-chloro-1,2-dibromopropane(DBCP)、0-chlorotoluene、P-chlorotoluene、benzoyl chlorid (水質、底質)

表 8 空氣中環境調查結果<sup>22</sup>單位 : ng/m<sup>3</sup> (20°C, 1atm換算)

物質名稱	檢出數／檢體數	檢出範圍	檢出限界
pyrene, 蒽	39/39	0.26～9.07	0.2
benzo [a] anthracene, 萍蒽	39/39	0.16～11.0	0.1
benzo [a] pyrene, 萍并茈(a)	31/39	0.31～6.37	0.3
benzo [e] pyrene, 萍并茈(e)	29/39	0.30～5.43	0.3
benzo [b] fluoranthene, 萍英(b) 和 benzo [i] fluoranthene, 萍英(i) benzo [k] fluoranthene, 萍英(k)	36/39	0.24～16.83	0.2
benzo [g,h,i] perylene, 萍并茈(g,h,i)	32/39	0.41～7.0	0.4
dibenko [a,h] anthracene, 雙萍蒽(a,h)	7/39	0.89～4.6	0.6
3-chloro-1,2-dibromo	0/36		20
propane(DBCP), 3-氯-1,2-溴丙烷			
O-chlorotoluene, 鄰一氯甲苯	2/21	13.4～15	10
P-chlorotoluene, 對一氯甲苯	0/24		30
benzoyl chloride, 萍甲醯氯	5/21	6.4～8.3	5
tetrabromobiphenyl, 四溴聯苯	0/38		1.0
hexabromobiphenyl, 六溴聯苯	0/38		4
decabromobiphenyl, 十溴聯苯	0/38		20

針對伊利諾州二個地區：芝加哥東南區及聖路易東區進行13種揮發性有機物(VOCs)的空氣濃度及氣象條件監測，工作自1986年5月至1990年4月。結果顯示極大多數的毒性揮發性有機物來自都會區的污染源，例如機動車輛排氣、石化產品的蒸發及工商業使用溶劑的排放。自工業污染源排放大量污染物約在1公里以內使空氣中的揮發性物質濃度增加，但對大區域的空氣品質影響不大<sup>10</sup>。表12為測試樣品數超過200個的數據，歷時約5年，數據顯示都會區的濃度平均比鄉村高出2～10倍，其中四氯化碳二者差異很小，是因為商業上已經很久不用該一溶劑了。

表9 水質、底質之檢測調查結果<sup>22</sup>

物 質 名	水 質 ( $\mu\text{g}/\text{h}$ )		底 質 (ng/g dry)	
	檢 出 數	最高濃度	檢 出 數	最高濃度
HCB,六氯聯苯	1	0.0005	5	9.2
Dieldrin,地特靈	1	0.011	1	1.9
P'P'-DDE } P'P'-DDD } DDT衍生物	0 0	— —	10 4	37 40
P'P'-DDT,滴滴涕	0	—	3	11
trans-chlordane,反一氯丹	0	—	5	17
Cis-chlordane,順一氯丹	0	—	6	20
trans-nonchloro	1	0.005	4	13
Cis-nonchloro	1	0.004	4	4.9
oxychlordane				
$\alpha$ -HCH, $\alpha$ -六氯環己烷(蟲必死)	0	—	0	—
$\beta$ -HCH, $\beta$ -六氯環己烷(蟲必死)	2	0.010	2	15
O-dichlorobenzene,鄰一二氯苯	6	0.16	12	20
M-dichlorobenzene,間一二氯苯	3	0.019	4	14
P-dichlorobenzene,對一二氯苯	6	2.5	13	88
BHT	2	0.061	5	75
O-t-phenyl,O-t苯基	0	—	4	15
M-t-phenyl,M-t苯基	0	—	10	100
P-t-phenyl,P-t苯基	0	—	9	59
tributyl phosphate,磷酸三丁酯	2	0.18	6	8.3
總 檢 體 數	17*		17*	

