

高雄市有害空氣污染物之健康 風險評估與污染源探討

賴嘉祥¹ 陳康興² 蔡佩君³

摘要

本研究為延續 2003 年春季於高雄市分析之大氣 71 種 C₂-C₁₅ 碳氫化合物 (HC) (Lai, Chen, Ho, & Chou, 2004) 中有 19 種 HC 被美國環保署列為有害空氣污染物 (HAPs) (USEPA, 2003a)，並探討其 HAPs 之健康風險評估與污染源探討。研究結果顯示，楠梓站除 Bromoform 外，Benzene 及含氯 HC 之 Chloroform、Carbon tetrachloride、Vinyl chloride、1,2-Dichloroethane、Trichloroethylene、Tetrachloroethene、Acrylonitrile、1,2-Dichloropropane 等之平均致癌風險值介於 2.73×10^{-6} - 1.04×10^{-4} ，都已高過致癌風險標準 (10^{-6}) 約 3-100 倍。而小港站 19 種 HC 中之 9 種致癌性 HAPs 之平均致癌風險值為 2.67×10^{-6} - 1.19×10^{-4} ，亦高過致癌風險標準 (10^{-6})。由統計之變異分析可知，兩測站在累積致癌風險值百分比在前三大致癌 HAPs 特徵化合物是有差異的，而在非致癌物質 HAPs 特徵化合物是相似的。

由因素分析可知，HAPs 主要為移動源、塑膠相關製程及溶劑使用／逸散等排放，

-
1. 中臺科技大學護理系助理教授
 2. 國立中山大學環境工程研究所教授
 3. 國立台東大學生命科學研究所研究生

收稿日期：九十四年六月十三日

接受日期：九十四年十二月十日

通訊作者地址：賴嘉祥

406 台中市北屯區廬子里廬子巷十一號

聯絡電話：04-22391647 轉 7380

E-mail：chlai2@ctust.edu.tw

此類污染源亦是高雄市 HC 排放源百分比之前三大，故值得未來重視與管制。

關鍵詞：有害空氣污染物、健康風險評估、變異數分析、因素分析。

前 言

有害空氣污染物 (Hazardous Air Pollutants, HAPs) 為美國空氣清淨法 (Clean Air Act, CAA) (USEPA, 2003a) 中公告之 188 種具有已知或疑似可能致癌或引起其他嚴重影響健康之空氣有毒化合物。我國環保署為加強管制 HAPs, 預計在民國 100 年底全面管制空氣中之有害物質。國內所使用的化學物質種類與數量, 以及所衍生的 HAPs 的排放量, 都隨著經濟的發展與人類活動的頻繁而日益增加, 這些有害的空氣污染物在排放進入環境後, 通常經由暴露而影響受體 (receptor), 其影響程度與暴露量、暴露時間及有害空氣污染物進入人體的途徑有關。由於高雄市緊鄰大社、仁武、林園、左楠四大石化工業區, 石化工業可能逸散洩露其之污染物, 如苯、環氧乙烷等都是淋巴造血系統可能致癌物, 過去有研究指出在懷孕時期居住距離石化工業區周界一公里內罹患急性淋巴性白血病的危險性為 4.82 倍, 且懷孕期間的石化居住暴露與年輕白血病有顯著相關 (闕大順, 2000)。石化廠之氯乙烯職業暴露與肝癌相關性研究發現, 原發性肝癌、慢性肝病及肝硬化、其他慢性疾病之住院風險呈現有意義之增加, 且有八位肝癌住院個案, 均有氯乙烯暴露史 (杜宗禮, 1997)。肝功能異常盛行率隨著職業暴露大小呈線性增強趨勢 (吳雨圭, 1990)。美國環保署 (United States Environmental Protection Agency, USEPA) 資料指出, 在華盛頓特區暴露在含有毒性化學物的室外空氣中, 使所有美國人終生罹患癌症的風險值, 比起聯邦法規認為可接受的程度, 至少高了 10 倍 (USEPA, 2002a)。

另外, 揮發性有機氯化物如: 二氯甲烷、二氯乙烷和三氯甲烷是工業廣泛使用的有機溶劑, 常用於金屬及皮革清洗或粘著劑及殺蟲劑之溶劑上, 當呼吸道暴露於揮發性有機氯化物後引發呼吸道毒性可能與呼吸道平滑肌的過度緊張及上皮細胞發炎物質的分泌有關 (林怡汝, 2000)。根據環保署研究報告顯示, 仁武工業區內每年排放 1,2-二氯乙烷為 3.45 公噸, 經過擴散模擬之後, 當地致癌風險為 1.9×10^{-6} - 6.8×10^{-3} , 超過美國致癌風險可接受值 1.0×10^{-6} 甚多。風險最高地區是在仁武鄉, 至於左營、楠梓一帶, 致癌風險仍在 1.9×10^{-6} - 0.4×10^{-3} 之間, 值得注意。林園工業區致癌風險為 4.0×10^{-6} - 1.9×10^{-2} , 研究報告同時指出, 如果暴露 30 年, 大社仁武工業區會增加之致癌人口數約為 13 人, 林園工業區會增加的致癌人口數約為 55 人 (中國電子時報, 1997)。亦有相關研究指出 (田浚

致，2004），林園工業區中丁二烯暴露風險為 8.706×10^{-7} - 1.041×10^{-3} ，氯乙烯暴露風險為 4.515×10^{-8} - 1.244×10^{-4} ，苯暴露風險為 4.324×10^{-6} - 4.055×10^{-4} ；在仁大工業區中丁二烯暴露風險為 2.205×10^{-7} - 3.856×10^{-4} ，苯暴露風險為 1.757×10^{-8} - 2.763×10^{-5} ，而林園工業區中污染物之影響範圍均在林園鄉的南方（屏東縣）；仁大工業區中污染物之影響範圍均在大社鄉之西南邊及仁武鄉之西邊（高雄縣市）。

由於化學物質，特別是有毒性化學物質與有害空氣污染物的管理，是屬於一種風險管理，在進行有效管理前，須了解有害空氣污染物在環境中的流布狀況及相關之排放污染源。Lai等（2004）於2003年3月-4月期間於高雄市兩空氣品質測站所量測之大氣71種（hydrocarbon, HC），其中有19種HC被美國環保署列為HAPs。本研究延續Lai等之採樣濃度，利用因子分析（Factor analysis）及暴露風險評估探討19種HAPs之污染源及民眾之健康風險。而在致癌風險評估部分，當風險值超過 10^{-6} 時，即個人致癌風險的機率為百萬分之一，是屬於不可接受風險，故建議應針對污染源作改善；另在非致癌風險部分則以健康危害指數（Hazard Index, HI）進行風險分析，當健康危害指數超過1時，則應進行風險管理。

研究方法

一、採樣地點與時間

楠梓測站及小港測站分別位於高雄市之南、北部，兩側站相距約20 km，各採樣點之相對地理位置如圖1所示。採樣期間為2003年之3月17-23日及4月21-27日，共計14天。高雄市在3月及4月之採樣期間大氣溫度分別為19.4-25.7°C及26.9-28.6°C，而相對濕度介於66%-79%之間。每天之採樣時段以上午7時-10時（3hr）、中午13時-16時（3hr）及夜間18時-21時（3hr）。選擇此三時段是為瞭解不同時段大氣HC成分特徵，Nelson & Quigley（1982）指出上午時段（6-9時）採樣為未發生光化反應之大氣HC成份，中午時段（12-15時）因大氣混合增加使大氣中HC濃度降低，因此能反應出排放污染物與光化反應之平衡情形，且鄰近污染源之影響也降至最小。傍晚時段（18-21時）光化反應逐漸消失，HC之反應緩和使濃度增加，利於污染來源之解析（Chameides等，1992）。

