

# 作業環境中環氧乙烷採樣分析方法 之建立與運用

詹長權 張立德

環氧乙烷(Ethylene Oxide, EtO)為各醫院所普遍使用的消毒氣體,亦是紡織與食品工業中常用的熏蒸劑。長期暴露在此工作環境下的作業者,會引起不良的健康效應,包括致癌性、中樞神經傷害、生殖危害、基因突變、及白內障等。由於法令對作業環境中EtO的濃度要求日益嚴格,為評估EtO在空氣毒性作用方面的影響,發展一套方便、安全且可偵測較低濃度的採樣分析技術實有其必要。本研究即針對作業場所中低濃度的EtO進行探討,嘗試利用熱脫附裝置將採集到的樣本脫附濃縮直接注入氣相層析儀火焰離子偵測器(GC/FID)中分析。空氣樣本的採集是利用低流量幫浦(流速60ml/min)帶動空氣通過充填Carbosieve III吸附劑(600mg)的採樣管,將EtO吸附捕集。分析程序首先是以100℃的溫度將採樣管中的EtO脫附出來,用液態氮將分析樣本冷凝濃縮於冷凝管,再以超高純度氮氣為載送氣體將脫附出來的EtO載送到氣相層析儀中,經長度為60m的Supelcowax 10層析管柱分離後,以火焰離子偵測器(FID)對作業環境中之EtO進行定性、定量之分析。分析測定結果發現,熱脫附裝置的脫附效益可達100%,偵測極限值為1.2 μg(0.03ppm),樣本在-10℃冰箱中可穩定保存9天,故此採樣方法可運用於作業環境中EtO之偵測。至醫院的消毒室現場採樣的結果發現,七個採樣點的EtO濃度雖均合於我國勞委會規定10ppm之標準,但亦高於美國職業安全衛生研究所(NIOSH)之建議值0.1ppm,其中以消毒室內的濃度最高,達1.99ppm,故長期暴露在此環境下作業者,其健康上恐有不良之虞慮。(中華衛誌1996;15(4):346-356)

關鍵字:環氧乙烷,熱脫附裝置

## 前 言

現代社會由於化學工業的蓬勃發展,化學產品在人們日常生活中可說是無所不在

國立台灣大學職業醫學與工業衛生研究所

聯絡人:詹長權

聯絡地址:台北市仁愛路一段一號1447室

聯絡電話:(02)3123456轉8364

傳真:(02)3222362

投稿日期:84年7月

接受日期:85年2月

的,譬如有機溶劑便是工業與日常生活中大量使用的洗劑與溶劑。環氧乙烷(Ethylene oxide,EtO)常被用於對高溫高濕敏感之醫療用品之消毒(1),此外在紡織及食品工業界中亦是常用的熏蒸劑(2)。由於其沸點低(10.5℃),故暴露在此工作環境下之作業者,常有吸入量過多的可能(3)。文獻上已經顯示,環氧乙烷會引起不良的健康效應,包括致癌性(4)、中樞神經性傷害(5)、生殖危害(6)、基因突變(7)、及白內障(8)等,而在高濃度下亦可能引起皮膚及眼睛黏膜的刺激與腸胃道方面的症

狀(9)。由劉氏等人的研究顯示，作業環境中環氧乙烷的濃度約為0.5~60ppm(10)(11)，美國職業安全衛生署(OSHA)自1968年起，經兩次修訂將環氧乙烷容許濃度限制值由50ppm降為1ppm，而我國則至近年來才將環氧乙烷納入空氣中有害物質，並定10ppm為其容許濃度限制值(12)。此外，美國工業安全衛生師協會(ACGIH)亦判定環氧乙烷為"可能的人類致癌因子"(13)。

採集空氣中揮發性有機化合物的方法有許多種，而為了使分析物的濃度能達儀器的偵測極限以上，最常被使用的技術為固體吸附劑吸附法，其優點為成本低、方便、適用範圍大、效果好；且可依採集化合物之物理與化學之不同來選擇較合適之吸附劑，以達最佳之效果。以往此法運用時大多以活性碳管來採集作業場所中空氣的揮發性有機化合物，再以二硫化碳等溶劑來脫附(14)。但上述方法有兩項主要缺點：一方面二硫化碳等溶劑極易經由呼吸道被肺部大量吸收，產生神經系統方面的危害(3)；另一方面由於儀器的限制，只能將脫附溶劑中的一小部分注入至分析儀器中，因而無法降低偵測極限值，以致於無法運用於濃度低或時間短之作業環境樣本。目前對於環氧乙烷的採樣分析，亦多是用活性碳管吸附法，再用氣相層析儀-火焰游離偵測器或電子捕捉偵測器(GC-FID或ECD)來分析其衍生物(10)(15)(16)；或是藉由採樣袋(Tedlar bag)採集樣本，再用GC-FID或GC-PID來分析(17)(18)(19)。以上這些方法均有著耗溶劑、偵測極限偏高及溶劑毒性高的缺點。欲解決這些缺點來偵測環境中低濃度的環氧乙烷，有一種有效的脫附方法為熱脫附法，其主要是利用加熱時將採集到的污染物完全與固體吸附劑分離，並在瞬間濃縮集中，將樣品一次注入儀器中分析，使分析的量能達到儀器之偵測範圍，來量測大氣環境中微量的揮發性有機化合物，期能符合日益嚴格的法規要求。洪氏指出，以熱脫附-氣相層析法採樣分析揮發性有機化合物具有下列四項優點：樣品不須經前處理、分析時不易受溶劑污染之干擾、吸附管可重覆使用、