[註] \* : 平成元年度P-dichlorobenzene、BHT的總檢體數是16、tributyl phosphate

的總檢體數共有15

南加州空氣中背景濃度的定量測定計畫，自1987年12月至1989年3月，是第一個有系統評估大氣中PCDDs/PCDFs濃度的計畫。15種戴奧辛及呋喃同類物質分別予以鑑定，並用毒性當量(toxic equivalents)表示。結果強烈顯示PCDDs/PCDFs的濃度受燃燒源的影響最大，典型的燃燒源附近，以1,2,3,4,6,7,8-HxCDD佔最大濃度，而2,3,7,8-TCDD則未超出偵測極限值 $10 \sim 20 \text{ fg}/\text{m}^3$ 以上<sup>5</sup>( $\text{fg} = 10^{-15}\text{ g}$ )。

表10 指定化學物質等環境殘留性檢討調查結果

(平成元年度)

物 質	水 質 (,,g/L)				底 質 (ng/g dry)				空 氣 中 (ug/m <sup>3</sup> )		
	檢出地區數	檢出頻度	檢出範圍	檢出地區數	檢出頻度	檢出範圍	地區數	檢出頻度	檢出範圍	檢出頻度	檢出範圍
trichloroethylene,三氯乙烯											
tetrachloroethylene,四氯乙烯											
chloroform,氯仿											
四氯化碳											
1,2-dichloro-ethane,1,2-二氯乙烷	17/26	50/78	0.002~0.87	15/26	38/78	0.03~2.9	9/13	24/38	0.027~6.9	11/12	31/35
1,2-dichloro-propane,1,2-二氯丙烷	8/26	20/78	0.0001~0.14	3/26	9/78	0.16~10	4/13	24/38	0.037~6.9	12/12	33/35
1,4-dioxane,1,4-環氧己烷	15/26	43/78	0.12~15	9/26	27/78	0.4~34					
4,4'-diamino-3,3'-dichlorodiphenylmethane	0/26	0/78	-	0/26	0/78	-					
4,4-二胺基,3,3二氯二苯甲烷											
3,3'-dichloro-benzidine,3,3-二氯聯苯胺	1/26	2/78	0.000004~0.00018	2/26	2/78	3~14					
4,4'-diamino-diphenylmethane	1/24	2/75	0.00001~0.00012	1/23	1/75	0.2					
4,4-二胺基,二苯甲烷											
tributyltin化合物,三丁基錫化合物	17/26	48/78	0.005~0.45	22/26	65/78	0.3~440					
triphenyltin化合物	14/26	39/78	0.005~0.090	18/26	50/78	0.6~170					

[註] 1. tributyltin compound的測定值=TBT0換算

2. tributyltin compound的測定值是由triphenyltinchloride換算而來的

表11 芝加哥東南區超常致癌風險的污染源影響程度<sup>16</sup>  
(未來70年超常致癌數77人之分佈)

化 合 物	排放量(mg/yr)	煉鋼廠	其他工業	消費者	機動車輛	廢物處理	總 計
苯	3962	2.2	0.06	0.1	1.9		4
丁二烯	81.8		0.02		2.2	0.01	2
鎘	4.6	0.8	0.01		0.1		0.8
四氯化碳 (含背景影響)	2.7					0.01	5
鉻	3.2	0.6	13.0	1.7			14
煉焦廠	388	24.2					24
戴奧辛	0.0002		0.2				0.2
甲醛 (含背景影響)	492			0.4	1.3		13
汽油蒸汽	19329			0.9	2.6		3
POM	14.6			2.2	4.3		6
三氯乙烯	404		0.2			0.01	0.2
氯乙稀單體等30種	6.3					0.01	0.01
總計		29	14	6	12	0.2	77

德州及墨西哥邊界工業發展很快，沿著邊界大氣中砷濃度經常年追蹤監測，顯示砷的濃度約在0.01~0.02 μ g/m<sup>3</sup>左右，最大值則在0.2~0.9 μ g/m<sup>3</sup>之間。只有某些特殊城鎮，例如Texas city及El Paso City平均值及最大值均超出其他城鎮的10倍<sup>15</sup>，El Paso City平均值達0.14 μ /m<sup>3</sup>，最高值達9.34 μ g/m<sup>3</sup>。

