

論文

汽車修理廠作業勞工異氰酸鹽暴露方法測定之研究

毛義方¹ 陳美蓮² 陳怡如² 鄭淑芳³ 李聯雄³
陳秋蓉³ 陳成裕³ 林志鴻^{2,3}

¹ 中山醫學大學健康管理學院職業安全衛生學系暨碩士班

² 國立陽明大學醫學院環境與職業衛生研究所

³ 勞動部勞動及職業安全衛生研究所

摘要

聚胺基甲酸酯(Polyurethane, PU)產品廣泛應用於汽車工業，然而，其原料異氰酸鹽(Isocyanate)已被證實會導致呼吸道疾病及氣喘。本研究以包覆型濾紙採樣器(收集總異氰酸鹽)以及兩片式雙層濾紙採樣器(同時收集氣態與氣膠態的異氰酸鹽)於汽車修理廠進行環境中異氰酸鹽(2,6-toluene diisocyanate, 2,6-TDI、2,4-toluene diisocyanate, 2,4-TDI、1,6-hexamethylene diisocyanate, HDI、4,4-methylene bisphenyl isocyanate, MDI與1,6-hexamethylene diisocyanate biuret trimer, HDI-BT)的現場採樣，瞭解其作業勞工的暴露現況，以及氣態與氣膠態的分佈，並進行兩種採樣器現場採樣結果之比較，以提出較佳的採樣裝置建議。

本研究選取三家汽車修理廠，於噴漆與研磨作業區域同時放置兩種採樣器進行採樣，所使用之衍生試劑為9-甲基胺甲基-蒽(9-(N-methylaminomethyl)anthracene, MAMA)，並於採樣完成後以high performance liquid chromatography /fluorescence detector進行分析。

三家汽車修理廠的研究結果發現，若以包覆型濾紙採樣器的採樣結果來看，在噴漆作業HDI的最高濃度為 $9.72\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、2,6-TDI為 $4.09\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、2,4-TDI為 $55.76\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、MDI為 $12.02\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，以上均出現在A廠，而HDI-BT則是以B廠量測到的濃度為最高，其濃度為 $31.20\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；研磨作業則各異氰酸鹽之濃度分別為 $4.81\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $2.01\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $6.17\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $5.78\mu\text{g}/\text{m}^3$ 與 $11.32\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，最高濃度亦均出現在A廠。

現場採樣結果之比較，顯示無論在噴漆與研磨作業區域，若以包覆型濾紙採樣器所採集的濃度為基準，其兩片式雙層濾紙採樣器在A、B、C三廠各異氰酸鹽的採集濃度僅在50%以下。此外，不論是噴漆或研磨作業，HDI、2,6-TDI與2,4-TDI皆是以氣態為主，而MDI與HDI-BT則是以氣膠態為主。

民國103年2月5日投稿，民國103年4月25日修改，民國103年5月6日接受。

通訊作者：林志鴻，勞動部勞動及職業安全衛生研究所，電子信箱：mimic2200@mail.iosh.gov.tw。

因此，就總異氰酸鹽的濃度而言，三家汽車修理廠皆是以包覆型濾紙採樣器所採集的濃度最高，但是此採樣器的缺點是無法區隔氣態與氣膠態的濃度。反之，兩片式雙層濾紙採樣器雖能有效的將氣態與氣膠態的濃度分開，但在高流量、高濕度與長時間的採樣下，氣膠態的濃度會被明顯低估，故於作業環境現場量測時，建議使用包覆型濾紙採樣器採集總異氰酸鹽類並搭配兩片式雙層濾紙採樣器採集氣態與氣膠態的濃度，且建議將採樣時間儘量縮短，以反應作業現場實際濃度，作為異氰酸鹽類相關作業場所危害控制之參考。

關鍵詞：異氰酸鹽類、包覆型濾紙採樣器、兩片式雙層濾紙採樣器、汽車修理廠

前言

聚胺基甲酸乙酯(Polyurethanes，以下簡稱PU)，已長時間廣泛使用於硬式泡棉、塗料、膠粘劑、彈性體和各種亮漆等製造工業產品中[1-2]。在汽車工業中，主要應用於各種清漆、彈性泡沫及車體外部塗裝等[3]。

異氰酸鹽類種類很多，包括TDI、MDI及HDI等，主要是以mono-，di-，及poly-isocyanates的形式存在。TDI及MDI大約佔了PU原料的90%，以HDI製成的硬化劑與塗料更是全世界汽車廠與油漆塗料不可或缺之材料。



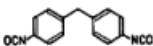

然而，在PU的製造與使用過程中均會導致異氰酸鹽逸散至空氣中，對作業勞工產生健康危害。低分子量的異氰酸鹽在PU的製造過程中易揮發，會造成吸入蒸氣的危害。高分子量

的異氰酸鹽雖較不易揮發，但在PU的使用過程中，如噴塗作業，則會產生氣膠，或工作環境溫度較高時，同樣會有吸入性的危害[4]。

流行病學之研究結果也說明種種的呼吸道疾病，如氣喘、肺功能損害和肺炎等皆與異氰酸鹽類的暴露有關[1-3]。估計有5~10%暴露於異氰酸鹽類的員工會產生職業性氣喘，對於高度暴露的員工而言，則將會更嚴重。

國內外學者的研究更指出，勞工在工作場所中暴露到異氰酸鹽會刺激皮膚、黏膜、眼及呼吸道，其主要的影響是造成過敏性氣喘，其次是接觸性皮膚炎及過敏性肺炎。若暴露時間過長或反覆不斷地暴露皆可能造成不可逆的肺功能與肺彈性下降，同時會導致肺泡間質性纖維化[5-10]。而動物實驗已證實2,4-TDI會導致胰臟癌、肝癌及乳癌，被國際癌症中心(IARC)