分析濃度適用範圍足以涵蓋大氣及作業環境中採樣分析之所需(20)。但是由於環氧乙烷本身並不很穩定，當環境溫度超過100℃時，環氧乙烷將會產生熱裂解而變質，因此如何在低溫操作環境下尋求最適當的分析條件，來捕集、脫附、並分析環氧乙烷，便成為本研究亟須克服的問題。

本研究主要是依據詹氏先前對VOCs(Volatile organic compounds 揮發性有機化合物)建立採樣分析方法的研究架構(21)，並參考美國環保署(EPA)的毒性有機化合物分析方法(Compendium of Methods for the Determination Toxic Organic Compounds in Ambient Air, TO-1)(22)中對熱脫附法之一般性要求標準，及美國職業安全衛生研究所(NIOSH)的分析方法手冊(Manual of Analytical Methods)(23)中對EtO採樣分析方法所規定之測試項目，來建立一種作業環境中環氧乙烷的採樣分析方法(16)(19)。並利用主動式採樣法，建立乙個作業場所之現場測試值。

## 實驗步驟

本研究主要是依據詹氏先前建立VOCs採樣分析方法的程序及參數，並同時參考美國環保署TO-1的方法及我國勞工安全衛生研究所的採樣分析建議參考方法驗證準則，利用Carbosieve當吸附劑來採集大氣中的EtO。並以熱脫附裝置將吸附的EtO脫附出來，直接導入GC/FID中作定性、定量的分析，以建立一套採樣、脫附、濃縮與分析作業環境中EtO的方法。本研究之採樣分析流程主要包括了採樣器的製備和熱脫附裝置與氣相層析儀的溫度、時間和載送氣體流速等變數的測試，以建立一最佳的分析條件。然後進行化合物採樣後的儲存穩定性、分析系統的偵測極限和數據的精確性及準確性等方面之探討。最後並利用主動式採樣法，建立乙個作業場所之現場測試值。

### 一、含標準量採樣管之製備

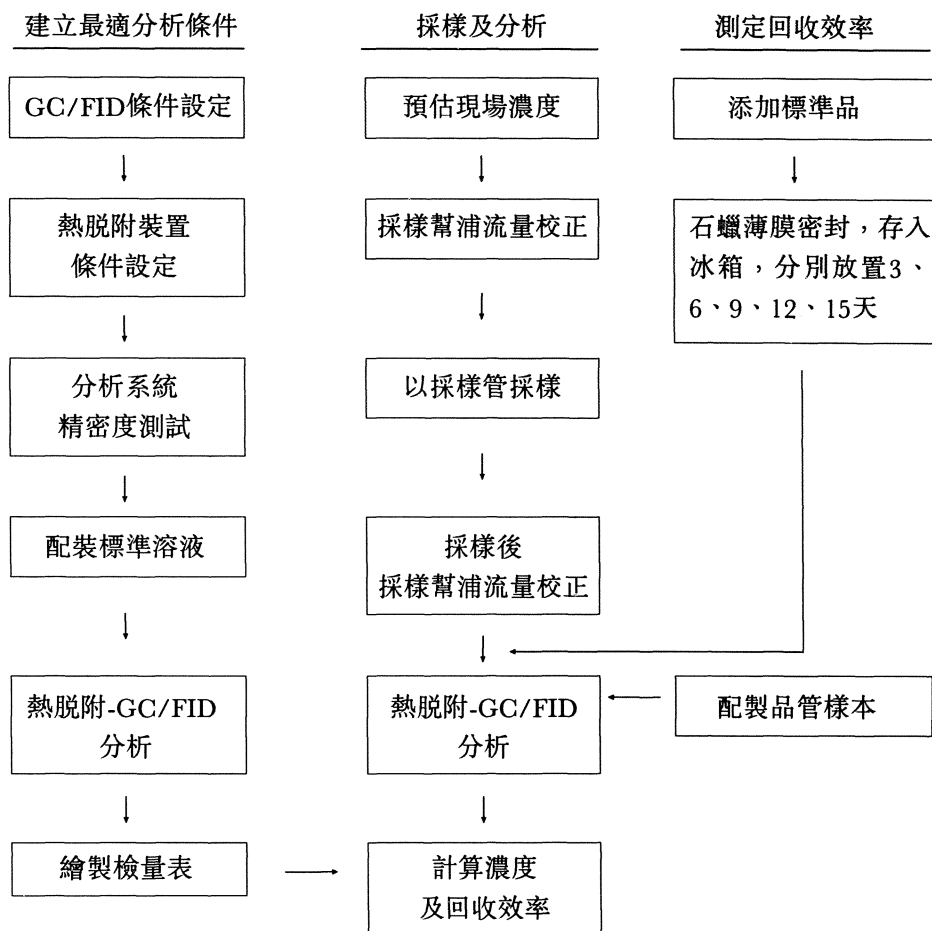


圖1 採樣分析流程圖

因EtO本身的沸點頗低(約11℃)，故在抽取標準溶液時須在低溫環境下操作，以避免誤差的產生。以甲醇當溶劑來稀釋EtO的原標準溶液(濃度50.001mg/ml,純度99.0%，溶劑為甲醇)，以配製不同濃度的標準品，再利用微量注射針抽取不同質量之EtO標準品(分別為80μg、50μg、20μg、10μg、5μg、2μg)，注入通有2ml/min流速的氮氣當載送氣體之瞬間揮發裝置(Flash evaporation unit)中(溫度維持在約25℃)，使氣態的標準品通過採樣管而被捕集。採樣管則是以長7英吋，外徑1/4英吋的不鏽鋼管填充600mg的吸附劑(Carbosieve III,60/80 mesh)而成的。