飲用水中成分濃度也可視為人體暴露的環境背景濃度。若以美國飲水水質標準實施值(Maximum Contaminant Level, MCL)為背景濃度，而以目標值(MCLG)為理想狀況做比較，根據推估，在大高雄地區 250萬人口中，將飲用水中苯的濃度由0.005mg/L降為0，長期效應可減少12位致癌人口，將四氯化碳由0.005mg/L降為0，長期效應可減少35位致癌人口，將1,2-二氯乙烷由0.005mg/L降為0，長期效應可減少38位致癌人口<sup>21</sup>，表13為以MCL及MCLG為水質現況下之致癌風險的比較。

表12 伊利諾州歷時 5年，採樣200個以上的空氣中揮發性有機物(VOCs)的平均濃度<sup>17</sup>

單位 : ng/L

化 合 物	芝加哥東南區 (n=103)	聖路易東區 (n=83)	鄉村地區 (n=23)
苯	4.6±6.6 (54)	10.6±17.2 (102)	1.3±0.5 (2.4)
甲苯	8.9±8.9 (56)	8.5±9.3 (45)	3.0±2.3 (9.5)
m,p-二甲苯	3.9±8.3 (22)	16±42 (312)	1.2±0.8 (3.9)
乙基苯	1.4±1.2 (7.6)	6.9±17 (110)	0.4±0.3 (1.6)
0-二甲苯／苯乙烯	2.9±5.5 (44)	3.3±8.6 (55)	1.1±0.9 (4.3)
氯仿	0.3±0.2 (1.6)	0.5±0.9 (6.6)	0.3±0.1 (0.4)
1,1,1三氯乙烷	3.3±3.5 (25)	3.9±6.1 (31)	1.1±0.6 (1.9)
四氯化碳	0.7±0.2 (1.7)	0.9±0.3 (1.7)	0.8±0.2 (1.2)
三氯乙烯	1.0±1.0 (5.9)	2.1±5.8 (43)	0.6±0.5 (1.5)
四氯乙烯	1.8±1.6 (9.1)	1.4±1.3 (6.1)	0.4±0.3 (1.2)
氯苯	0.3±0.2 (1.6)	3.0±6.3 (36)	0.2±0.1 (0.5)

[註] n: 樣品數，( )：最大值

許多微量氣體在地球大氣中逐漸增多，有可能在未來影響到地球環境生態。例如CH<sub>4</sub>，N<sub>2</sub>O，CCl<sub>3</sub>F(F-11)，CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub>(F-12)等。甲烷主要來自稻田、泥沼，氧化亞氮及氟氯碳化合物則來自都會區，氯化甲烷(CH<sub>3</sub>Cl)則來自生質燃燒。一個研究報告自1985年至1988年收集各種污染源附近空氣樣品分析上述微量氣體，其濃度範圍約為<sup>6</sup>：

CH <sub>4</sub>	: 1593~2725(ppbv)
N <sub>2</sub> O	: 307~318(ppbv)
F-11	: 211~366(ppTv)
F-12	: 358~595(ppTv)
CH <sub>3</sub> Cl	: 587~1151(ppTv)

表13 以最高濃度容許值(MCL)及最大濃度目標值(MCLG)為水質現況之致癌風險比較

成 分 名 稱	MCLG (mg/L)	MCL (mg/L)	致 癌 强 度 (mg/kg/day) <sup>-1</sup>	單位風險 (ug/l) <sup>-1</sup>	致 癌 率 (MCL)	致癌率 (MCLG)
苯	0	0.005	$2.9 \times 10^{-2}$	$8.3 \times 10^{-7}$	$4.2 \times 10^{-6}$	0
四氯化碳	0	0.005	$1.3 \times 10^{-1}$	$3.7 \times 10^{-6}$	$1.9 \times 10^{-5}$	0
1,2二氯乙烷	0	0.005	$9.1 \times 10^{-2}$	$2.6 \times 10^{-6}$	$1.3 \times 10^{-5}$	0
總三鹵甲烷	0	0.1	$6.1 \times 10^{-3}$	—	$1.7 \times 10^{-5}$	0