表1 異氰酸鹽類的物化與危害特性

中文名稱	英文縮寫	分子量	結構式	沸點 (°C)	熔點 (°C)	蒸氣壓 (mmHg, 25°C)	容許標準	暴露症狀	致癌性
二異氰酸甲苯 (toluene diisocyanate)	2,4-TDI	174.9		251	3-5	0.025	我國最高容許濃度標準： 0.005 ppm OHS最高容許濃度標準： 0.02 ppm ACGIH TLV-TWA：0.005 ppm STEL-TLV：0.02 ppm	1. 吸入蒸氣霧濃度超過0.5 ppm會刺激呼吸道，高濃度會引起化學性支氣管炎、肺發炎、肺積水，甚至死亡。 2. 眼睛被液體濺到會引起眼淚分泌，嚴重刺激會導致角膜混濁。 3. 皮膚接觸液體會引起皮膚刺激感。 4. 食入會引起口腔、喉嚨及胃組織的刺痛及腐蝕。	IARC： Group 2B (對人類可能有致癌性之物質) 2,6-TDI已被確定為致突變劑
	2,6-TDI								
二異氰酸二苯甲烷 (4,4-methylene bisphenyl isocyanate)	MDI	251.5		194-199	37-38	1.4×10^{-4}	我國最高容許濃度標準： 0.02 ppm OHS最高容許濃度標準： 0.02 ppm NIOSH最高容許濃度標準： 0.02 ppm ACGIH TLV-TWA：0.0005 ppm	眼睛和鼻子刺激、喉嚨乾和疼痛、流鼻水、呼吸急促、氣喘、喉頭炎、眼睛流淚和不舒服、皮膚刺激、嘴、喉嚨和消化道的刺激與腐蝕	IARC： Group 3 (對人類的致癌性尚無法被分類)
六甲烯基二異氰酸鹽(1,6-hexamethylene diisocyanate)	HDI	168.8		213-255	-67	1.05	我國容許濃度標準： TLV-TWA：0.005 ppm STEL-TLV：0.015 ppm NIOSH最高容許濃度標準： 0.02 ppm ACGIH TLV-TWA：0.0005 ppm	灼熱感、胸悶、呼吸短促或困難、咳嗽、喉嚨乾燥或疼痛、支氣管肺炎、噁心、嘔吐、腹痛、結膜炎	IARC：-

列為Group 2B，屬疑似人類致癌物(Possibly carcinogenic to humans)；而2,6-TDI則是已被確定為致突變劑(Mutagen)。各異氰酸鹽類的物化特性與暴露危害，如表1所示。

有鑒於異氰酸鹽的暴露會對相關作業勞工產生顯著的健康危害，美國工業衛生師協會(ACGIH)將2,4-TDI的TLV-TWA標準訂為0.005 ppm，STEL-TLV為0.02 ppm，MDI與HDI的TLV-TWA亦皆為0.005 ppm，但未建立STEL-TLV值[10]；美國職業安全衛生署(OSHA)則訂0.02 ppm為TDI與MDI的最高容許濃度標準[10]；而美國國家職業安全衛生研究所(NIOSH)亦將MDI與HDI的最高容許濃度標準訂為0.02 ppm[10-11]。此外，英國、澳洲、紐西蘭與南非，皆將2,4-TDI的TLV-TWA標準皆訂為0.02 ppm，STEL-TLV為0.07 ppm[12]。而加拿大對於TDI與MDI之標準訂定則與美國ACGIH相同[12]。至於我國關於異氰酸鹽的管制，則分別訂定TDI與MDI的最高容許濃度標準為0.005 ppm和0.02 ppm；而HDI的TLV-TWA標準為0.005 ppm，STEL-TLV為0.015 ppm[13]。

現今已發展出多種方法可監測空氣中的芳香族和脂肪族之異氰酸鹽類。其中，較常用者是以玻璃纖維濾紙裱敷衍生試劑吸附異氰酸鹽，亦為國內採集總二異氰酸甲苯之標準方法。此法是使用兩片式濾紙採樣器並放置一張玻璃纖維濾紙進行採樣，但研究發現其捕集效率並不高[14]。此外，也有研究使用衝擊瓶採樣器進行採樣，然而最大的問題為細小微粒的收集效率不如預期。因此，國內陳氏等人[14]改良我國TDI標準採樣分析方法，將原本的採樣器改為包覆型濾紙採樣器，以增加TDI採樣效率，使原本2,4-TDI與2,6-TDI的捕集效率從59.96和63.50%大幅提昇至89.35與94.33%。

不過研究指出在汽車修理廠中，塗敷於

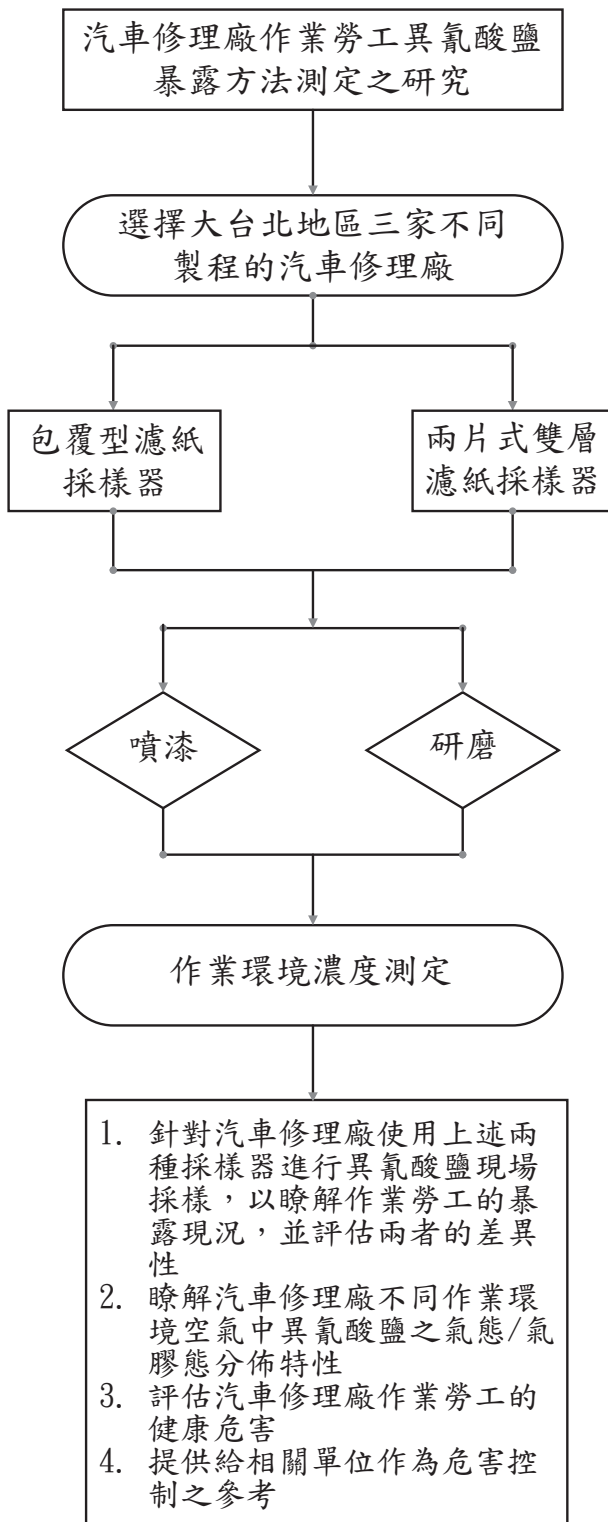
車體上的PU塗料或車體其他PU材質會在修車過程中，因切割、研磨、焊接與熱解等程序，大量逸散到空氣中[3]。同時根據現場調查更發現，異氰酸鹽會同時以氣態(Gas)與氣膠態(Aerosol)的形式存在於空氣中，兩者在呼吸道的沉積位置不同。基於在汽車噴漆中使用量大之HDI被懷疑具有致癌性、車體材質及塗料中的TDI及MDI具高致敏性且異氰酸鹽單體的危害性較大等因素，瞭解汽車修理廠作業勞工的暴露有其必要性。