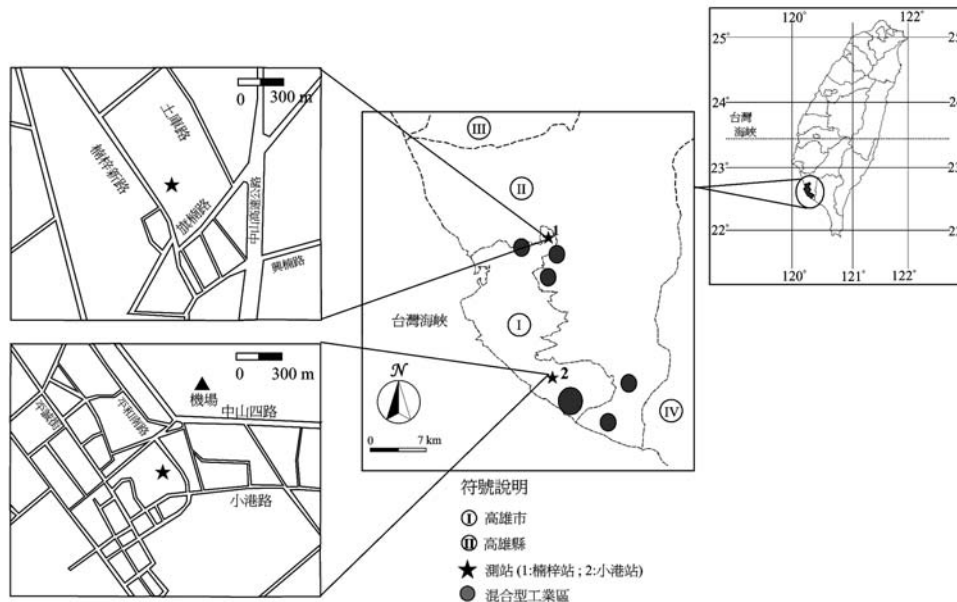


圖 1 高雄市採樣點之相對地理位置

二、大氣 HC 污染物採樣分析法

大氣 HC 採樣是採用環保署公告之方法 NIEA A 719.10T 為主，再參考美國環保署所建議的周界空氣中毒性有機物之測定方法 TO-1 及 TO-2 分析方法。在常溫常壓下，以不銹鋼吸附採樣管（Carbotrap 為吸附劑），其各吸附層分別採集空氣中 HC (C₂-C₁₅) 及鹵素(含氯及溴)碳氫化合物，再經由氣相層析儀配合火焰離子偵測器 (FID) 及電子捕獲偵測器 (ECD) 分別予以定量碳氫化合物及含鹵素之碳氫化合物。

三、風險評估

美國環保署 (USEPA) 與國際癌症研究中心 (International Agency for Research on Cancer, IARC) 針對致癌物的分類雖有些許差異，但兩者分類原則皆為強調證據之份量 (Weight of Evidence, WOE)，本研究針對 HAPs 之致癌性分類分為二：

(一) 參考美國環保署 (USEPA, 1986) 針對致癌物質的危害進行分類為：A 類：已知人體致癌物；B1 類：可能是人體致癌物 (證據有限)；B2 類：可能是人體致癌物 (證據不足，但有動物試驗數據)；C 類：也許是人體致癌物 (人體部

份數據與B2同，但動物數據不足)；D類：缺乏資料證明為人體致癌物；E類：資料證明非為人體致癌物。(二)國際癌症研究中心(IARC, 2002)將人體流行病學與動物實驗研究所得資料，依其致癌證據的強弱分為：Group 1：確定人體致癌；Group 2A：疑似人體致癌；Group 2B：可能人體致癌；Group 3：無法判斷為人體致癌性；Group 4：非疑似人體致癌性。因此，本研究探討之19種HAPs中有9種被歸類為致癌物，而10種為非致癌物。

在致癌物之風險評估是以一般居民長期透過呼吸吸入所產生的健康風險，因此HAPs之終生致癌風險的機率及累積致癌風險可由公式(1)及(2)推估(Tam & Neumann, 2004)：

$$\text{致癌風險 } (C_i) = \text{HAP}_i (\mu\text{g m}^{-3}) \times \text{UR}_i (\mu\text{g m}^{-3})^{-1} \quad (1)$$

$$\text{累積致癌風險 (Cumulative Cancer Risk)} = \sum C_i (\text{Individual Cancer Risk}) \quad (2)$$

其中：

C_i ：第*i*種HAP之致癌風險(Cancer Risk)

UR_i ：第*i*種HAP之單位風險值(Unit Risk)

非致癌性HAPs之慢性健康風險評估為長期連續暴露所影響，根據加州環保署(California Environmental Protection Agency, Cal EPA)之長期是指超過人類壽命之12%，以70年推估為超過8年以上之時間，並以參考暴露基準(Reference Exposure Levels, RELs)表示長期吸入毒性值。美國環保署是以吸入參考濃度(Reference Concentration, RfC)表示非致癌有害終生暴露之基準濃度(benchmark concentration)(Caldwell, Woodruff, Morello-Frosch, & Axelrad, 1998)，是由動物實驗、人體實驗或流行病學分析而得，通常是表示低於此劑量的暴露即相當安全。而RELs及RfC都可被用於非致癌之長期暴露評估(Risk Assessment Advisory Committee, 1996)。故本研究之非致癌性物質的風險推估，是以民眾之暴露濃度值與慢性吸入參考濃度值(RELs及RfC)求得危害商數(Hazard Quotient, HQ)(如公式3)(李昌翰, 2004)，而慢性健康風險總危害指標(Total Hazard Index, THI)則為所有危害商數的累加(如公式4)(李昌翰, 2004)，若 $\text{THI} > 1$ 則代表長期連續暴露於該環境中可能會對居民健康造成影響。

$$\text{危害商數 } (\text{HQ}_i) = \text{HAP}_i (\mu\text{g m}^{-3}) / \text{RELs 或 RfC } (\mu\text{g m}^{-3}) \quad (3)$$

$$\text{總危害指標 } (\text{THI}) = \sum \text{HQ}_i (\text{Individual Hazard Quotient}) \quad (4)$$

其中：

HQ_i：各 HAPs 之危害商數 (HQ)

HAP_i：即為測站所量測之 HAPs 濃度

RELs 或 RfC：即為 HAPs 慢性吸入參考值 RELs 及 RfC

四、因素分析 (Factor Analysis, FA)

因素分析是一種統計方法用來分析內部有相關的一群變數，再以所得幾個共同變數來說明這些變數之結構，其目的為簡化原來多個變數成少數幾個因素，而又能保有原來資料最多之資訊。找出潛在因素為因素分析最重要之應用之一，它是要從一大堆變數找出少數幾個共同因素，即是將一群很多之變數分組成少數幾個同質性高的變數群組，然後對每個群組建立一個新的因素名稱 (陳順宇, 2000)。目前已有許多研究利用因素分析探討受體點 (測站) 之揮發性有機物、多環芳香烴及碳基化合物之污染來源 (Borbon, Locoge, Veillerot, Galloo, & Guillermo, 2002; Guo, Wang, & Louie, 2004a; Guo 等, 2004b; Ho, Lee, & Chiu, 2002)。