### 三、特定污染源周圍化學物質的濃度及風險

使用水銀電解槽之鹼氯工廠附近環境之水銀濃度，以意大利廠為例，大氣背景濃度值約為 $3\sim 5\text{ng}/\text{m}^3$ ，水銀電解槽上方樣品空氣濃度約為背景濃度的 $3\sim 4$ 倍，以 $4\sim 5\text{km}$ 為半徑之距離以外，則恢復到背景濃度值。在鹼氯廠煙囪上方 $150\text{m}$ 空氣樣品，曾測得汞含量為 $73.2\text{ng}/\text{m}^3$ 。土壤中最高含汞量為 $80.52\sim 103.61\mu\text{g/g}$ （乾重）<sup>9</sup>。

都市垃圾（Municipal Solid Waste，簡稱MSW）焚化爐排放之影響健康污染物包括PCDDs/PCDFs等不完全燃燒產物(PICs)，以及PAHs（例如BaP）、揮發性金屬（例如Hg）。在底灰及飛灰中存在的不揮發性金屬(Cr, Cd, Pb)、PCBs、PCDDs、PCDFs等等<sup>10</sup>。在西德Wurzburg地方的一個MSW焚化爐，於1985年12月三天操作取樣顯示<sup>11</sup>，PCDDs及PCDFs的平均排放率分別為 $6.35 \times 10^{-11}\text{噸}/\text{噸}$ 及 $8.16 \times 10^{-11}\text{噸}/\text{噸}$ 。芝加哥一座 $650^\circ\text{C}$ 焚化爐煙道氣濃度為：PCDD: $57.3\text{ng}/\text{m}^3$ ，PCDF: $498\text{ng}/\text{m}^3$ ，進一步推估紐約Brooklyn Navy Yard焚化爐的最大衝擊影響（離爐址 $1\text{公里}$ 遠之地面），其大氣、土壤及路邊灰塵所含PCDD、PCDF及TCDD的濃度範圍，如表14所列<sup>7</sup>。PCDDs在環境中的半衰期約為 $1.5\sim 12\text{年}$ ，表14中土壤的濃度係一年後之數值。

表14 紐約布魯克林海軍焚化爐最大影響時之濃度<sup>7</sup> $\text{pg} = 10^{-12}\text{g}$ 

污 染 物	大氣中( $\text{pg}/\text{m}^3$ )	土 壤( $\text{pg}/\text{m}^3$ )	街道灰塵( $\text{pg}/\text{g}$ )
狀況1：氣相PCDF/PCDD (以靜電集塵器去除)			
PCDF	1.9900	—	—
PCDD	0.2290	—	—
2,3,7,8TCDD*	0.00168	—	—
狀況2：粒狀PCDF/PCDD (以袋濾式除塵器)			
PCDF	0.9309	0.486	104
PCDD	0.0882	0.560	12
2,3,7,8TCDD*	0.000782	0.00041	0.087

[註] \* : 2,3,7,8—四氯戴奧辛

土壤受到100ppb戴奧辛污染，其所釋放出來的蒸汽及粒狀物，對人體吸入危害可能的風險如何，經Paustenbach等人初步研究及模式推估驗證，現場之2,3,7,8四氯戴奧辛(TCDD)之蒸汽濃度約在1.8~2.5  $\text{pg}/\text{m}^3$ 之間（視溫度20~40°C而定），根據下列二種單位風險值(unit risk value, URV)計算最大可靠致癌風險(maximum plausible cancer risk, MPCK)：

若URV=  $2.9 \times 10^{-6}$  ( $\text{pg}/\text{m}^3$ )<sup>-1</sup>，則MPCK=  $1 \times 10^{-5}$

[斜率係數=  $1.0 \times 10^{-14}$  ( $\text{mg}/\text{kg} \cdot \text{day}$ )<sup>-1</sup> ]

若URV=  $3.3 \times 10^{-5}$  ( $\text{pg}/\text{m}^3$ )<sup>-1</sup>，則MPCK=  $1 \times 10^{-4}$