目前國內外法規、標準所規定之濃度皆是以總異氰酸鹽表示，至於針對氣態與氣膠態的採樣，目前僅有兩片式雙層濾紙採樣器，可有效採集兩者之異氰酸鹽，但由於異氰酸鹽的吸力大，會黏附於兩片式採樣器的內壁上進而造成採樣上的損失，同時前置的鐵氟龍濾紙可能會吸附氣態之異氰酸鹽進而導致氣膠態濃度被高估。因此，了解異氰酸的氣態/氣膠態濃度分佈有其必要性。有鑒於此，本研究針對全台灣車輛密度最高的大台北地區選擇三家汽車修理廠之作業勞工為研究對象，於噴漆與研磨等相關作業區域使用包覆型濾紙採樣器和兩片式雙層濾紙採樣器進行環境空氣中異氰酸鹽(2,6-TDI、2,4-TDI、HDI、MDI與HDI-BT)的現場採樣，以瞭解作業勞工的暴露現況。同時評估異氰酸鹽氣態/氣膠態之濃度，並進行兩種採樣器現場採樣結果之差異分析，以作為危害控制之參考。本研究架構如圖1。

研究方法

1. 採樣策略

依據台灣汽車修理工業同業公會顯示，全台灣目前登記有案的汽車修理廠約有400家，大台北地區因機動車輛密度為全台之冠，汽車



修理廠高達全台1/3以上，故本研究選取北區三家汽車修理廠進行作業勞工暴露調查，針對汽車修理廠中噴漆與研磨作業兩種主要作業區域之勞工，以包覆型濾紙採樣器及兩片式雙層濾紙採樣器同時進行個人環境採樣，以了解兩者間的差異及勞工的暴露現況。選取之三家工廠其空間特性與作業流程分述如下：

- (1) A廠：該廠作業區域屬於密閉式空間，噴漆房設置於2樓。在噴漆作業時至少會噴塗5道以上的漆料，但設置於噴漆房中的空氣置換設備是緩慢將空氣由上往下吹送；至於該廠的研磨作業區域則是位於廠房後方的密閉空間裡，同時廠區內並無設置局部排氣設備。
- (2) B廠：該廠作業區域屬於半密閉式空間，其噴漆與研磨作業皆設置於1樓。噴漆作業時約噴塗2-3道的漆料，但設置於噴漆房中的空氣置換設備是快速地將空氣由下往上吹送；至於該廠的研磨作業區域則是位於廠房中間的區域，並設有局部排氣設備。
- (3) C廠：該廠作業區域屬於開放式空間。噴漆作業時通常只進行一道漆料噴塗，且設置於噴漆房中的空氣置換設備是快速地由上方往下方吹送，並在下方設有一強力抽取風扇，以利空氣置換；至於該廠的研磨作業區域則是位於廠房前方靠近停車場附近的開放空間，並有裝置適當的局部排氣設備。

三廠除了噴漆作業之勞工有時會佩戴一般的防塵或活性碳口罩外，其餘之勞工皆無佩戴呼吸防護具，且在此兩種作業區域之勞工皆無佩戴適當的防護手套。

2. 研究方法

(1) 採樣前之準備

本研究使用的衍生試劑為1.0 mg/mL MAMA (MAMA : Toluene = 1 : 1)，是將500 mg MAMA溶於100 mL之甲苯溶液中並加入10 mL的甘油，用超音波震盪器震盪5分鐘，製成5.0 mg/mL之裱敷試劑。取0.5 mL裱敷劑均勻的裱敷於玻璃纖維濾紙上，經風乾後加蓋，貯存於室溫之乾燥箱內一天後取出，作為空氣樣本採集用之濾紙。

(2) 採樣收集

本研究於2004年1月至2月，針對台北三家汽車修理廠進行作業環境採樣，在A廠噴漆與研磨兩種作業區域分別各採集7次與11次；B廠各為5次與10次；至於C廠則各採集8次與10次。本研究於各廠作業環境的採樣位置，如圖2所示。

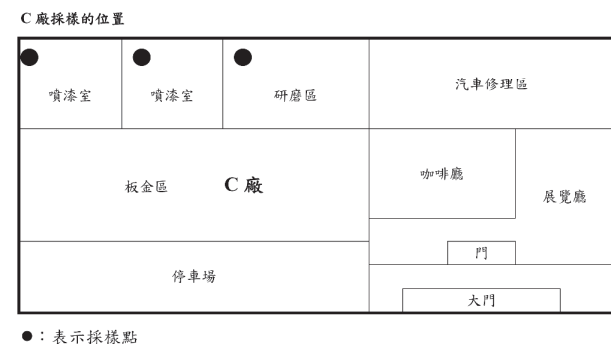
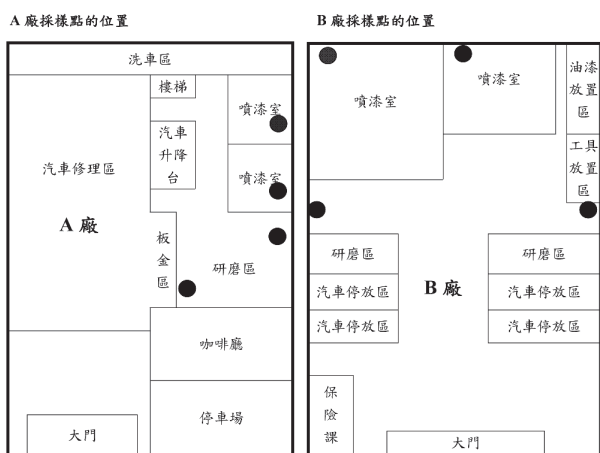