分別將製備好含標準量的採樣管放進分析儀器中進行分析，並以其分析結果來製作

各化合物的檢量曲線。

## 二、最適分析條件之建立

本研究分析使用的儀器設備主要有：熱脫附裝置(Tekmer 6000)和氣相層析儀(GC-FID,HP 5890)二大部份來進行吸附與分析的程序。因分析條件的好壞影響到結果的準確性，以下是各部份設定的過程和步驟：

### (1)層析管柱的選擇及GC/FID條件的設定：

首先於GC/FID測試氣相層析儀分離欲分析化合物的主要分析條件，例如比較各種不同極性、管徑與長度的層析管柱之分離效果、載送氣體流速的調整、輔助氣體的流量和升溫程式的測試……等，使能在較佳的分

離狀況下調整各條件以儘量縮短分析的時間。計測試Rtx5(30m\*0.25mm\*1.0um 5% diphenyl-95% Dimethyl Polysiloxane)及Supelcowax 10 (60m\*0.25mm\*0.25um)兩支層析管柱。測試的試劑是以由EtO標準溶液所稀釋而得的高、中、低濃度之EtO。

#### (2)熱脫附裝置條件的設立步驟：

熱脫附條件測試時面臨的主要問題是如何使待分析化合物從採樣管中完全脫附出來進入分析儀器中分析，而不會殘留在採樣管或儀器的管路上，同時也不會因過高的操作溫度而使環氧乙烷變性，故脫附及捕集溫度的選擇極為重要。測試的方法主要是取一添加已知濃度標準品的採樣管放入熱脫附機中進行第一次的脫附分析步驟，當分析步驟完成後不取出原採樣管，而再進行一次同條件的脫附分析，比較第一次與第二次的積分面積結果來調整脫附條件，直至使第二次的積分面積降為0%(各化合物的分析結果皆低於偵測極限)為止。

### 三、分析系統準確度測試

取50  $\mu$ g的標準液添加入採樣管中，再將此採樣管放入熱脫附裝置中加熱脫附後分析，求得的結果由檢量曲線換算成濃度。重複測試數次後計算其結果的準確性與儀器之精密密度。

### 四、樣本儲存穩定性的測試

測試是以常溫保存及冷凍保存兩種方式實施，利用瞬間揮發裝置來添加50  $\mu$ g的標準溶液到採樣管中，共配製測試樣本23個。配製當天馬上分析3個樣本，剩下20個樣本分成兩組，每組各10個樣本，一組在室溫遮光保存之，另外一組則冷凍(-10 $^{\circ}$ C)保存，以後每3天各取出2個樣本來分析；為能有效控制實驗室分析時的狀況，每次於開始分析前皆需先以添加10  $\mu$ g標準品的採樣管來測試儀器的分析狀況，當測出的數值在一般數值的20%以內者即可接受，若反應強度差異在20%以上時，則須重新製作檢量曲線。將每組每次

測試所得之平均值相對於第一天之測試值，求常態化之相對值，取相對測試值(Relative Response Factor, RRF)為80%或120%時之對應天數為樣本可穩定儲存之天數。

### 五、實際應用在現場採樣分析

為了評估作業場所環氧乙烷的濃度，將此套採樣、分析方法實地運用在作業場所中，並測試現場使用之可行性。

#### (1)採樣時間與模式：

本現場採樣是在1995年5月時進行，地點為台北市某教學醫院。從該醫院消毒室安全衛生之初步訪查(Walkthrough)中得知，現場的環境狀況為：該消毒室計有2個環氧乙烷消毒鍋及4個環氧乙烷曝氣鍋。其消毒流程依序為：器材以PE包裝一置入消毒鍋一預熱一滅菌一抽氣一開鍋取出器材一置入曝氣鍋一拿出消毒完畢之器材一分類一各手術房領回，由其中作業程序推測工作人員在由消毒鍋取出器材置入曝氣鍋時，可能會有較高的暴露量。而該消毒室的工作時間從每天下午14：30開始，於15：30將器材置入消毒鍋，17：30將器材由消毒鍋移至曝氣鍋，並於隔天早上06：00取出並分類。本次採樣由5月22日下午15：00時開始，於當日21：00時結束，共計採樣6小時，以期能涵蓋可能的高暴露作業時間。在採樣點的設置方面，因採樣當日使用1號消毒鍋及2號曝氣鍋，故在此兩個鍋之前面各設置一個採樣點，此外在消毒室內(兩消毒鍋之間)、及環氧乙烷氣體供應區各設置二個採樣點，在消毒室門外亦設置一個採樣點，總計有七個採樣點，十二個現場樣本(含對照組一個及破出實驗三個樣本)。各點均以腳架架設在離地約1公尺左右之高度。

#### (2)採樣及分析方法：

採樣乃利用前面所建立的方法來採集、分析作業環境中的環氧乙烷。採樣裝置是由不鏽鋼管製成的採樣管，連接一個低流量的採樣幫浦(Gillian Instrument Corp., Model LFS 113DC)組合而成的，採樣流速均控制在