本研究以主成份法進行因素選取且以特徵值 (Eigenvalue) 大於 1 者做為決定共同因素之數目 (Kaiser, 1960)。為了方便因素的解釋或命名必須旋轉因素軸，此旋轉並不會改變各變數間的關係型態，適當之旋轉因素軸反而能使各因素之型態更顯著，本研究則是以直交轉軸法中的變異數最大旋轉法 (Varimax) 旋轉。另外，由於本研究樣本數 (n=42) 低於 50，因此結果解釋以因素負荷量 (Factor Loading) 大於 0.75 為選取元素 (陳順宇, 2000)，藉此呈現污染源之特徵污染化合物以命名因素種類。因此，為確認變數間的相關是否適合進行因素分析，Kaiser (1970, 1974) 提出一項抽樣適合性指數 (Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy, KMO) 作為判斷變數間是否適合進行因素分析之標準，KMO 的值介於 0-1 之間，愈接近 1，表示變數間的共同因素愈多，愈適合進行因素分析，但若 KMO 值(0.5 則反之。並再利用 Bartlett 球形考驗 (Bartlett's Test of Sphericity) 之 p value<0.05 以表示其相關係數足以作為因素分析抽取因素之使用 (Bartlett, 1951)。

表1 HAPs 之致癌分類單位風險及慢性非致癌參考濃度值

HAP	致癌分類 (WOE)	單位風險 ($\mu\text{g m}^{-3}$)	致癌參考濃度 ($\mu\text{g m}^{-3}$)	文獻	慢性非致癌參考濃度 ($\mu\text{g m}^{-3}$)	健康危害之目標器官	文獻
n-Alkanes							
n-Hexane	—	—	—	—	2.00×10^2	神經系統	USEPA (2003b)
Aromatics							
Benzene	A	7.80×10^{-6}	1.28×10^{-1}	USEPA (2003b)	3.00×10^1	減少淋巴球數	USEPA (2003b)
Toluene	D	—	—	—	3.00×10^2	神經及呼吸系統	COEHHA (2002b)
Ethylbenzene	D	—	—	—	1.00×10^3	生長毒性	USEPA (2003b)
Xylene	D	—	—	—	1.00×10^2	駕駛協調性受損	USEPA (2003b)
Styrene	2B	—	—	—	9.00×10^2	神經系統	COEHHA (2005)
Naphthalene	D	—	—	—	0.90×10^1	呼吸系統	COEHHA (2005)
<i>i</i> -Propylbenzene	InI	—	—	—	4.00×10^2	腎臟	USEPA (2003b)
Chlorinated hydrocarbons							
Chloroform	B2	2.30×10^{-5}	4.35×10^{-2}	USEPA (2003b)	3.00×10^2	消化系統、腎、致畸胎	COEHHA (2002b)
Carbon tetrachloride	B2	4.50×10^{-5}	2.22×10^{-2}	COEHHA (2002a)	4.00×10^1	營養、生長及神經系統	COEHHA (2002b)
Vinyl chloride	A	7.80×10^{-5}	1.28×10^{-2}	COEHHA (2002a)	1.00×10^2	肝臟	USEPA (2003b)
1,1,1-trichloroethane	D	—	—	—	1.00×10^3	神經系統	COEHHA (2002b)
1,2-dichloroethane	B2	2.6×10^{-5}	—	USEPA (2003b)	—	消化系統、神經系統	USEPA (2003b)
Trichloroethylene	2A	2.00×10^{-6}	5.00×10^{-1}	COEHHA (2002a)	6.00×10^2	眼睛及神經系統	COEHHA (2002b)
Tetrachloroethylene	2A	5.90×10^{-6}	1.69×10^{-1}	COEHHA (2002a)	3.50×10^1	營養系統及腎臟	COEHHA (2002b)
Acrylonitrile	B2	6.8×10^{-5}	—	USEPA (2003b)	0.2×10^1	呼吸系統	USEPA (2003b)
1,2-dichloropropane	B2	1.9×10^{-5}	—	Conv. Oral	0.4×10^1	消化系統、神經系統	USEPA (2003b)
Chlorobenzene	D	—	—	—	1.00×10^3	肝臟	COEHHA (2002b)
Bromoed hydrocarbons							
Bromoform	B2	1.1×10^{-6}	—	USEPA (2003b)	—	肝臟	USEPA (2003b)

"—" indicates that data was not available;

InI: inadequate information to determine carcinogenicity (from: <http://www.epa.gov/ttn/atw/toxsource/table1.xls>);

Conv. Oral: in the source column denotes UREs developed by converting oral potency values, done for substances for which UREs were not otherwise available. The URE is the upper bound risk estimate of cancer risk from a lifetime exposure to a concentration of 1 microgram per cubic meter (from: <http://www.epa.gov/ttn/atw/toxsource/table1.xls>)

結果與討論

一、HAPs 致癌物與非致癌物之風險評估

本研究 19 種 HC 中，有 10 種被列為 HAP 之致癌物質。表 2 為楠梓站及小港站之 HAPs 致癌風險值平均值、標準差、最大值及最小值。楠梓站除含溴 HC 之 Bromoform 平均致癌風險值為 2.75×10^{-7} 外，芳香族之 Benzene 及含氯碳氫化合物之 Chloroform、Carbon tetrachloride、Vinyl chloride、1,2-Dichloroethane、Trichloroethylene、Tetrachloroethene、Acrylonitrile、1,2-Dichloropropane 等之平均致癌風險值 (Cancer Risk) 介於 2.73×10^{-6} - 1.04×10^{-4} ，都已高過致癌風險標準值 (10^{-6}) 約 3-100 倍。而小港站之 10 種 HAP 之致癌物質之平均致癌風險值 (Cancer Risk) 介於 2.67×10^{-6} - 1.19×10^{-4} ，亦高過致癌風險標準值 (10^{-6})。

表 2 亦指出兩測站之累積致癌風險值 (Cumulative Cancer Risk) 分別為 4.12×10^{-4} 與 4.95×10^{-4} ，明顯高過致癌風險標準值 (10^{-6})。其中累積致癌風險值之化合物百分比由圖 2 (a) 可知，楠梓站中以 Benzene 之 25.21% 最高，其次為 Acrylonitrile 及 Vinyl chloride 之 21.04% 與 17.67%，共佔 63.92%，而其餘 7 種僅佔 36.08%。圖 2 (b) 為小港站之累積致癌風險值百分比中以 1,2-Dichloroethane 之 24.04% 最高，其次為 Acrylonitrile 及 Benzene 之 23.64% 與 17.29%，共佔 64.97%。因此，兩測站之累積致癌風險值百分比在前三大致癌 HAPs 特徵化合物是有差異的。