圖2 各廠採樣點之位置

以包覆型與兩片式雙層濾紙採樣器同時收集汽車修理廠中不同作業區域之異氰酸鹽以了解勞工的暴露現況，並進行氣固態特性之評估。本研究針對兩種濾紙採樣器的裝置說明如下：

A. 包覆型濾紙採樣器(2-piece (closed) filter cassette with inner wraparound filters) [15]：是使用裱敷衍生試劑的玻璃纖維濾紙(其直徑為37 mm，濾紙孔徑為1.0 μm)，將採集面之對側匣中（即氣流入口側之片匣內）加放一張裱敷濾紙，並在該濾紙的中心位置（即氣流入口處）打洞以便讓氣流順利進入，最後濾紙匣的中間環帶則是使用已裱敷並裁成條狀的玻璃纖維濾紙進行包裹，使整個濾紙匣的內壁均被濾紙所覆蓋。採樣裝置如圖3所示。

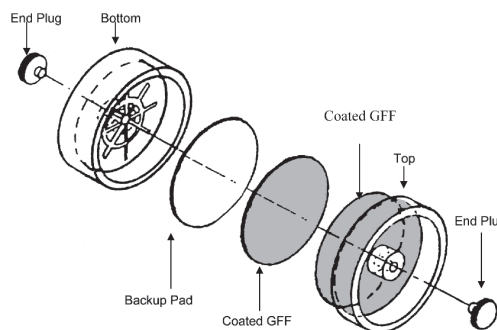


圖3 包覆型濾紙採樣器

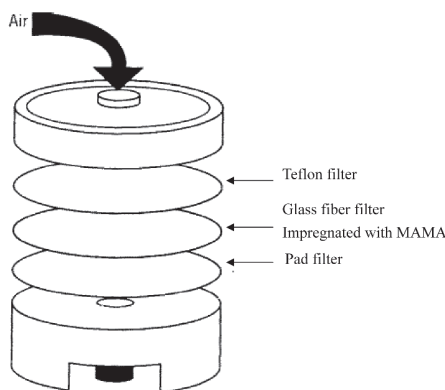


圖4 兩片式雙層濾紙採樣器

B. 兩片式雙層濾紙採樣器(2-piece (closed) filter cassette with double filters)[16]: 由兩層濾紙所構成，上層是使用直徑37 mm，濾紙孔徑 2.0 μm的鐵氟龍濾紙，而下層則是使用與包覆型濾紙採樣器相同的玻璃纖維濾紙。鐵氟龍濾紙是用來採集氣膠態的異氰酸鹽，而玻璃纖維濾紙則用來採集氣態的異氰酸鹽。採樣前，上層鐵氟龍濾紙不裱敷衍生試劑，下層玻璃纖維濾紙則裱敷0.5 mL的衍生試劑。採樣後，將上層鐵氟龍濾紙放入衍生劑中衍生後加以脫附，下層則直接放到脫附劑中進行脫附。採樣裝置如圖4所示。

本研究將已在實驗室調理並裝配好的包覆型與兩片式雙層濾紙採樣器於勞工作業時同時夾在其衣領上，並將採樣流速設為1.0 L/min，採樣時間約為60分鐘，且配合勞工作業情形而做適當調整。採樣前、後均以流量校正器進行校正。

進行個人採樣之同時，也以電子式溫溼度計測定作業環境之溫度及相對溼度，並記錄現場通風方式、勞工作業內容等。

(3) 採樣分析

採樣完畢後立即將採樣器內的玻璃纖維濾紙放置於2.0mL甲苯脫附，鐵氟龍濾紙則放置於1.0mg/mL之MAMA衍生試劑內進行衍生。樣本運送回分析實驗室後，立即將其置於Vortex震盪器上搖動60分鐘，靜置後，再加入0.1N HCl 1.0mL搖動5分鐘，抽取上清液1.0mL，且用氮氣吹乾，並加入1.0mL的ACN/H₂O = 60/40 (v/v)，於7天內以high performance liquid chromatography (HPLC)/ fluorescence detector完成分析。

(4) HPLC的分析條件

將待測分析物之激發波長設定為254 nm，發射波長設為414 nm。使用之分離管柱為Luna RP-8管柱。詳細的分析條件如表2：

表2 MAMA衍生物之分析條件

儀器 管柱	HPLC/fluorescence detector		
	Phenomenex [®] RP-8，長25cm×內徑4.6mm， 填充物粒徑5 μm		
	ACN (%)	H ₂ O Buffer (%)	Time (min)
移動相(H ₂ O Buffer 含3% triethylamine，以磷酸調整至 pH=3.0)	60	40	0
	60	40	25
	70	30	30
	70	30	45
	60	40	50
	60	40	60
流率	常溫下，1.0 mL/min		
偵測波長	激發波長：254nm 發射波長：414nm		
注射體積	10μL		

(5) 空氣中異氰酸鹽類濃度之計算

先將分析採樣所得之異氰酸鹽類波峰面積經檢量線換算成測得之濃度(μg/mL)，並計算採集的異氰酸鹽類總量後，再以公式(1)計算採樣空氣中異氰酸鹽類濃度。

$$\text{濃度}(\mu\text{g}/\text{m}^3) = \text{測得之量}(\mu\text{g}) \times 1000 \div [\text{流量}(\text{L}/\text{min}) \times \text{採樣時間}(\text{min})] \dots\dots\dots (1)$$

(6) QA與QC

A. 異氰酸鹽之MAMA衍生檢量線

2,6-TDI與HDI檢量線濃度範圍為6.25ng/mL至50.00ng/mL，2,4-TDI與HDI-BT之範圍為31.25ng/mL至500.00ng/mL，MDI則是由18.75ng/mL至300.00ng/mL，其r²值均大於0.998。

B. 空白分析

將已加入衍生試劑而未添加異氰酸鹽類樣品之玻璃纖維濾紙、鐵氟龍濾紙

作空白分析，結果發現其值皆低於偵測極限以下(N.D.)。

C. 脫附效率

將0.5mg/mL、1.0mg/mL及2.0mg/mL的2,6-TDI、2,4-TDI與HDI之標準品添加於玻璃纖維濾紙上，放入脫附劑中，以Vortex搖動60分鐘脫附後，得到平均之脫附效率分別為108.4%、104.3%及106.4%。

D. 偵測極限

2,6-TDI、2,4-TDI、HDI、MDI與HDI-BT之偵測極限分別為0.2μg/m³、0.2μg/m³、0.16μg/m³、0.08μg/m³與0.1μg/m³。

3. 統計分析

在不同廠區作業環境所採集到的異氰酸鹽濃度皆以算術平均數及其標準差計算。空氣樣本之濃度若低於偵測極限，則以1/2之偵測極限計算。以SPSS 15.0統計軟體進行One-way ANOVA以及事後檢定等推論性統計檢定。