60ml/min，採樣時間為6小時(為確保研究的品質，採樣幫浦均已在事前校正完畢，並於採樣過程中每小時觀察一次讀數，以確認流速的穩定，而取採樣前、後的流速平均值為本次的採樣流速)。將採集的EtO脫附出來，直接導入GC/FID中作定性、定量的分析，以特定的滯留時間(Retention time)來作環氧乙烷的定性確認，而以反應強度的面積來換算出所採集到環氧乙烷的量。

(3)品質管制：

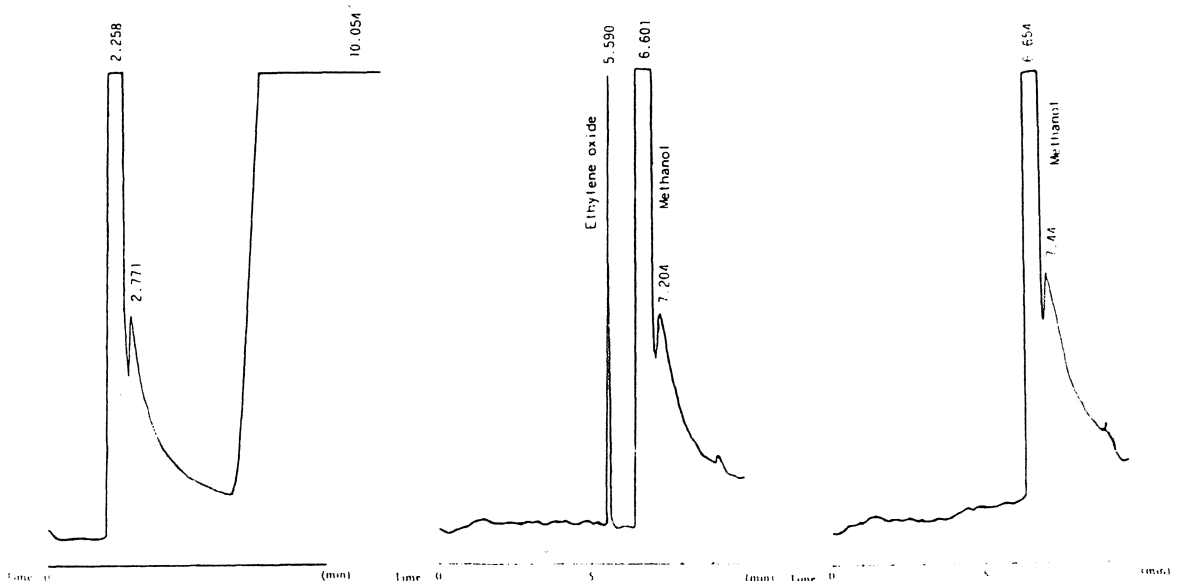
本次採樣製作了三組品質保證與品質控制(QA/QC)控制試驗樣本。1)空白試驗樣本(Blank test)，即準備現場採樣數目的10%的採樣管做為空白實驗用，以瞭解採樣管在準備、運送、保存與分析過程中是否遭受污染。由於本次採樣樣本數很小，故各取1支採

樣管作為實驗室空白試驗(Lab-blank)及現場採樣空白試驗(Field-blank)用。2)對照試驗樣本(Duplicate test)，在現場取一個採樣點作對照試驗組。3)破出體積測試(Breakthrough Volume, BTV)，在可能有較高暴露濃度的地方，將兩支採樣管串聯起來，以了解採樣管是否有破出現象發生，共計有四支採樣管。

結果與討論

一、最適分析條件之建立

在選用適當層析管柱時，主要是依分析圖譜中環氧乙烷與溶劑(甲醇)分離效果的好壞與滯留時間的長短為評估標準。當測試各管柱時，將其餘的條件(如升溫程式、載送氣體流速……等)均控制一定來進行測試。在比



測試條件：Carrier gas flow：2ml/min  
 Makeup gas flow：30ml/min  
 Oven temp：70℃  
 Detector temp：100℃  
 Transfer temp：50℃  
 1st Trap temp：-160℃  
 Sample desorb temp：100℃(15min)  
 Crvofocus temp：-150℃  
 Trap dosorb temp：100℃(5min)

(1) Rtx-5毛細管柱

測試條件：Carrier gas flow：2ml/min  
 Makeup gas flow：30ml/min  
 Oven temp：70℃  
 Detector temp：100℃  
 Transfer temp：50℃  
 1st Trap temp：-160℃  
 Sample desorb temp：100℃(15min)  
 Crvofocus temp：-150℃  
 Trap dosorb temp：100℃(5min)

(2) Supelcowax 10 毛細管柱

測試條件：Carrier gas flow：2ml/min  
 Makeup gas flow：30ml/min  
 Oven temp：70℃  
 Detector temp：100℃  
 Transfer temp：50℃  
 1st Trap temp：-160℃  
 Sample desorb temp：100℃(15min)  
 Crvofocus temp：-150℃  
 Trap dosorb temp：100℃(5min)

(3) Supelcowax 10 毛細管柱(僅注入甲醇)

圖2 不同層析管柱之層析圖譜

較Rtx-5與Supelcowax 10兩支層析管柱來分析EtO標準品及甲醇所得之分析圖譜後發現，以Supelcowax 10之層析管柱來分離極性頗高之環氧乙烷效果較佳(參見圖2)。