此外，另有 9 種被列為 HAPs 之非致癌物質。由表 3 可知，楠梓站之 *n*-Hexane 及芳香族之 Toluene、Ethyl benzene、Styrene、Xylene、Naphthalene、*i*-Propylbenzene 與含氯之 1,1,1-三氯乙烷等之平均非致癌物危害商數 (HQ) 介於 6.35×10^{-4} - 1.45×10^{-1} 。而小港站之 9 種 HAP 之非致癌物質之平均 HQ 介於 6.93×10^{-4} 至 1.39×10^{-1} 。兩測站 HQ 值總合之 THI 值分別為 4.07×10^{-1} 及 4.44×10^{-1} ，都未超過 1，表示無立即對人體健康產生危害。而 THI 之各化合物百分比由圖 3 (a) 可知，楠梓站中以 Toluene 之 35.06% 最高，其次為 Xylene 及 Chlorobenzene 之 34.37% 與 17.33%，而圖 3 (b) 為小港站之 THI 值之百分比比較高值亦出現在 Toluene、Xylene 及 Chlorobenzene，分別為 40.98%、31.29% 及 17.34%。因此，兩測站 THI 前三大百分比之非致癌物質 HAPs 特徵化合物是相似的。

表 2 楠梓站及小港站採樣期間之 10 種 HAPs 致癌風險值

	楠梓 (n=42)				小港 (n=42)			
	平均值	標準差	最大值	最小值	平均值	標準差	最大值	最小值
Aromatics								
Benzene	1.04×10 ⁻⁴	4.56×10 ⁻⁵	2.01×10 ⁻⁴	3.07×10 ⁻⁵	8.56×10 ⁻⁵	4.16×10 ⁻⁵	1.71×10 ⁻⁴	1.54×10 ⁻⁵
Chlorinated hydrocarbons								
Chloroform	2.52×10 ⁻⁵	1.28×10 ⁻⁵	7.38×10 ⁻⁵	5.94×10 ⁻⁶	1.94×10 ⁻⁵	1.39×10 ⁻⁵	8.19×10 ⁻⁵	9.75×10 ⁻⁷
Carbon tetrachloride	4.88×10 ⁻⁵	2.07×10 ⁻⁵	9.45×10 ⁻⁵	4.05×10 ⁻⁶	5.72×10 ⁻⁵	2.75×10 ⁻⁵	1.70×10 ⁻⁴	1.76×10 ⁻⁵
Vinyl chloride	7.29×10 ⁻⁵	3.19×10 ⁻⁵	1.69×10 ⁻⁴	2.49×10 ⁻⁵	7.39×10 ⁻⁵	5.25×10 ⁻⁵	2.75×10 ⁻⁴	4.49×10 ⁻⁶
1,2-dichloroethane	5.25×10 ⁻⁵	3.35×10 ⁻⁵	1.22×10 ⁻⁴	4.94×10 ⁻⁶	1.19×10 ⁻⁴	7.46×10 ⁻⁵	2.75×10 ⁻⁴	1.01×10 ⁻⁵
Trichloroethylene	2.73×10 ⁻⁶	1.05×10 ⁻⁶	6.18×10 ⁻⁶	1.17×10 ⁻⁶	2.67×10 ⁻⁶	1.21×10 ⁻⁶	5.52×10 ⁻⁶	5.95×10 ⁻⁷
Tetrachloroethene	5.10×10 ⁻⁶	3.26×10 ⁻⁶	1.50×10 ⁻⁵	3.54×10 ⁻⁷	8.25×10 ⁻⁶	4.58×10 ⁻⁶	1.92×10 ⁻⁵	2.71×10 ⁻⁶
Arcylonitrile	8.68×10 ⁻⁵	3.26×10 ⁻⁵	1.72×10 ⁻⁴	3.56×10 ⁻⁵	1.17×10 ⁻⁴	5.87×10 ⁻⁵	2.81×10 ⁻⁴	4.55×10 ⁻⁵
1,2-dichloropropane	1.42×10 ⁻⁵	1.62×10 ⁻⁵	5.48×10 ⁻⁵	6.72×10 ⁻⁷	1.09×10 ⁻⁵	4.11×10 ⁻⁶	2.34×10 ⁻⁵	1.07×10 ⁻⁶
Bromoed hydrocarbons								
Bromoform	2.75×10 ⁻⁷	2.87×10 ⁻⁷	1.33×10 ⁻⁶	ND ^c	1.10×10 ⁻⁶	1.16×10 ⁻⁶	3.53×10 ⁻⁶	ND ^c
Cumulative Cancer Risk ^a	4.12×10 ⁻⁴	7.84×10 ⁻⁵ ^b			4.95×10 ⁻⁴	1.20×10 ⁻⁴ ^b		

n is the sample size;

^aCumulative Cancer Risk (total of 10 species);^bTSD=($\sum SD_i^2$)^{1/2}, where SD_i is the standard deviation of the compound i;^cunder detection limited.表 3 楠梓站及小港站採樣期間之 9 種非致癌 HAPs 之危害商數 (HQ) 及總危害指標 (THI^a)

	楠梓 (n=42)				小港 (n=42)			
	平均值	標準差	最大值	最小值	平均值	標準差	最大值	最小值
n-Alkanes								
n-Hexane	3.22×10 ⁻²	1.85×10 ⁻²	9.84×10 ⁻²	8.33×10 ⁻³	2.97×10 ⁻²	1.72×10 ⁻²	7.72×10 ⁻²	5.25×10 ⁻³
Aromatics								
Toluene	1.45×10 ⁻¹	4.89×10 ⁻²	2.21×10 ⁻¹	4.10×10 ⁻²	1.82×10 ⁻¹	7.87×10 ⁻²	3.68×10 ⁻¹	5.45×10 ⁻²
Ethyl benzene	1.01×10 ⁻²	5.11×10 ⁻³	2.79×10 ⁻²	2.78×10 ⁻³	8.41×10 ⁻³	5.01×10 ⁻³	2.17×10 ⁻²	1.15×10 ⁻³
Styrene	4.32×10 ⁻³	2.54×10 ⁻³	1.09×10 ⁻²	1.11×10 ⁻³	3.90×10 ⁻³	2.09×10 ⁻³	7.06×10 ⁻³	6.69×10 ⁻⁴
Xylene	1.40×10 ⁻¹	5.84×10 ⁻²	2.41×10 ⁻¹	3.98×10 ⁻²	1.39×10 ⁻¹	8.33×10 ⁻²	3.11×10 ⁻¹	2.48×10 ⁻²
Naphthalene	6.35×10 ⁻⁴	2.99×10 ⁻⁴	1.45×10 ⁻³	ND ^c	6.93×10 ⁻⁴	4.82×10 ⁻⁴	2.12×10 ⁻³	1.60×10 ⁻⁴
i-Propylbenzene	3.36×10 ⁻³	2.24×10 ⁻³	8.70×10 ⁻³	3.22×10 ⁻⁴	2.47×10 ⁻³	1.54×10 ⁻³	6.35×10 ⁻³	1.27×10 ⁻⁴
Chlorinated hydrocarbons								
1,1,1-Trichloroethane	1.14×10 ⁻³	5.48×10 ⁻⁴	2.89×10 ⁻³	3.30×10 ⁻⁴	9.98×10 ⁻⁴	6.63×10 ⁻⁴	2.88×10 ⁻³	4.65×10 ⁻⁵
Chlorobenzene	7.06×10 ⁻²	3.33×10 ⁻²	1.61×10 ⁻¹	ND ^c	7.70×10 ⁻²	5.36×10 ⁻²	2.36×10 ⁻¹	1.78×10 ⁻²
THI ^a	4.07×10 ⁻¹	3.33×10 ⁻²			4.44×10 ⁻¹	5.36×10 ⁻²		

n is the sample size;

^aTHI (total of 9 species);^bTSD=($\sum SD_i^2$)^{1/2}, where SD_i is the standard deviation of the compound i;^cunder detection limited.