結果

1. 汽車修理廠現場作業訪視

汽車修理廠從研磨至噴漆的工作流程，大致上是將換上鍍鋅鋼板之車輛研磨去銹，之後補上鍍鋅土和塑膠土在研磨整平，進行防銹處理可用菜瓜布進行研磨或擦拭乾磨，在噴塗兩次防銹平整底漆等乾燥後再進行乾式細磨或水磨，上色漆調整噴漆房溫度為60°C，最後在上兩次金油並上臘交車。

研磨作業區域，在進行補土的研磨整平及噴塗防銹平整底漆後的研磨皆會造成異氰酸鹽之逸散，因為根據文獻記載補土的內含物含有大量的HDI和HDI-BT，而防銹平整底漆則含有大量的TDI及MDI[17]。噴漆作業區域，在噴塗色漆與金油時造成異氰酸鹽的逸散，因為色漆與金油之內含物含有大量的TDI、HDI、HDI-BT和MDI [17]。

2. 三家汽車修理廠的濃度暴露

表3 兩種不同採樣器於三家汽車修理廠採集噴漆作業區域空氣中各異氰酸鹽類之濃度

異氰酸鹽類	A廠 (n=7)		p-value ^b	B廠 (n=5)		p-value ^b	C廠 (n=8)		p-value ^b	p-value ^a	
	包覆型濾紙採樣器	兩片式雙層濾紙採樣器		包覆型濾紙採樣器	兩片式雙層濾紙採樣器		包覆型濾紙採樣器	兩片式雙層濾紙採樣器		包覆型濾紙採樣器	兩片式雙層濾紙採樣器
	Mean ± S.D. (range)	Mean ± S.D. (range)		Mean ± S.D. (range)	Mean ± S.D. (range)		Mean ± S.D. (range)	Mean ± S.D. (range)		Mean ± S.D. (range)	Mean ± S.D. (range)
HDI	4.72±2.74 (2.24-9.72)	2.70±1.07 (1.75-4.07)	<0.01**	3.18±1.92 (0.96-5.39)	1.68±1.30 (0.32-3.38)	<0.01**	2.14±1.66 (N.D.-4.34)	0.69±0.30 (N.D.-1.16)	<0.01**	<0.05* A>C ^c	<0.05* A>C, B>C ^c
2,6-TDI	2.39±1.25 (0.92-4.09)	1.55±0.97 (0.43-2.46)	<0.05*	1.89±0.74 (1.39-3.18)	0.99±0.20 (0.80-1.24)	<0.01**	0.59±0.24 (0.21-0.88)	0.33±0.12 (N.D.-0.50)	<0.01**	<0.01** A>B, A>C ^c	<0.01** A>C, B>C ^c
2,4-TDI	22.45±16.71 (1.85-55.76)	6.44±5.19 (2.01-16.45)	<0.01**	1.84±1.38 (0.7-4.21)	1.12±0.88 (0.35-2.63)	<0.01**	1.56±0.61 (0.44-2.46)	0.85±0.46 (0.20-1.40)	<0.05*	<0.01** A>B, A>C ^c	<0.01** A>B, A>C ^c
MDI	7.73±2.49 (4.88-12.02)	4.77±1.25 (3.04-6.48)	<0.01**	4.26±2.34 (2.38-8.20)	2.42±1.43 (1.22-4.79)	<0.05*	1.54±0.44 (0.94-2.11)	1.02±0.49 (0.46-1.94)	<0.05*	<0.01** A>B, A>C ^c	<0.01** A>B, A>C ^c
HDI-BT	10.62±5.61 (4.38-21.36)	5.69±4.24 (2.75-14.95)	<0.01**	14.62±11.78 (2.58-31.20)	4.94±1.56 (N.D.-3.35)	<0.05*	4.52±5.21 (N.D.-15.581)	2.87±2.76 (N.D.-8.28)	0.65	0.25	0.48

^a各廠間之比較使用One-way ANOVA分析(*p<0.05, **p<0.01)

^b各採樣器之比較使用t-test分析(*p<0.05, ** p<0.01)

^c使用Tukey's HSD test進行事後檢定

N.D.樣本以1/2偵測極限代入

表4 兩種不同採樣器於三家汽車修理廠採集研磨作業區域空氣中各異氰酸鹽類之濃度（單位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）

異氰酸鹽類	A廠 (n=10)			B廠 (n=10)			C廠 (n=11)			p-value ^a	
	包覆型濾紙採樣器	兩片式雙層濾紙採樣器	p-value ^b	包覆型濾紙採樣器	兩片式雙層濾紙採樣器	p-value ^b	包覆型濾紙採樣器	兩片式雙層濾紙採樣器	p-value ^b	包覆型濾紙採樣器	兩片式雙層濾紙採樣器
	Mean±S.D. (range)	Mean±S.D. (range)		Mean±S.D. (range)	Mean±S.D. (range)		Mean±S.D. (range)	Mean±S.D. (range)		Mean±S.D. (range)	Mean±S.D. (range)
HDI	2.42±1.49 (0.97-4.81)	1.38±0.59 (N.D.-2.56)	<0.05*	1.08±0.45 (N.D.-1.83)	0.58±0.20 (N.D.-0.83)	<0.01**	0.55±0.26 (N.D.-0.94)	0.27±0.14 (N.D.-0.64)	<0.01**	<0.01** A>B, A>C, B>C ^C	<0.01** A>B, A>C, B>C ^C
2,6-TDI	0.82±0.53 (0.36-2.01)	0.55±0.24 (0.31-1.03)	<0.05*	0.70±0.30 (0.31-1.18)	0.39±0.14 (0.29-0.75)	<0.01**	0.38±0.11 (N.D.-0.55)	0.19±0.06 (N.D.-0.34)	<0.01**	<0.05* A>C, B>C ^C	<0.05* A>C, B>C ^C
2,4-TDI	3.49±1.58 (1.79-6.17)	1.80±0.70 (0.74-2.89)	<0.01**	1.02±0.84 (0.38-2.86)	0.38±0.21 (0.20-0.88)	<0.01**	0.92±0.29 (0.46-1.34)	0.54±0.4 (N.D.-1.42)	<0.05*	<0.01** A>B, A>C ^C	<0.01** A>B, A>C ^C
MDI	4.31±1.06 (2.64-5.78)	2.46±0.99 (0.81-3.89)	<0.01**	2.27±0.98 (1.22-4.34)	1.54±0.51 (0.83-2.50)	<0.05*	1.46±0.44 (1.08-2.59)	1.05±0.30 (0.34-1.41)	<0.05*	<0.01** A>B, A>C ^C	<0.01** A>B, A>C ^C
HDI-BT	5.62±2.79 (3.22-11.32)	2.98±0.58 (2.25-4.20)	<0.01**	2.94±1.33 (1.97-5.78)	1.29±1.26 (N.D.-3.56)	<0.01**	1.42±1.50 (N.D.-3.99)	0.86±0.92 (N.D.-2.33)	0.65	<0.01** A>B, A>C ^C	<0.01** A>B, A>C ^C