熱脫附裝置的脫附過程是利用高溫脫附的方式將採樣管中之環氧乙烷完全趕出，再利用兩段式的冷凝與濃縮步驟將脫附出來的環氧乙烷集中注入GC/FID中進行分析。其脫附的時間、溫度、冷凝的溫度和載送氣體的流速等對進入分析儀器入口的量影響很大。為能得到最佳的分析結果，故須著重各變項之測試，測試圖譜請參見圖3。

整個系統分析首先由熱脫附裝置抽取液態氮到第一段冷凝管使之冷卻至-160℃，接著採樣管外圍的加熱爐開始急速加熱至100℃持續脫附15分鐘，載送氣體(超高氮)的流速控制在10ml/min，將脫附出來的待分析物趕到第一段冷凝管中冷凝下來。再抽取液態氮到第二段冷凝管將之冷卻至-150℃後，即把第一段冷凝管加熱到100℃，使冷凝下來的物質再次揮發成氣體，經轉移管轉移到第二段冷凝管後再被冷凝濃縮。轉移管的溫度保持在50℃，使環氧乙烷能完全從第一段趕到第二段冷凝管而不會變性。最後再將第二段冷凝管迅速加熱到90℃，使環氧乙烷瞬間汽化注入GC/FID中進行分析(整個脫附系統的條件設定請參見表1)氣相層析儀之入口溫度設定為90℃，管柱之起始溫度為70℃保持10分鐘，再以30℃/min的速度升至200℃保持1分鐘，以清除可能殘留在層析管柱內之物質。載送氣體的流速控制在2.0 ml/min，輔助氣體的流速控制在30ml/min，GC/FID的偵測溫度設定在100℃。

表1 熱脫附裝置之設定條件

Program Parameter	50℃
Line Temp	-160℃
Sample Desorb	100℃
Sample Desorb Time	15min
CryoFocus Temp	-150℃
Trap Desorb	100℃
Trap Desorb Time	5min

環氧乙烷的滯留時間經5次測試後之平均值為5.576min，標準差為0.034min，絕大多數的樣本均分布在正負1.5個標準差之內。

## 二、檢量曲線的製定

製定檢量曲線時，分別將製備好含標準量的採樣管放進儀器中進行分析，以其注入量與波峰面積之關係來製作環氧乙烷的檢量曲線，所得到之線性方程式為  $Y=2185.1X-1775.4$ ， $R^2=0.9995$ 。在檢量線製定出來之後，為了考慮分析儀器操作時的準確性和再現性，於每天分析樣本前，均須先製備一支含10μg環氧乙烷的品管樣本，依相同的分析程序來進行相對反應係數(Relative Response Factor; RRF)的測試，當測出的數值在一般數值的20%以內者即可接受，若反應強度差異達20%以上時，則須重新製定檢量曲線；本研究的反應強度差異結果均在15%以內。

## 三、分析系統準確性的測試

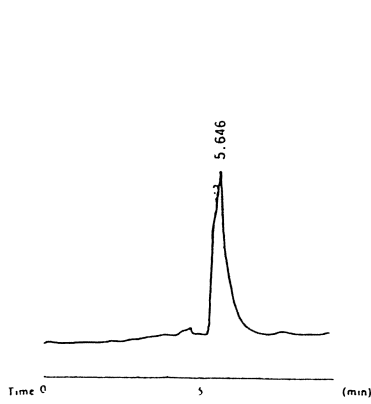
以五次50μg EtO所得之分析系統的穩定性測試結果與實際濃度值差異為0.6μg，變異係數為5%。由此結果可知儀器與方法的準確性和精密性頗佳。

## 四、最低偵測極限的測定

儀器分析方法最低偵測極限的測定是取五支空白採樣管分別添加2μg的標準品於管內(因本研究檢量線的最低濃度為2μg，故方法偵測極限的測定取2μg進行)，再將採樣管分別置入儀器中分析，得到環氧乙烷的五個分析反應強度數值並求得數值間的標準差值(SD)，取3.8倍( $t_{.99}(4)=3.8$ )的SD值加上檢量曲線的截距值後，再換算回濃度值即為環氧乙烷的方法最低偵測極限(22)。經計算後，得知環氧乙烷的偵測極限為1.2μg，以60ml/min之流速及6小時之採樣時間換算之偵測極限為0.03ppm。

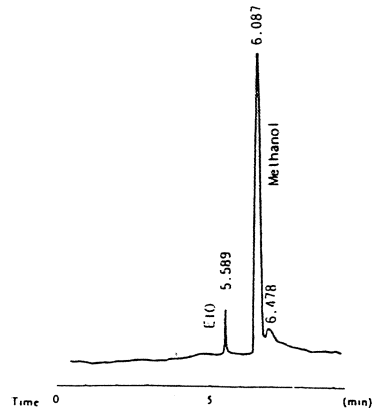
## 五、樣本儲存穩定性的測試

樣本儲存穩定性測試的結果發現，在-10



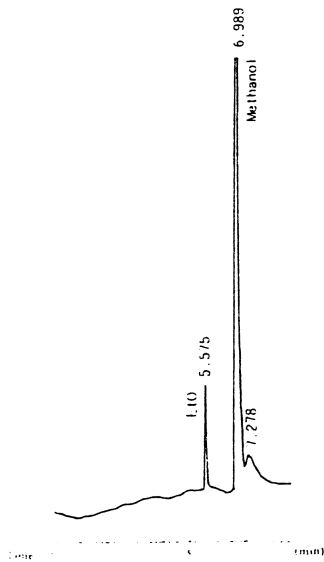
測試條件：Carrier gas flow：2ml/min  
 Makeup gas flow：30ml/min  
 Oven temp：70 ℃  
 Detector temp：100 ℃  
 Transfer temp：50 ℃  
 1st Trap temp：-160 ℃  
 Sample desorb temp：100 ℃( 15min )  
 Crvofocus temp：-150 ℃  
 Trap dosorb temp：100 ℃( 5min )