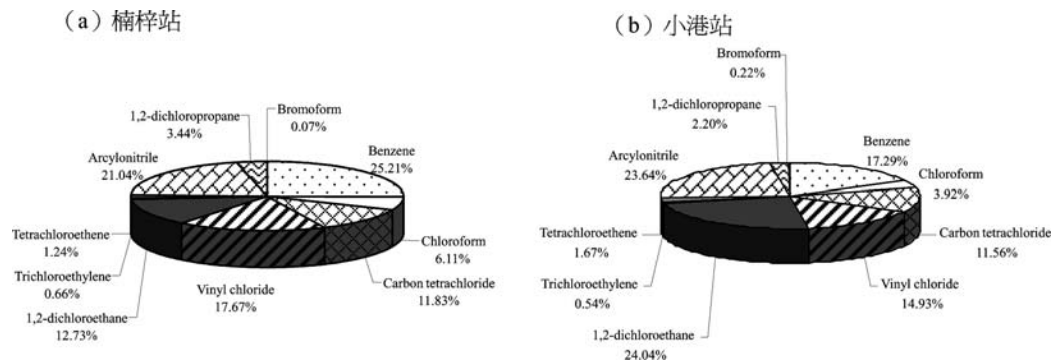


圖 2 非致癌性 HAPs (for 10 species) 之累積風險 (Cumulative Cancer Risk) 百分比分佈
(a) 楠梓站 (b) 小港站

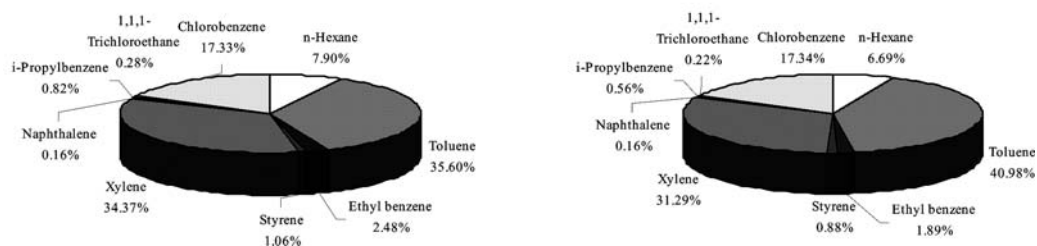


圖 3 非致癌性 HAPs (for 9 species) 之總危害指標 (THI) 百分比分佈

二、HAPs 風險評估之時段變化分析

以盒型圖探討致癌及非致癌 HAPs 物質之累積致癌風險值及總危害指標之日時段變化。圖 4 為 10 種具致癌之 HAP 物質於各採樣時段之累積致癌風險值之變化。由於兩測站於中午時段 (13-16) 因光化反應及大氣擴散狀況較佳 (Lai 等, 2004), 故累積致癌風險值明顯都較上午 (07-10) 及夜間 (18-21) 為低。在小港站之上午時段 (07-10) 之第 50 百分位值 (50th) 為約楠梓站的 2 倍, 其餘中午及夜間時段累積致癌風險值差異不大, 但楠梓站之平均數 (Mean) 及第 50 百分位值 (50th) 略高於小港站。

而圖 5 為 HAPs 之 9 種非致癌物質於各採樣時段之總危害指標 (THI) 之變化。在兩測站中午時段亦是三時段中之最低, 除中午時段楠梓站之平均數 (Mean) 及第 50 百分位值 (50th) 略高於小港站外, 在上午及夜間時段反而小港站值較高。其中午時段之風險值於楠梓站及小港站都明顯偏低, 除上述原因外, 氣象因子之風向亦為影響因子之一, 相關討論於下節中探討。

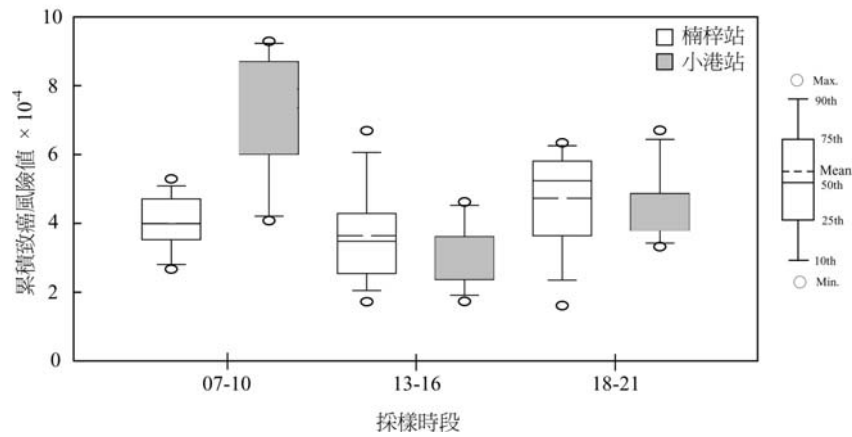


圖 4 楠梓站及小港站於上午 (07-10)、中午 (13-16) 及傍晚 (18-21) 之累積致癌風險值 (for 10 species) 變化圖

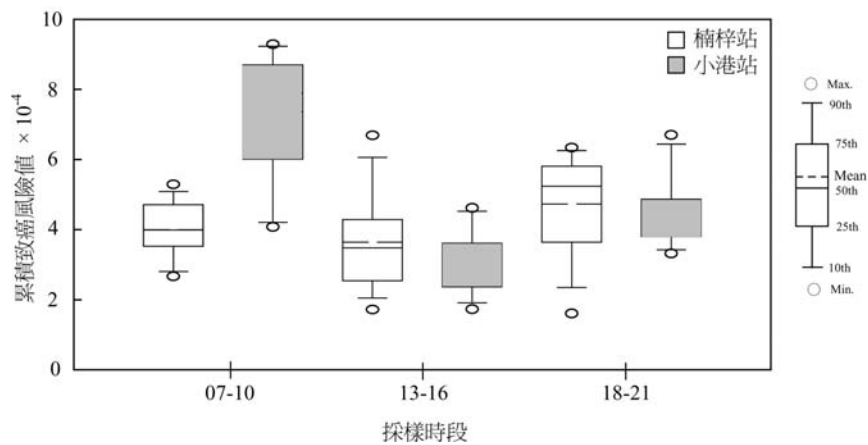


圖 5 楠梓站及小港站於上午 (07-10)、中午 (13-16) 及傍晚 (18-21) 之 THI (for 9 species) 變化圖

三、HAPs 風險與風向之分析

高雄市位於台灣的西半部，會受海陸風之影響。在春季，上午時段盛行風向為北風 (N) 及東北風 (NE) 屬於陸風，而下午到傍晚時段盛行風向為西風 (W)、西南風 (SW) 或西北風 (NW) 屬海風。依據在 Lai 等 (2004) 研究之圖 2 (a) 及 (b) 風玫瑰圖可知，楠梓站上午盛行風向為東北風 (NE)、下午及傍