[斜率係數=  $1.2 \times 10^{-13}$  ( $\text{mg}/\text{kg} \cdot \text{day}$ )<sup>-1</sup> ]

經實際監測，在夏季100公尺下風處之最大TCDD蒸汽濃度為0.21 $\text{pg}/\text{m}^3$ ，現場TCDD在懸浮粒狀物之濃度約為1.4 $\text{pg}/\text{m}^3$ 。針對離現場100公尺外生活之族群，則其濃度約僅1/10，即0.14 $\text{pg}/\text{m}^3$ 。結論是當土壤僅受100ppbTCDD，且在表土5cm的污染，對於附近居民族群而言，風險均在 $10^{-6}$ 以下，並非重要的暴露途徑之一。

Woltingor (1989)發表未處理完全之廢棄物場所附近空氣傳播致癌物風險的初步評估結果。在隨機選自國家優先名單中25個有害廢棄物場址，進行最大個人暴露風險(maximally exposed individual, MEI risk)及平均個人風險(average exposed individual, AEI risk)估算，利用EPA人體暴露模式及假設性的每一場址毒性物質排放率推估得知：MEI風險值=  $4 \times 10^{-9} \sim 1 \times 10^{-6}$ ，平均值為 $5 \times 10^{-7}$ ，針對住在場址6.44公里範圍內之個

人而言，AEI 風險值為  $10^{-8}$ 。基於分析方法及所用假設的不確定性，初步結果當然需小心看待，但初步結論顯示，大部分情況中，未清理的場址導自空氣致癌物的風險很小，最大的顧慮還在特定情況下有最大暴露個人(MEI) 的風險。表15列舉未清理之廢棄物堆置場址以空氣媒介致癌物的排放量（每年每10,000平方公尺場址排出的公斤數）。在現場檢測出現頻率較高的污染物，依序排列並與致癌潛能(carcinogenic potency factors)相對照，列如表16。

表15 未清理之有害廢棄物場址以空氣媒介致癌物之排放量<sup>20</sup>單位 (kg/10,000m<sup>2</sup>/yr)

污 染 物	掩 埋 場	地表面貯池	土地處理	污染土壤
多氯聯苯(Aroclor 1242)	0~6			
多氯聯苯1242	1~179			
多氯聯苯1248				
液相	0~10			
汚泥中	1~3			
苯	3~21×10 <sup>5</sup>			
苯		4~139		
苯		2×10 <sup>5</sup>		
苯			347	
苯				368~2,365
四氯化碳				736~5,834
氯仿	1~7×10 <sup>6</sup>			
1,1二氯乙烷		40~3,285		
甲苯	467	5,804	1,483	
總氯化碳氫化合物		402~18,000		
氯乙烯	3~13×10 <sup>6</sup>			
氯乙烯	631~8,830			

[註] 表中重覆者為不同資料來源，代表不同場址

表16 現址檢測污染物出現頻率較高者與致癌潛能之對照表

污 染 物	檢測出現頻率(次數)	致 癌 潛 能( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>-1</sup>
四氯乙烯	331	$1.3 \sim 4.1 \times 10^{-6}$
鉻	238	$1.2 \times 10^{-2}$
苯	218	$6.9 \sim 7.4 \times 10^{-6}$
氯仿	182	$1.0 \times 10^{-5}$
砷	175	$1.4 \times 10^{-2}$
多氯聯苯	170	$1.2 \times 10^{-3}$
鎘	149	$1.7 \sim 2.3 \times 10^{-3}$
二氯乙烷	95	$0.2 \sim 4.1 \times 10^{-6} \sim 6$
氯乙烯	79	$2.6 \sim 7.1 \times 10^{-6} \sim 6$
鎳	71	$3.3 \sim 3.4 \times 10^{-4}$
四氯化碳	65	$0.7 \sim 2.6 \times 10^{-5}$
Benzo [a] pyrene	27	$1.7 \sim 3.3 \times 10^{-3}$
石綿	16	$1.0 \times 10^{-5}$ ( $\text{cm}^3/\text{根纖維}$ )
Benzidene	3	$6.6 \times 10^{-2}$
PAHs	3	$1.7 \times 10^{-3}$
二溴乙烯	1	$5.1 \times 10^{-4}$