條件一：EtO與溶劑分不開，出現拖尾與些微雙峰現象



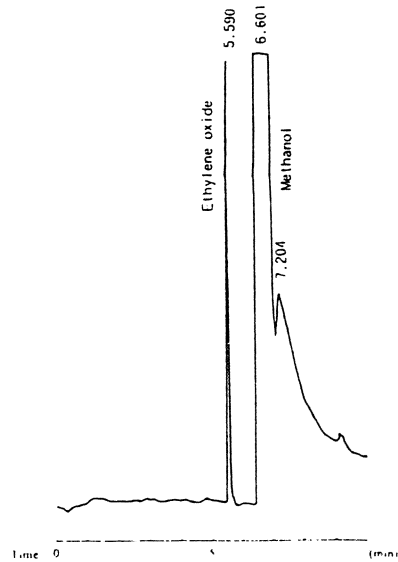
測試條件：Carrier gas flow：2ml/min  
 Makeup gas flow：30ml/min  
 Oven temp：70 ℃  
 Detector temp：100 ℃  
 Transfer temp：50 ℃  
 1st Trap temp：-160 ℃  
 Sample desorb temp：100 ℃( 15min )  
 Crvofocus temp：-150 ℃  
 Trap dosorb temp：100 ℃( 5min )

條件二：單峰略微拖尾且反應強度偏低



測試條件：Carrier gas flow：2ml/min  
 Makeup gas flow：30ml/min  
 Oven temp：70 ℃  
 Detector temp：100 ℃  
 Transfer temp：50 ℃  
 1st Trap temp：-160 ℃  
 Sample desorb temp：100 ℃( 15min )  
 Crvofocus temp：-150 ℃  
 Trap dosorb temp：100 ℃( 5min )

條件三：單峰略微拖尾且反應強度仍低



測試條件：Carrier gas flow：2ml/min  
 Makeup gas flow：30ml/min  
 Oven temp：70 ℃  
 Detector temp：100 ℃  
 Transfer temp：50 ℃  
 1st Trap temp：-160 ℃  
 Sample desorb temp：100 ℃( 15min )  
 Crvofocus temp：-150 ℃  
 Trap dosorb temp：100 ℃( 5min )

( 2 ) Supelcowax 10毛細管柱  
 單尾 些微拖尾

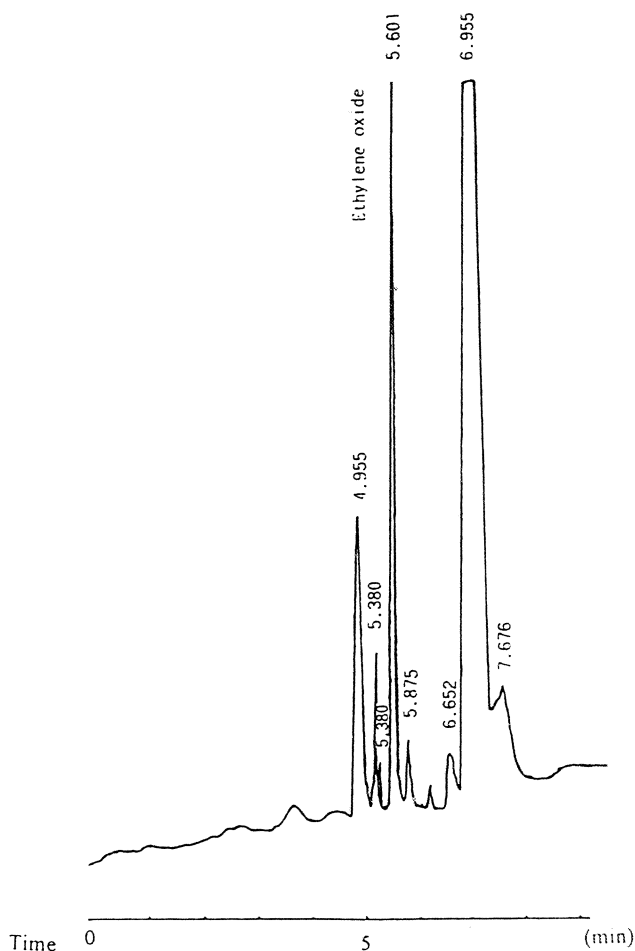
圖3 不同脫附條件之層析圖譜

℃冰箱中保存的樣本可穩定儲存達15天，其相對測試值在15天內均在80%~120%之間；而在室溫中保存的樣本，至多只能存放3天，超過3天其相對測試值將會遠低於80%。