本研究針對北區三家汽車修理廠的噴漆與研磨作業區域進行呼吸帶個人空氣採樣，共採集20與31組作業環境暴露樣本。三廠作業場所的氣溫、相對濕度與風速分別為 20.1 ± 2.8 °C、 52.9 ± 17.7 %與 0.15 ± 0.02 m/sec。

就總異氰酸鹽的採樣結果顯示，若以包覆型濾紙採樣器來看，五種異氰酸鹽類除HDI-BT外，均以工廠A的濃度為最高，如表3與表4所示。噴漆作業HDI、2,6-TDI、2,4-TDI與MDI的平均濃度分別為 $4.72 \pm 2.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $2.39 \pm 1.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $22.45 \pm 16.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $7.73 \pm 2.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，至於HDI-BT則是以工廠B的濃度最高，其濃度為 $14.62 \pm 11.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ；研磨作業HDI、2,6-TDI、2,4-TDI、MDI與HDI-BT之平均濃度則分別為 $2.42 \pm 1.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $0.82 \pm 0.53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $3.49 \pm 1.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $4.31 \pm 1.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 與 $5.62 \pm 2.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。至於兩片式雙層濾紙採樣器在噴漆與研磨作業則亦有一致的發現。

研究也指出三家工廠中，除HDI-BT外，其餘作業區域的異氰酸鹽暴露皆有統計上的顯著差異(One-way ANOVA, $p < 0.05$)。無論是包覆型濾紙採樣器或兩片式雙層濾紙採樣器皆有

一致之發現，且大部分都是以A廠顯著高於B廠與C廠(表3與表4)。

3. 兩種採樣器總異氰鹽現場採樣之比較

本研究選取三家汽車修理廠，於噴漆與研磨兩種作業區域同時各放置包覆型與兩片式雙層濾紙採樣器進行採樣，採樣時間約60分鐘，採樣流量為1.0 L/min。

噴漆作業區域的結果如表3所示，若以包覆型濾紙採樣器所採集到的濃度為基準，則兩片式雙層濾紙採樣器在A廠HDI所採集之濃度僅為包覆型濾紙採樣器的 $63 \pm 17\%$ ，2,6-TDI為 $62 \pm 14\%$ ，2,4-TDI為 $31 \pm 23\%$ ，MDI為 $64 \pm 17\%$ ，HDI-BT為 $57 \pm 27\%$ ；B廠則分別為 $48 \pm 12\%$ 、 $57 \pm 16\%$ 、 $61 \pm 13\%$ 、 $57 \pm 13\%$ 與 $53 \pm 31\%$ ；至於C廠則為 $46 \pm 26\%$ 、 $57 \pm 5\%$ 、 $57 \pm 21\%$ 、 $65 \pm 20\%$ 及 $74 \pm 16\%$ 。且經由統計分析(Student's t-test)可知，A廠兩種採樣器於噴漆作業所採集到異氰酸鹽(HDI、2,6-TDI、2,4-TDI與MDI)之濃度，有統計上的顯著差異($p < 0.05$)。以包覆型濾紙採樣器採樣效果較好，而B廠與C廠也有一致的發現。同時本研究也發現，在噴漆作業區域兩種採樣器所採集到

HDI-BT之濃度，在A、B兩廠，亦有統計上的顯著差異($p < 0.05$)，但在C廠則無明顯之差異。

研磨作業區域的結果也指出（如表4所示），如以包覆型濾紙採樣器所採集的濃度為基準，則兩片式雙層濾紙採樣器A廠異氰酸鹽的採集濃度約僅有 55 ± 18 至 $75 \pm 16\%$ 左右，至於B、C兩廠也有相似的發現其採集率僅有 40 ± 35 至 $55 \pm 27\%$ 。然經統計分析發現，在A廠兩種採樣器於此區域所採集到異氰酸鹽(HDI、2,6-TDI、2,4-TDI與MDI)的濃度，具有統計上的顯著差異($p < 0.01$)。以包覆型濾紙採

樣器採樣效果最好，B、C兩廠亦有一致的發現。此外，在研磨作業區域兩種採樣器所採集到HDI-BT之濃度，A、B兩廠，經由t-test分析皆具有顯著差異($p < 0.01$)，其結果亦與上述相同，但在C廠兩種採樣器在該區域所採集到的濃度則並無明顯之差異。

因此，不論是噴漆與研磨作業之區域，皆是以包覆型濾紙採樣器所採集到的濃度最高，兩片式雙層濾紙採樣器較差。且由結果可知，不論是在噴漆或研磨作業包覆型所採集到各異氰酸鹽之濃度遠高於兩片式雙層濾紙採樣器2