Scheff等人利用受體模式，決定10個污染源排放，揮發性有機物(VOCs)的23種組成，污染源包括汽車、汽油蒸汽、煉油廠、建物粉漆、廢水處理、印刷、脫油脂、乾洗及聚乙烯生產工廠等，再將污染源排放之VOCs依據易測、毒性、反應性、是否可用在受體模式等因素，分析23種成分，其分配組成比率詳如表17所列。表中所列經常是經物理及化學程序(例如焚化)後之VOC量，並非原排放物質組成，有一般可應用性。數據顯示：

1. 汽車、汽車蒸汽及煉油之VOC主要為： $C_2 \sim C_6$  碳氫化合物。
2. 建物粉漆、乾洗、廢水處理、印刷、自動噴漆之VOC來源為：鹵化有機物。
3. 聚氯乙烯之VOC來源： $< C_6$  碳氫化合物。

Puskin等人(1989)討論居民暴露於氯的風險時指出，以肺癌致死數統計，室內氯(放射性)佔20%，而吸煙卻佔85%重要性。Paustenbach等人(1990)指出，在職業暴露標準(如TLV)及大氣濃度標準下，苯、丙烯晴、六價鉻，氯乙烯單體等的理論可靠致癌風險，詳如表18所示，大氣中的苯濃度約為5ppb。

表17 10種污染源排於23種揮發性有機物之相對百分比<sup>14</sup>

有機物	汽車	汽油	煉油	建物粉漆	廢水處理	印刷	去油脂	乾洗	自動噴漆	聚乙烯廠
乙烷	3.12	0.08	4.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		3.0
乙烯	18.18	0.00	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		50.0
丙烷	6.72	1.66	21.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		4.3
丙烯	3.16	0.00	0.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		3.9
乙炔	7.77	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		1.8
異丙烷	1.17	18.46	4.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		2.6
正丙烷	9.02	41.68	17.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		5.5
異丁烷	7.19	20.22	16.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		4.0
正丁烷	3.20	8.51	7.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		2.8
2-甲基丁烷	2.89	2.89	7.22				0.00	0.00	0.99	1.5
3-甲基丁烷	1.87	1.48	4.32				0.00	0.00	0.95	1.1
正己烷	1.37	1.15	3.60				0.00	0.00	1.77	4.3
2,4-二甲基丁烷	1.15	0.36	1.66	3.30			0.00	0.00		
苯	6.64	1.28	1.39	0.27	2.33		0.00	0.00		3.4
甲苯	14.16	1.32	4.68	78.34	6.17	93.09	0.00	0.00	67.42	7.7
乙基苯	2.01	0.36	0.58	1.36	1.26		0.00	0.00	6.24	1.6
對／間二甲苯	6.64	0.37	1.44	8.08		6.91	0.00	0.00	17.10	1.4
鄰二甲苯	3.90	0.19	0.84	8.65			0.00	0.00	5.54	1.1
氯仿					12.98		0.00	0.00		
1,1,1三氯乙烷					28.43		55.06	0.00		
四氯化碳					12.79		0.00	0.00		
三氯乙烯					16.35		33.35	0.00		
四氯乙烯					19.69		11.59	100.00		
總計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

表18 比較職業暴露標準下之濃度與一般大氣濃度標準下的理論致癌風險值<sup>12</sup>

化學品	1990TLV( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	暴露在TLV下之可靠致癌風險	暴露在 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之大氣濃度下之致癌風險
丙烯腈	4,500	0.057	$6.8 \times 10^{-5}$
苯	30,000	0.044	$8.3 \times 10^{-6}$
1,3-Butadiene	22,000	0.68	$2.8 \times 10^{-4}$
六價鉻	50	0.10	$1.2 \times 10^{-2}$
氯乙烯	10,000	0.013	$7.1 \times 10^{-6}$