## 六、現場採樣

將此測試出來的技術，實際運用在「北京市某教學醫院消毒室環氧乙烷曝露量之調查」中，本次採樣的所有樣本，均在兩天內分析完畢。首先由實驗室空白實驗樣本(Lab blank)及現場採樣空白實驗樣本(Field blank)均無其他雜質可知，採樣管在整個準備、運送、保存及分析過程中應無受到污染之虞。同時由對照試驗組(Duplicate test)的分析結果，環氧乙烷濃度的變異係數在3%以內，顯示本採樣分析方法的精確性頗佳。此外，本實驗因器材的限制，對採樣管的破出體積(Breakthrough Volume, BTV)只能作間接的測試，在推測可能會有較高環氧乙烷濃度的地方，將兩支採樣管串聯起來採樣，看是否有破出現象發生。分析結果發現，四組破出採樣管中，只有環氧乙烷偵測濃度最高的該組採樣管，有破出的現象，而因該破出管的環氧乙烷濃度並未達前端採樣管的30%，故以前後兩支採樣管的濃度總和來代表該點的環氧乙烷濃度。本次採樣的結果發現，消毒室內的環氧乙烷濃度從0.10ppm到1.99ppm不等，即使是在消毒室門外，環氧乙烷濃度亦有0.2ppm，推測其可能原因為在操作時並未將消毒室的門關上之故。而在消毒室內，以位在消毒鍋與曝氣鍋間之採樣點濃度最高，達1.99ppm(其分析圖譜請參見圖4)，而EtO鋼瓶區亦有0.75ppm及0.38ppm的濃度，至於一般推想可能會有頗高濃度的消毒鍋前方，則僅有0.10ppm，推測可能是因為消毒鍋本身的整體換氣效果不錯，故消毒完畢打開消毒鍋時環氧乙烷的濃度很低，然而因為被消毒的器材是包裝在PE袋，環氧乙烷會殘留在PE袋內而漸漸溢散出來，故在將氣消器材由消毒鍋移至曝氣鍋間的作業環境，會有較高濃度的環氧乙烷出現(依序為0.27ppm、1.99ppm、0.15ppm)。綜觀本次的採樣分析結

果，雖然均符合我國現行的法令標準10ppm，但若以我國即將修訂的新標準1ppm來評量，顯然在消毒鍋與曝氣鍋間之作業環境環氧乙烷濃度偏高；而美國職業安全衛生研究所(NIOSH)對環氧乙烷濃度的建議值(REL)為0.1ppm，若依此為據，則該消毒室的環氧乙烷濃度幾乎均遠高於該建議值。



分析條件： Carrier gas flow : 2ml/min  
 Makeup gas flow : 30ml/min  
 Oven temp : 70℃  
 Detector temp : 100℃  
 Transfer temp : 50℃  
 1st Trap temp : -160℃  
 Sample desorb temp : 100℃ (15min)  
 Crvofocus temp : -150℃  
 Trap dosorb temp : 100℃ (5min)

圖4 作業環境樣本之層析圖譜



## 結 論

本研究成功地將偵測作業環境中環氧乙烷的採樣與分析技術建立起來，並實際運用在現場採樣中。利用熱脫附裝置使採集到的樣本經由脫附後集中一次注入分析儀器中，使分析的量能達到最低偵測極限以上，以使用來分析低濃度且短時間採樣的污染物，及符合日益嚴格的法令要求。但本研究在實驗操作上仍有幾項缺點：一是樣品經由熱脫附後即全部進入分析儀器中，因此只能作一次的分析，一旦儀器狀況不穩或人為疏失時，將完全失去此樣本。另一項缺點是冷凝用液態氮消耗量極大，一桶40kg的液態氮鋼瓶約只能分析10個樣本，分析成本相對的提高。再者分析一個樣本費時約一小時，而本套設備並無連續自動進樣的裝置。分析人員必需大半時間長駐在機器旁，極為浪費人力與時間。為使樣本能依需要量的不同而一部份注入分析儀器中分析，其餘部分暫時保存備用，在熱脫附裝置上發展一套分流、保存樣本的輔助設備是必需的，且若能將進樣與分析的一連串步驟改為自動化，將有助於此技術之推廣，進而建立作業環境中環氧乙烷狀況的資料庫。另一方面，在作業環境中環氧乙烷易暴露或溢洩出來，故消毒室宜裝設局部排氣裝置，操作人員在操作時打開局部排氣裝置，並且配戴呼吸防護具，如此方能有效地降低環氧乙烷的暴露，同時相關主管單位應廣泛調查各消毒作業場所環氧乙烷的濃度，並督導改善其安全防護裝置及措施，如此方能有效地降低可能的健康危害。

勞工安全研究所提供經費( IOSH84-A )，台大化學所何國榮教授、勞研所汪禧年博士及台大職衛所徐睿女士的協助與指導，使本研究得以能順利完成。

## 參考文獻

1. Vincet DM, Sharon J, Kercher L. Control Technology for Ethylene Oxide Sterilization in Hospitals. DHHS(NIOSH) Pub. No.89-