晚之盛行風向西北西風 (WNW) 及西風 (W)，而小港站上午之盛行風向為北北東 (NNE)、北北西 (NNW) 及東北風 (NE)、下午之盛行風向為西北西 (WNW) 及西風 (W)，而傍晚之盛行風則為北北西 (NNW) 及西風 (W)。由於風向會影響 HAPs 之濃度及特徵結構變化，表 4 及表 5 為本研究兩測站利用變異數分析 (ANOVA) 與 Tukey HSD 法探討在 $\alpha = 5\%$ 顯著水準下之不同風向對 HAPs 風險值之影響。

表 4 顯示楠梓站中風速有顯著差異 ($p < .05$) 的為 NE/W 及 NE/WNW，但在 W/WNW 無顯著差異 ($p < .05$)。HAPs 之 Acrylonitrile、Bromoform、Carbon tetrachloride、Chloroform、Ethyl benzene、n-Hexane、1,1,1-Trichloroethane、1,2-Dichloropropane、Toluene、Trichloroethylene、Vinyl chloride 及 Xylene 等化合物在各風向之風險值並無顯著差異 ($p > .05$)。其餘 HAPs 化合物除在 W/WNW 外，都有顯著差異。而表 5 顯示小港站之風速，在所有的方向是有顯著差異 ($p < .05$)，但 HAPs 之風險值僅在 W/WNW 無顯著差異。

綜觀上述，NE 或 NNE 之風向主要為高雄市之陸風及來自台南縣市之方位，而 W 及 WNW 之風向主要為海風 (參考圖 1)。高雄市在春季上午時段之風向為東北風 (陸風) 進而轉變至下午及傍晚時段之西風及西北風 (海風)。因此，在下午時段之最佳大氣擴散狀況 (混合層較高) 結合乾淨之海風可使得此時段之 HAPs 濃度較其他時段為低，使風險值有顯著差異。

表 4 楠梓站 ANOVA 分析 HAPs 化合物與風向變化之 p-value ($\alpha=0.05$)

化合物	風向			
	Overall	NE/W	NE/WNW	W/WNW
Benzene	.029**	.009**	.028**	.823
Acrylonitrile	.243	.320	.278	.995
Bromoform	.572	.805	.929	.548
Carbon tetrachloride	.720	.887	.953	.701
Chlorobenzene	.000***	.003**	.001**	.897
Chloroform	.509	.478	.762	.875
Ethyl benzene	.791	.998	.882	.832
i-Propylbenzene	.048*	.232	.038*	.618
1,2-Dichloroethane	.001**	.008**	.001**	.637
n-Hexane	.627	.685	.657	.999
1,1,1-Trichloroethane	.074	.062	.284	.674
Tetrachloroethylene	.014**	.025**	.026**	1.000
Naphthalene	.005**	.051	.004**	.515
1,2-Dichloropropane	.205	.389	.194	.887
Styrene	.001**	.003**	.001**	.901
Toluene	.133	.111	.475	.618
Trichloroethylene	.692	.909	.917	.667
Vinyl chloride	.810	.924	.972	.796
Xylene	.141	.142	.265	.925

* p<.05; **p<.01; ***p<.001

表 5 小港站 ANOVA 分析 HAPs 化合物與風向變化之 p-value ($\alpha=0.05$)

(b)小港	風向			
	Overall	NE/W	NE/WNW	W/WNW
化合物				
Benzene	.012**	.066	.010*	.693
Acrylonitrile	.000***	.000***	.000***	1.000
Bromoform	.000***	.000***	.000***	1.000
Carbon tetrachloride	.142	.644	.123	.473
Chlorobenzene	.000***	.000***	.000***	.997
Chloroform	.030*	.097	.029*	.836
Ethyl benzene	.126	.898	.139	.260
i-Propylbenzene	.193	.974	.237	.293
1,2-Dichloroethane	.000***	.000***	.000***	.921
n-Hexane	.548	.990	.590	.640
1,1,1-Trichloroethane	.000***	.001**	.000***	.770
Tetrachloroethylene	.048*	.138	.046*	.847
Naphthalene	.181	.257	.210	.991
1,2-Dichloropropane	.270	.996	.395	.306
Styrene	.015*	.107	.012*	.585
Toluene	.116	.541	.097	.502
Trichloroethylene	.048*	.225	.039*	.631
Vinyl chloride	.000***	.002**	.000***	.764
Xylene	.304	.937	.320	.469

* p<.05; **p<.01; ***p<.001

四、因素分析結果

利用 KMO 指標分析本研究之 HAPs 變數間是否適合因素分析探討楠梓站及小港站之污染來源。由表 6 及表 7 可知，楠梓站及小港站之 KMO 值分別為 0.64 與 0.55 都大於 0.5，表變數間適合因素分析，且兩測站之 Bartlett's Test of Sphericity 之 p value < .05 亦表示其相關係數足以作為因素分析抽取因素之使用。

表 6 為楠梓站小時平均值之因素分析結果，並以因素負荷 (Factor Loading, FL) 大於 0.750 之變數作為污染源的判斷化合物，共選取 4 個因素 (特徵值 < 1 者捨棄)。因素 1 (Factor 1) 解釋 45.578 %；因素 2 (Factor 2) 解釋 16.077 %；因素 3 (Factor 3) 解釋 15.009 %；因素 4 解釋 6.914 %，4 個因素共解釋污染源 83.568 %。因素 1 中具高度相關之化合物為 Benzene (B)、Ethyl benzene (E)、i-Propylbenzene、n-Hexane、Styrene、Toluene (T)、Xylene (X)，這些化合物都是與移動源與石化產品、汽油及原油之揮發排放相關 (Ho 等, 2002; Lai 等, 2004)，且 BTEX 物種亦是過去研究交通隧道及道路之移動源排放相關化合物 (Chen, Lai, & Ho, 2003; Fraser, Cass, & Simoneit, 1998; Grosjean, Rasmussen, & Grosjean, 1998; Gertler, Fujita, Pierson, & Wittorff, 1996; Rogak, Pott, Dann, & Wang, 1998; Zielinska & Fung, 1994)，故因素 1 與移動源排放物種具高度相關，命名為移動源相關排放。因素 2 主要化合物是 1,2-dichloroethane 與 1,2-dichloropropane，屬聚氯乙烯 (PVC) 製程原料，故命名為塑膠製程相關排放。因素 3 主要化合物為 Carbon tetrachloride、Chlorobenzene 及 Tetrachloroethylen 與乾洗業 (指紋編號：0085) 及原料溶劑使用 (指紋編號：1075) 有關 (EPA, 2002b)，命名為溶劑使用/逸散相關排放。因素 4 主要化合物為 Acrylonitrile、Chloroform、1,1,1-Trichloroethane、Trichloroethylene 及 Vinyl chloride，與塑膠及合成樹脂製程相關 (吳立言, 2002)，命名為塑膠相關製程排放。

表 7 為小港站小時平均值之因素分析結果，並以因素負荷 (Factor Loading) 大於 0.750 作為污染源之判斷化合物，共分析出 3 個因素 (特徵值 < 1 者捨棄)。因素 1 (Factor 1)，解釋 52.314 %；因素 2 (Factor 1)，解釋 17.163 %；因素 3 (Factor 3)，解釋 11.248 %，3 個因素共解釋污染源 80.725 %。因素 1 中具高度相關之化合物為 Benzene、Ethyl benzene、n-Hexane、Styrene、Toluene 及 Xylene，與楠梓站之因素 1 化合物相似，俾命名為移動源相關排放。因素 2 主要化合物為