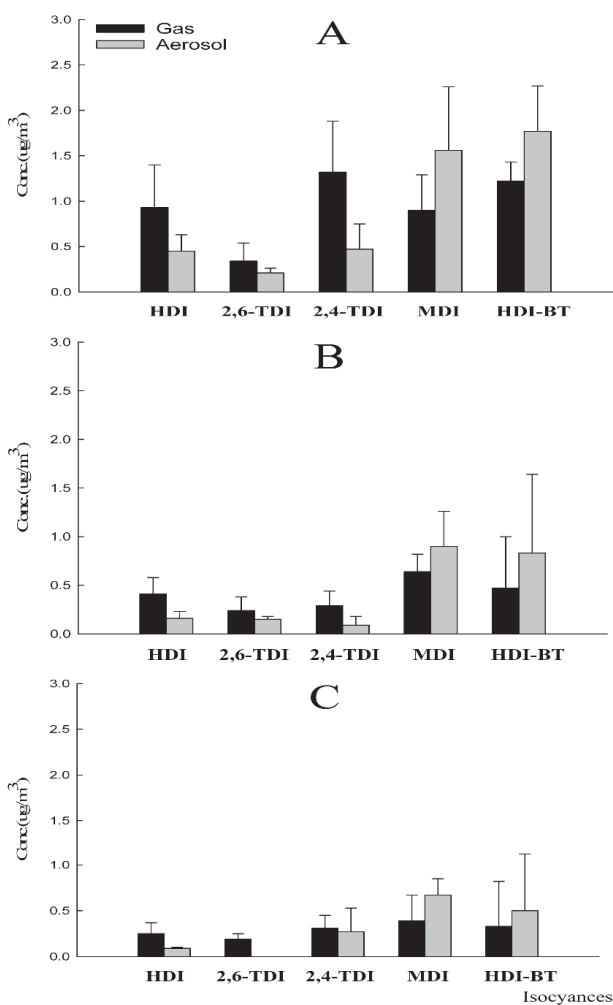


圖5 三家汽車修理廠噴漆作業區域中各異氰酸鹽氣態與氣膠態濃度分佈

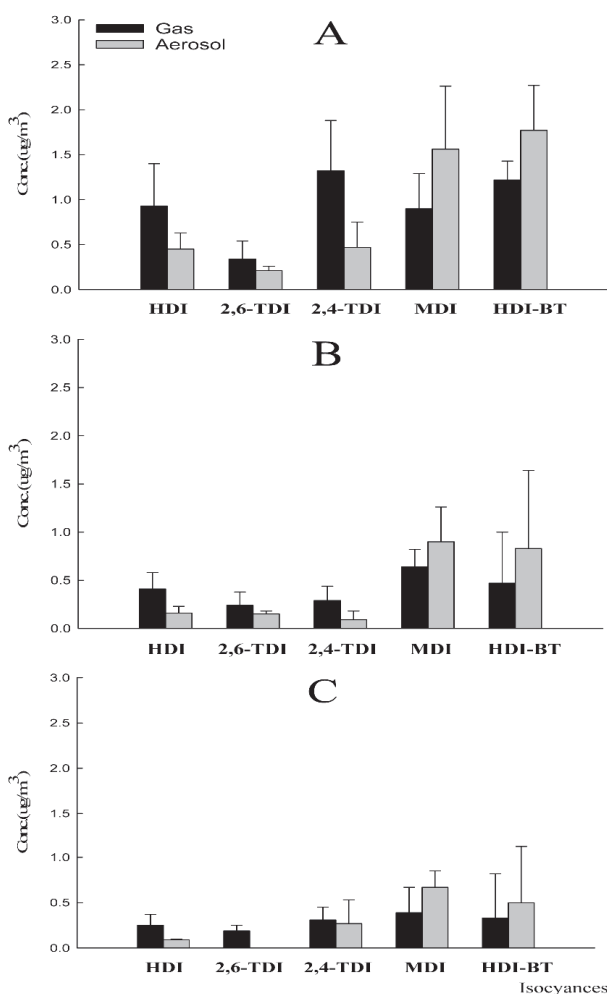


圖6 三家汽車修理廠研磨作業區域中各異氰酸鹽氣態與氣膠態濃度分佈

倍以上。

4. 汽車修理廠空氣中異氰酸鹽氣態與氣膠態分佈之比較

若以兩片式雙層濾紙採樣器所採集的濃度結果來看，各異氰酸鹽類於噴漆與研磨區域的氣態與氣膠態濃度分佈如圖5與圖6所示。

由圖5可知，噴漆作業在A廠中所採集到HDI、2,6-TDI與2,4-TDI之氣膠態濃度所佔的比例較B、C兩廠高，最高可達總異氰酸鹽(HDI、2,6-TDI與2,4-TDI)濃度的40%。同時研磨作業亦有相同之現象且較噴漆作業更為明顯(圖6)，最高為31%、40%與27%。至於C廠所採集到HDI、2,6-TDI與2,4-TDI的氣膠態濃度則很低，如研磨作業期間HDI與2,6-TDI之氣膠態濃度幾乎為零。由圖中也可以發現，不論在噴漆或研磨作業HDI、2,6-TDI與2,4-TDI皆是以氣態為主，而MDI與HDI-BT則是以氣膠態為主。

研究更指出，不論是在噴漆或研磨作業區域，兩片式雙層濾紙採樣器所採集到氣膠態濃度，以A廠顯著高於B、C兩廠，且三者間有達統計上的顯著差異。至於2,4-TDI的濃度，則也是以A廠顯著高於B廠與C廠，但後兩者則無差異。至於氣態異氰酸鹽之濃度，不論是噴漆或研磨作業區域，均以A廠高於B、C兩廠，但A、B兩廠間並無明顯差異。

討論

1. 兩種採樣器採樣結果比較

且包覆型所採集到之濃度均高於兩片式雙層濾紙採樣器2倍以上。主要原因可能是因為異氰酸鹽的黏性大，會附著於兩片式雙層濾紙採樣器的中間環帶上，造成採樣濃度降低；也可能是因為3家汽車廠在噴漆作業前會水洗噴

漆房，並在加熱情形下噴塗汽車，造成噴漆作業區域空氣中的濕氣大增，使得採樣完畢後才放置於衍生劑內進行衍生的兩片式雙層濾紙採樣器上層之鐵氟龍濾紙，其所採集到的部分異氰酸鹽類早已先與空氣中的水氣或其他物質反應，造成濃度被低估。

研磨作業區域，除了可能是因為高黏度的異氰酸鹽附著於兩片式雙層濾紙採樣器的中間環帶造成採樣濃度損失外，也可能是因為研磨作業時會使用水進行水磨或是在地上灑水進而造成兩片式雙層濾紙採樣器的採集效率降低。

相較之下，包覆型濾紙採樣器由於使用濾紙將採樣器內部完全包覆，不僅減少異氰酸鹽類濃度的損失，且異氰酸鹽會與濾紙上的衍生試劑立即形成穩定的尿素衍生物而減少異氰酸鹽與空氣中的水氣和其他物質反應的機會，因此較兩片式雙層濾紙採樣器可採集到較高之濃度。

Carlton et al. [18]在四個美國空軍基地的噴漆作業場所使用三種採樣器(分別為衝擊瓶、兩片式雙層濾紙採樣器與TAMM)採集HDI聚合物的結果發現，在作業期間，衝擊瓶採集到的最高濃度為 $3.36\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、兩片式為 $5.77\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、TAMM為 $17.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；8小時TWA的平均濃度則分別為 $0.01\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $0.11\mu\text{g}/\text{m}^3$ 與 $0.18\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，且此結果達統計上的顯著差異，以TAMM所採集到異氰酸鹽的濃度最高，兩片式次之，衝擊瓶再次之。