新辦公大樓可能也是重要的揮發性有機物(VOCs)的重要來源，Hodgson等人(1991)研究新辦公大樓中不同地點及VOCs的不同強度，歸納出主要來源為用液相處理的光學影印機及繪圖機，其排放C<sub>10</sub>-C<sub>11</sub>的Isoparaffinic的碳氫化合物，另外，大樓地下停車場也是主要的碳氫化合物來源之一。

表19 波士頓地區通勤者暴露情形

化 學 品	最大濃度( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )(min)	延 時(min)
<u>在車內</u>		76
苯	64.0 (22)	
甲苯	105.1 (22)	
乙基苯	21.6 (87)	
對、間二甲苯	74.6 (87)	
鄰二甲苯	26.1 (87)	
甲醛	19.7 (64)	
<u>地下鐵</u>		87
苯	13.2 (85)	
甲苯	151.7 (190)	
乙基苯	5.8 (95)	
對、間二甲苯	21.6 (80)	
鄰二甲苯	7.8 (57)	
甲醛	14.1 (66)	
<u>步行</u>		47
苯	24.2 (37)	
甲苯	44.3 (37)	
乙基苯	6.8 (35)	
對／間二甲苯	32.9 (37)	
鄰二甲苯	8.9 (35)	
甲醛	15.1 (20)	
<u>騎腳踏車</u>		54
苯	28.0 (30)	
甲苯	45.1 (30)	
乙基苯	7.1 (30)	
對／間二甲苯	28.3 (30)	
鄰二甲苯	8.9 (30)	
甲醛	18.0 (40)	

## 四、特定族群曝露於化學物質的濃度及風險

Chan等人(1991)報告指出在波士頓地區通勤者暴露在六種與汽油有關之揮發性有機物(VOCs)的範圍，分為車輛中的族群、地下鐵通勤者、步行者、騎車者，所得暴露濃度及延時，列於表19。以苯為例，平均值 $6.9\sim 17.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，均大於大氣中的5ppb範圍。

簡等(1993)綜合指出台灣地區研究特定族群暴露於石綿、苯胺、多氯聯苯、鉛、硝基苯等的風險。

## 五、如何降低環境中化學物質造成的健康 及環境的風險衝擊

Laznow等人將高風險污染物依毒性情況加權，列如表20。污染物經各種控制設施或減量後，亦可依毒性強弱之權值計算風險度的降低值，如表21所示(J. AWMA, 41:685-687, 1991)。環境管理的重點應從傳統污染物的移除逐漸改變為有毒物質的控制。避免化學物質釋放到環境中是重要的策略，因此未來的工作應加強預防有毒化學物質的釋放，例如美國正在推行的毒性物質釋放量管制計畫(Toxic Release Inventory, TRI)，明列年度削減釋放量的目標，才能有效控制環境中的濃度及風險。

表20 高風險污染物及相對權重

化 學 物 質	權 重
2,3,7,8 四氯戴奧辛	100,000
聯苯胺(Benzidine)	1,000
二氯甲基醚[Bis(chloromethyl)ether]	1,000
石綿	100
鉻化合物	100
聯胺(Hydrazine)	100
砷化合物	100
氯甲基甲醚(Chloromethyl Methyl Ether)	10
鎘化合物	10
七氯(Heptachlor)	10
鋯化合物(Beryllium Compounds)	10
丙烯醯胺(Acrylamide)	10
煉焦爐排氣	10
六氯苯	10
氯丹(Chlordane)…等等	10

表21 依毒性權重調整前後之風險降低程度

污染物	控制前 (權重)	控制後 (權重)
聯胺(Hydrazine)	1(100)=100	0.5(100)=50
苯(Benzene)	10(10)=100	0.6 (10)= 6
丙烯醛(Acrolein)	10(10)=100	1.4 (10)=14
亞甲基二氯(Methylene Chloride)	800(1)=800	40 (1)=40
甲苯(Toluene)	30(1)= 30	(1)=30
	1130	140
$\therefore \text{總降低率} = \frac{1130 - 140}{1130} = 87.6\%$		