Acrylonitrile 與塑膠製程有關，而 Chlorobenzene 及 Tetrachloroethylene 由上述可知與溶劑使用/逸散有關 (EPA, 2002b)，命名為塑膠製程與溶劑使用/逸散相關排放。因素 3 主要化合物為 Carbon tetrachloride、Chloroform、Trichloroethylene，與塑膠製程排放化合物具高度相關 (吳立言, 2002)，命名為塑膠相關製程排放。

表 6 楠梓站 HAPs 之因素分析結果

Factor Loadings (Varimax raw)				
Extraction: Principal components				
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy. (KMO) : .64				
Bartlett's Test of Sphericity : ***p < .001				
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Benzene	.857	-.155	.159	.221
Acrylonitrile	.421	.215	.138	.750
Bromoform	-.021	.688	.313	.115
Carbon tetrachloride	.063	.513	.752	.097
Chlorobenzene	.426	-.071	.805	.003
Chloroform	.346	.141	-.230	.787
Ethyl benzene	.802	-.082	-.106	.473
i-Propylbenzene	.816	-.107	.356	.194
1,2-Dichloroethane	-.347	.765	.029	.327
n-Hexane	.782	-.006	-.104	.440
1,1,1-Trichloroethane	.113	.136	-.116	.905
Tetrachloroethylene	.207	.095	.895	-.021
Naphthalene	.144	-.080	.579	.523
1,2-Dichloropropane	.110	.940	-.015	.059
Styrene	.805	-.162	.483	.115
Toluene	.756	.297	.361	.242
Trichloroethylene	.412	.016	.165	.878
Vinyl chloride	.172	.158	.384	.829
Xylene	.789	.392	.283	.256
Eigenvalue	8.658	3.055	2.852	1.314
% Total variance	45.568	16.077	15.009	6.914
Cumulative %	45.568	61.645	76.654	83.568

Factor loading 粗體字表示 > .75

表 7 小港站 HAPs 之因素分析結果

Factor Loadings (Varimax raw)			
Extraction: Principal components			
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy. (KMO) : .55			
Bartlett's Test of Sphericity : ***p < .001			
	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Benzene	.841	.440	.132
Acrylonitrile	.135	.925	.176
Bromoform	.437	.344	.645
Carbon tetrachloride	.080	.080	.917
Chlorobenzene	.174	.845	.252
Chloroform	.445	-.008	.823
Ethyl benzene	.935	.042	.182
i-Propylbenzene	.683	-.150	.552
1,2-Dichloroethane	.548	.543	.411
n-Hexane	.933	-.011	.124
1,1,1-Trichloroethane	.430	.357	.632
Tetrachloroethylene	-.103	.857	-.044
Naphthalene	-.482	.371	.640
1,2-Dichloropropane	-.509	.014	-.177
Styrene	.838	.286	.312
Toluene	.901	.274	.165
Trichloroethylene	.541	.647	.174
Vinyl chloride	.337	.318	.797
Xylene	.963	.005	.173
Eigenvalue	9.940	3.261	2.137
% Total variance	52.314	17.163	11.248
Cumulative %	52.314	69.477	80.725

Factor loading 粗體字表示 > .75

結 論

本研究 19 種 HAPs 中，10 種致癌物質於楠梓站與小港站之累積致癌風險值分別為 4.12×10^{-4} 及 4.95×10^{-4} ，已超過致癌風險標準值(10^{-6})。楠梓站中佔累積致癌風險值百分比比較高之化合物為 Benzene、Arcylonitrile 及 Vinyl chloride，而小港站為 1,2-Dichloroethane、Arcylonitrile 及 Benzene。因此，兩測站之累積致癌風險值百分比在前三大致癌 HAPs 特徵化合物是有差異的。另外，9 種之非致癌 HAPs 於楠梓站與小港站之 THI 值分別為 4.07×10^{-1} 及 4.44×10^{-1} ，都未超過 1，表示無立即對人體健康產生危害。且兩測站中佔 THI 值百分比比較高之化合物都為 Toluene、Xylene 及 Chlorobenzene，表示兩測站在非致癌物質 HAPs 特徵化合物是相似的。

為有效降低高雄市居民之致癌風險，依因素分析(FA)之綜合結果可知，兩測站之 HAPs 污染源主要為移動源、塑膠相關製程及溶劑使用/逸散。參考 Lai, Chen, Ho, Peng, and Chou (2005)研究指出，移動源佔高雄市總 HC 之排放為 13.1%-56.4%、塑膠製程佔 3.18%-7.24%及溶劑使用/逸散佔 3.73%-10.85%，此類污染源是高雄市 HC 排放源百分比之前三大，故高雄市 HAPs 之污染源值得未來重視與管制。

誌 謝

本研究經費為行政院國家科學委員會計畫 (NSC 93-2211-E-110-04 及 NSC 94-2211-E-166-009) 之補助，特此申謝。

參考文獻

- 中國電子時報（1997，05月22日）。仁武、林園石化區易致癌。2005年9月29日取自中國電子時報網站 http://www.gcaa.org.tw/env_news/199705/86052202.htm
- 田浚致（2004）。利用空氣擴散模式模擬石化工業區致癌性污染物之濃度及推估居民之致癌風險（碩士論文，國立成功大學，2004）。全國博碩士論文資訊網，093NCKU5520002。
- 杜宗禮（1997）。臺灣地區氯乙烯作業人員之暴露與肝癌相關性研究（博士論文，國立台灣大學，1997）。全國博碩士論文資訊網，86NTU00058003
- 吳雨圭（1990）。臺灣地區氯乙烯聚合作業工人之健康調查（碩士論文，國立台灣大學，1990）。全國博碩士論文資訊網，79NTU02058010。
- 李昌翰（2004）。台灣地區揮發性有機污染物之時空分佈及健康風險評估（碩士論文，國立台灣大學，2004）。全國博碩士論文資訊網，092NTU05539010。
- 林怡汝（2000）。揮發性碳氫氯化物對呼吸道的影響（碩士論文，慈濟大學，2000）。全國博碩士論文資訊網，089TCU00229008。
- 陳順宇（2000）。多變量分析。台北：華泰書局。
- 闕大順（2000）。年輕族群白血病與石化相關暴露之流行病學研究-以高密度石化工業區為例之病例對照研究（碩士論文，高雄醫學大學，2000）。全國博碩士論文資訊網，89KMC00058010。
- 吳立言（2002）。高雄地區固定源揮發性有機物指紋及光化反應潛勢之探討（碩士論文，國立中山大學，2002）。全國博碩士論文資訊網，90NSYS5515002。
- Bartlett, M. S. (1951). The goodness of fit of a single hypothetical discriminat function in the case of several groups. *Annals of Eugenics*, 16, 199-214.
- Borbon, A., Locoge, N., Veillerot, M., Galloo, J. C., & Guillermo, R. (2002). Characteristics of NMHCs in a French urban atmosphere: overview of the main sources [Electronic version]. *The Science of the Total Environment*, 292, 177-191.
- Caldwell, J. C., Woodruff, T. J., Morello-Frosch, R., & Axelrad, D. A. (1998). Application of health