- 120, (Sep.1989).
2. NIOSH:Current Intelligence Bulletin 35: Ethylene Oxide. DHHS Pub.No. (NIOSH) 81-130(1981).
3. ACGIH:Documentation of The Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, 5th, 1986.
4. Leitman SF, Boltansky, H, Althr HJ, etal: Allergic Reactions it Healthy Plateletpheresis Donors Caused by Sensitization to Ethylene Oxide Gas. N.Engl.J.Med. **315(19)**: 1192-1196(1986).
5. Estrin WJ, Bowler RM, Lash A, Becker CE: Neurotoxicological Evaluation of Hospital Sterilizer Workers Exposed to Ethylene Oxide. J.Toxicol.Clin.Toxicol. 1990; **28(1)**: 1-20.
6. Florack EI, Zielhuis GA: Occupational Ethylene Oxide Exposure and Reproduction. Int.Arch.Occup.Environ.Health 1990; **62(4)**: 273-77.
7. Dellarco VL, Generoso WM, Sega GA, Fowle JR: Review of the Mutagenicity of Ethylene Oxide. Environ.Mol.Mutage 1990; **16(2)**: 85- 103.
8. Jay WM, Swift TR, Hull DS: Possible Relationship of Ethylene Oxide Exposure to Cataract Formation. Am. J. Ophthalmol 1982; **93**: 727-732.
9. NIOSH: Special Occupational Hazard Review with Control Recommendations-- Use of Ethylene Oxide as a Sterilant in Medical Facilities. DHHS(NIOSH) Pub. No. 77-200,1989.
10. 陳明宏、劉紹興、徐尚為、林春蓮：醫院氣體消毒工作人員環氧乙烷曝露與基因傷害的監視。中華衛誌 1992,**11(3)**。
11. 林世昌、黃勝凱、陳伍仁、吳雨圭：北部某醫院空氣環氧乙烷及笑氣濃度之調查研究。1995年作業環境測定技術研討會，行

- 政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，民國83年11月。
12. 勞工作業環境空氣中有害物質容許濃度標準，行政院勞工委員會，民國77年6月。
  13. ACGIH:1994-1995 Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices
  14. NIOSH standard method 1500,1984; 1501,1984 ;1003,1987.
  15. Zey JN, Mortimer VD, and Elliott LJ :Ethylene Oxide Exposure to Hospital Sterilization Workers from Poor Ventilation Design. APPL.OCCUP.ENVIRON.HYG.9(9) .Sep.1994
  16. Puskar MA and Hecker LH :Field Validation of Passive Dosimeters for the Determination of Employee Exposures to Ethylene Oxide in Hospital Product Sterilization Facilities. American Industry Hygien Association Journal. 1989; **50(1)**: 30-36.
  17. Cummins K, Burroughs GE, Tremblay J,A Field Comparison of Methods for Monitoring Ethylene Oxide Concentration. Appl. Occup. Environ. Hyg. 8(5). (May,1993).
  18. Puskar MA, Szopinski FG., Hecker LH: Development and Validation of a Protocol for Field Validation of Passive Dosimeters for Ethylene Oxide Excursion Limit Monitoring. AM. IND.HYG.ASSOC.J. 1991; **52(4)**: 145-150.
  19. Cummins KJ, Schultz GR, Lee JS, Nelson JH, and Reading JC: The Development and Evaluation of a Hydrobromic Acid-coated Sampling Tube for Measuring Occupational Exposures to Ethylene Oxide. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1987; **48(6)**: 563-573.
  20. 洪益夫:熱脫附-氣相層析法採樣分析揮發性有機化合物。勞工安全衛生研究季刊1993; **1(2)**。
  21. 詹長權、林守香、何國榮:大氣中揮發性有機化合物以Tenax吸附採樣GC/MS 分析方法之探討。化學:第51卷第3期 ; Sept.,1993.
  22. Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air. EPA.600/4-89/017,U.S.EPA. Research Triangle Park,(June,1988).
  23. NIOSH:NIOSH Manual of Analytical Methods 1614, 4th Edition, 1994.

## THE DEVELOPMENT AND APPLICATION OF A SAMPLING AND ANALYTICAL METHOD FOR ETHYLENE OXIDE

CHANG-CHUAN CHAN LI-TE CHANG

Ethylene Oxide (EtO) is widely used to sterilize of heat-sensitive and moisture-sensitive materials in hospitals. It is also used as a fumigant in the textile and food industries. EtO is found to be a carcinogen, therefore, its permissible exposure level is lowered in recent years. It becomes necessary to develop new sampling and analytical methods of measuring EtO at low concentrations in order to estimate potential health effects from EtO. This study is designed to develop a sampling and analytical method for measuring EtO exposures at ppm levels. We have successfully demonstrated that a sampling Carbosieve III sampling tube (600mg) and a low-flow pump (60ml/min for 6 hours) is able to collect enough amounts of EtO. The adsorbed EtO can be thermally desorbed by a thermal desorption unit and be analyzed by a GC/FID system (HP5890). In analysis, EtO was first thermally desorbed at 100 °C (Tekmar Inc., Model 6000)

from Carbosieve and then cryogenically focused by liquid nitrogen at -150 °C and finally carried into a 60m long Supelcowax 10 capillary column for separation and a flame ionization detector for identification and quantification. For EtO, the desorption efficiency of thermal desorber was 100 %, the detection limit was 1.2 µg (0.03ppm), and the storage stability was 15days at -10 °C in the refrigerator. A field study of samples, that were obtained from a hospital sterilization facility, showed that EtO concentration did not exceed the standard of an 8-hour average of 10ppm regulate by the Council of Labor Affairs (CLA). However, these levels exceeded the standard of 0.1ppm recommended by the NIOSH. So, workers exposed to ethylene oxide in long terms may have a variety of adverse effects in health. (*Chin J Public Health (Taipei)*: 1996; 15(4): 346-356)

**Key words:** ethylene oxide, thermal desorption unit

---

Institute of Occupational Medicine and Industrial Hygiene, College of Public Health, Nation Taiwan University.