## 六、參考文獻

1. Andrews , R.N. and Clayton, P.H.,Environmental Change and Public Health: An Overview Environ Impact Assess Rev. 10:309-314,1990.
2. Ashford , N.A., New Scientific Evidence and Public Health Imperatives., New England Jonrnal of medicine, 316, 17:1084-1085,1987.
3. Baek , S.O.; Field, R.A.; Goldstone, M. E.; Kirk, P.W.; Lester, J. N. and Perry, R.,A Review of Atmospheric polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Sources,Fate and Behavior. Water,Air, and Soil Pollution, 60:279-300,1991.
4. Hodgson , A. T., Daisey, J. M. and Grot, R. A.,Sources and Source Strengths of Volatile Organic Compounds in a New Office Building.J. AWMA, 41:1461～1468,1991.
5. Hunt , G.T. and Maisel, B.E.,Atmospheric Concentrations of PCDDs/ PCDFs in Southern California.J. Air Waste Manage. Assoc. 42:672～680,1992.
6. Khalil , M.A.K. and Rasmussen, R. A.,Patterns of Trace Gases Near Sources of Global Pollution.J. Air Waste Manage. Assoc. Vol.40. No.8. p1143～1146, 1990.
7. Konkel , R. S.,Risk Management in the United States: Dioxin Emissions and Trash-to-Energy Plants in New York City.Environ Impact Assess Rev.7:37-55,1987.

- 8.Laznow , J., Daniel, J.,Overview of the USEPA's Hazardous Air pollutant Early Reduction Program.J. AWMA, 42:31-35,1992.
- 9.Maserti , B.E. and Ferrara, R.,Mercury in Plants, Soil and Atmosphere near a Chlor-Alkali complex.Water, Air and Soil Pollution, 56:15-20.1991.
- 10Menzie, C.A. ; Potocki, B.B. and Santodonato, J., Exposure to Carcinogenic PAHs in the Environment, ES&T, Vol. 26, No.7,p.1278~1284,1992.
- 11Nash , J.,Assessing the Health Risks From Municipal Waste Incineration: An example from philadelphia.Environ Impact Assess Rev. 7:253-255,1987.
- 12Paustenbach , D. J., Sarlos, T. T., Lau Virginia, Finley B.L., Jeffrey D.A., Ungs, M. J.,The Potential Inhalation Hazard Posed by Dioxin Contaminated Soil,J. AWMA, 41:1334-1340,1991.
- 13Puskin , J. S., Nelson, C. B.,EPA's perspective on Risks from Residen Radontial Exposure,J. APCA 39:915-920,1989.
- 14Scheff , P. A., Wadden, R. A., Bates, B. A., Aronian, P. F.,Source Fingerprints for Receptor Modeling of Volatile Organics.J. APCA 39:469-478 ,1989.
- 15Shields , J.,Ambient Air Arsonic Levels Along the Texas-Mexico Border.J. Air Waste Manage. Assoc. 41:827-831,1991.
- 16Summerhays , J.Evaluation of Risks from Urban Air Pollutants in the Southeast Chicago Area. J. Air Waste Manage. Assoc. 41:844-850,1991.
- 17Sweet , C.W. and Vermette, S.Toxic Volatile Organic Compounds in Urban Air in Illinois.Environ. Sci. Technol. Vol. 26. No. 1. p 165~173,1992.
- 18Travis , C.C. and Hester, S.T. (1991), Global Chemical Pollution, ES&T, Vol. 25. No.5 p.814~819.
- 19Washburn , S. T.; Brainard, J. and Harris, R.,Human Health Risks of municipal Solid Waste Incineration.Environ Impact Assess Rev. 9:181-198, 1989.
- 20Wolfinger , T. F.,Screening-level Assessment of Airborne Carcinogen Risks from Uncontrolled Waste Sites., J. APCA 39:461-468,1989.
- 21簡慧貞，阮國棟，風險溝通在環境管理上之應用，第三屆環境決策與管理研討會論文集，中山大學，p597~615,1992.
- 22環境白書，日本環境廳，平成三年版，1991。
- 23簡慧貞 、阮國棟，台灣地區化學物質風險性評估現況，工業污染防治季刊，1993.