- information to hazardous air pollutants modeled in EPA's cumulative exposure project [Electronic version]. *Toxicology and Industrial Health*, 14, 429-454.
- California Office of Environment Helth Hazard Assessment (COEHHA). (2002a). *Hot Spots United Risk and Cancer Potency Values 2002*. Retrieved May 2004, from Web site: http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/pdf/TSDlookup2002.
- California Office of Environment Helth Hazard Assessment (COEHHA). (2002b). *All Chronic Reference Exposure Levels Adopted by OEHHA as of September 2002*. The original list of hazardous air pollutants http://www.oehha.ca.gov/air/chronic_rels/AllChrels.htm.
- California Office of Environment Helth Hazard Assessment (COEHHA). (2005). *All Chronic Reference Exposure Levels Adopted by OEHHA as of February 2005*. The original list of hazardous air pollutants http://www.oehha.ca.gov/air/chronic_rels/AllChrels.html.
- Chameides, W. L., Fehsenfeld, F., Rodgers, M. O., Cardelino, C., Martinez, J., & Parrish, D., et al. (1992). Ozone precursor relationships in the ambient atmosphere [Electronic version]. *Journal of geophysical research*, 97, 6037-6055.
- Chen, K. S., Lai, C. H., & Ho, Y. T. (2003). Source profiles and ozone formation potentials of volatile organic compounds in three traffic tunnels in Kaohsiung, Taiwan. *Journal of Air and Waste Management Association*, 53, 102-112.
- Fraser, M. P., Cass, G. R., & Simoneit, B. R. T. (1998). Gas-phase and partical-phase organic compounds emitted from motor vehicle traffic in a Los Angeles roadway tunnel. *Environmental Science and Technology*, 32, 2051-2060.
- Gertler, A. W., Fujita, E. M., Pierson, W. R., & Wittorff, D. N. (1996). Apportionment of NMHC tailpipe emission in the fort McHenry and Tuscarora Mountain Tunnels. *Atmospheric Environment*, 30, 2297-2305.
- Grosjean, E., Rasmussen, R. A., & Grosjean, D. (1998). Ambient levels of gas phase pollutions in Porto Alegre, Brazil. *Atmospheric Environment*, 32, 3371-3379.
- Guo, H., Wang, T., & Louie, P. K. K. (2004a). Source apportionment of ambient non-methane hydrocarbons in Hong Kong: Application of a principal component analysis/absolute principal compound scores (PCA/APCS) receptor model [Electronic version]. *Environmental Pollution*, 129, 489-498.

- Guo, H., Wang, T., Simpson, I. J., Blake, D. R., Yu, X. M., Kwork, Y. H., Li, Y. S. (2004b). Source contributions to ambient VOCs and CO at a rural site in eastern China [Electronic version]. *Atmospheric Environment*, 38, 4551-4560.
- Ho, K. F., Lee, S. C., & Chiu, G. M. Y. (2002). Characterization of selected volatile organic compounds, polycyclic aromatic hydrocarbons and carbonyl compounds at a roadside monitoring station [Electronic version]. *Atmospheric Environment*, 36, 57-65.
- International Agency for Research on Cancer (IARC). (2002). IARC Monographs Programme on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans 2002. (<http://monographs.iarc.fr/>)
- Kaiser, H. F. (1960). The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*, 20, 141-151.
- Kaiser, H. F. (1970). A second-generation Little Jiffy. *Psychometrika*, 35, 401-415.
- Kaiser, H. F. (1974). Little Jiffy, Mark IV. *Education and Psychometrika*, 30, 1-14.
- Lai, C. H., Chen, K. S., Ho, Y. T., & Chou, M. S. (2004). Characteristics of C2-C5 hydrocarbons in the air of urban Kaohsiung, Taiwan [Electronic version]. *Atmospheric Environment*, 38, 1997-2011.
- Lai, C. H., Chen, K. S., Ho, Y. T., Peng, Y. P., & Chou Y. M. (2005). Receptor modeling of source contributions to atmospheric hydrocarbons in urban Kaohsiung, Taiwan [Electronic version]. *Atmospheric Environment*, 39, 4543-4559.
- Nelson, P.F., & Quigley, S.M. (1982). Non-methane hydrocarbons in the atmosphere of Sydney, Australia [Electronic version]. *Environmental Science and Technology*, 16, 650-655.
- Risk Assessment Advisory Committee (1996). *A review of the California Environmental Protection Agency's risk assessment practices, policies, and guidelines: appendix B*. Published by the office of environmental health hazard assessment, California Environmental Protection Agency.
- Rogak, S. N., Pott, U., Dann, T., & Wang, D. (1998). Gaseous emissions from vehicles in a traffic tunnel in Vancouver, British Columbia. *Journal of Air and Waste Management Association*, 48, 604-615.
- Tam, B. N., & Neumann, C. M. (2004). A human health assessment of hazardous air pollutants in Portland, OR. *Journal of Environmental Management*, 73, 131-145.

- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (1986). Guidelines for carcinogen risk assessment. *Federal Register*, 51, 33992-34003 (EPA/630/R-00/004).
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2002a). *US air pollution boosts cancer risk*. Retrieved September 01, 2005, from Web site:
<http://news2.ngo.org.tw/php/ens.php?id=02060302>
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2002b). *SPECIATE 3.2*. Retrieved September 01, 2005, from Web site:
<http://www.epa.gov/ttn/chief/software/speciate/>
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2003a). *Clean Air Act 2003*. Retrieved April 2004, from Web site: <http://www.epa.gov/ora/caa/contents.html>
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2003b). *Integrated Risk Information System 2003*. Retrieved April 2004, from Web site:
<http://cfpub.epa.gov/iris/>
- Zielinska, B., & Fung, K. K. (1994). The Composition and concentration of hydrocarbons in the range of C2 and C18 emitted from motor vehicle. *The Science of the Total Environment*, 146, 281-288.

Health Risk Assessment and Emission Source of Hazardous Air Pollutants in Kaohsiung City

Chia-Hsiang Lai Kang-Shin Chen Pei-Chun Tsa

Abstract

Data of 19 hydrocarbon species of 71 HC in C₂-C₁₅ from previous measurement in Kaohsiung (Lai, Chen, Ho, & Chou, 2004) were defined as Hazardous Air Pollutants (HAPs) by U.S. Environmental Protection Agency (EPA) (USEPA, 2003), the risk assessment was investigated, and the emission source was analyzed. Eight carcinogenic HAPs of mean cancer risk levels except Bromoform exceeded the 1×10^{-6} risk level by more than 3-100 times, including Benzene, Chloroform, Carbon Tetrachloride, Vinyl chloride, 1,2-Dichloroethane, Trichloroethylene, Tetrachloroethene, Acrylonitrile, and 1,2-Dichloropropane at Nan-Chie site. Nine carcinogenic HAPs of 19 HC mean cancer risk (2.67×10^{-6} - 1.19×10^{-4}) also exceeded the 1×10^{-6} risk level at Hsiung-Kong site. Through the ANOVA analysis, the results showed the top three percent cumulative cancer risk of carcinogenic HAPs characteristic compounds were significant in two sampling stations, but non-carcinogenic HAPs were similar. Factor analyses show that motor vehicle exhaust, plastic product process, and solvents used/fugitive emission are the top three percentage source of HAPs in Kaohsiung city. These emission source will be worthy to be paid attention and managed in the future.

Key words : HAPs, Health Risk Assessment, ANOVA, Factor Analysis.