對照國內陳氏等人[3]的研究與本研究，亦可發現相同趨勢。前者於泡棉工廠中使用包覆型與開放式濾紙採樣器進行作業環境異氰酸鹽(2,4-TDI與2,6-TDI)的空氣採樣研究，結果顯示在泡棉運送通道附近，包覆型採集到總2,4-TDI與2,6-TDI的濃度分別為1.7ppb與2.3ppb，開放式則為0.7ppb與1.2ppb；而泡棉切割作業附

近，包覆型採集的濃度為2.3ppb與3.3ppb，開放式為1.9ppb與2.2ppb。顯示包覆型所採集到的濃度均較開放式為高。因此，本研究認為在汽車修理廠採集總異氰酸鹽濃度時，使用包覆型濾紙採樣器可能較其他採樣器更為適當。

2. 三廠空氣中異氰酸鹽氣態與氣膠態分佈探討

若以兩片式雙層濾紙採樣器的結果來看，噴漆作業中，A廠所採集到HDI、2,6-TDI與2,4-TDI的氣膠態濃度所佔的比例較B廠與C廠高，研磨作業亦有相同之現象且較噴漆作業更為明顯。此外，由圖5與圖6也可發現，三廠中，不論是噴漆或研磨作業，HDI、2,6-TDI與2,4-TDI皆是以氣態為主，而MDI與HDI-BT則是以氣膠態為主。

Karlsson et al.[19]量測汽車修理廠之研磨、焊接和裁剪作業中勞工的異氰酸鹽暴露，研究結果指出蒸氣壓較低之異氰酸鹽類(MDI)主要是以氣膠態為主，而蒸氣壓較高之異氰酸鹽類(2,6-TDI、2,4-TDI與HDI)則是以氣態為主，不論是在裁剪與焊接的作業環境皆有相同的現象，與本研究在研磨與噴漆作業的採樣結果一致。

然而，異氰酸鹽的氣態與氣膠態分佈也可能與汽車修理廠噴漆塗料的次數不同有關。以A廠而言，噴塗色漆的次數為三次，並於最後程序再塗敷兩次亮漆，因噴塗時間長，故蒸氣凝結成液滴也越多，使採得之氣膠的濃度越高。而C廠則由於噴塗色漆的次數僅一次，同時並未噴塗金漆和亮漆，因此，噴塗時間變短，降低了氣膠生成的濃度。除此之外，A廠之噴漆房是緩慢地將噴漆房中的空氣由上往下吹送，使得A廠所收集氣態/氣膠態異氰酸鹽的濃度皆較高，而C廠的噴漆房則因空氣快速由

上方往下方吹送並在下方設置一組強力抽氣設備，快速將噴漆房內的空氣置換，如此也導致C廠所採集到的濃度較低。

研磨作業的部分，因A廠為密閉式，B廠為半密閉式，C廠為開放空間，因此A廠採集到氣膠濃度較高，至於C廠則因空氣的流動與置換而降低了氣膠的收集量。加上C廠比A廠多使用了局部排氣設備，故使得採集到氣態和氣膠態的濃度皆較A廠為低。

此外，環境之濕度也可能顯著的影響汽車廠噴漆與研磨區域中異氰酸鹽的氣態/氣膠態分佈[20-21]。研究顯示，當環境溼度為80%時，其氣膠態的濃度有大幅度的損失，主要是因為鐵氟龍濾紙上的氣膠濃度未與衍生試劑反應，因此當溼度提高時，異氰酸鹽會與水氣反應而造成濃度有大幅度的損失[21]。且當溼度為80%時，其氣態的濃度也會因水氣的影響而減少。本研究發現C廠中的環境濕度約為85%以上，而A廠則為52%左右，主要是因為C廠在每次進行噴漆作業時會先進行灑水，同時在研磨時是以水磨為主，故使得該環境濕度偏高，導致所採集到的氣膠濃度偏低，尤其是在研磨作業期間HDI與2,6-TDI的氣膠態濃度幾乎為零。

3. 汽車修理廠空氣中異氰酸鹽類的濃度探討

本研究觀察到，在噴漆作業區域，勞工最可能暴露的異氰酸鹽為HDI-BT、MDI與2,4-TDI。Karlsson與Maitre等人的研究亦指出[19,22]，汽車修理廠噴塗區確實會暴露到高濃度HDI-BT、MDI與2,4-TDI，其最高濃度分別為 $3000\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $76.45\mu\text{g}/\text{m}^3$ 及 $88.07\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。國內陳氏等人的研究調查也有相同之趨勢[3]，且均以HDI-BT的暴露濃度為最高，MDI與2,4-TDI的濃度則相近。

在研磨作業區域，勞工最可能暴露的異氰酸鹽為HDI-BT、MDI與HDI。Karlsson與Valimaa等人的研究均顯示[19,23]，於汽車修理廠的研磨區域中僅量測到高濃度的MDI，其範圍為 $10.98\mu\text{g}/\text{m}^3$ - $74.90\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。國內陳氏[3]則是發現在研磨區域之主要的異氰酸鹽為MDI與2,4-TDI，其結果與本研究相異。然而根據文獻記載，在補土的研磨整平與噴塗防銹平整底漆後之研磨作業，均會造成異氰酸鹽的逸散，且補土的內容物含有大量的HDI和HDI-BT，而防銹平整底漆則含有大量的MDI與TDI [3]。

不過本研究也發現，除了噴漆作業區域的2,4-TDI與MDI及研磨作業區域的HDI-BT外，大部分異氰酸鹽類之濃度均在 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下，遠低於國外文獻的調查結果。但國內外的研究結果，皆無超過美國OSHA所規定的最高容許濃度標準，且國外的勞工皆有佩戴適當的個人防護具，汽車修理廠內也有機械式排氣裝置，因此使得勞工暴露異氰酸鹽的機會減少。雖然，本研究採集到的濃度只有一個樣本數的2,4-TDI超過我國最高容許濃度標準 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，但HDI與MDI的濃度皆低於美國OSHA和我國所規定的最高容許濃度標準，而HDI-BT也低於美國奧勒岡州所建議的濃度標準 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 。儘管如此，仍建議操作的勞工能佩戴適當的個人防護具，並加強教育訓練以使勞工瞭解異氰酸鹽可能對於眼睛黏膜、皮膚、支氣管造成危害，並督促汽車修理工廠能加裝排氣裝置，以減少工人暴露的機會。

至於國外採集到異氰酸鹽之濃度皆較本研究為高，主要的原因是因為空氣中異氰酸鹽類的濃度與一些因素有很大的關係，如：PU塗料的種類、工廠每個工作程序的差異和是否有裝置通風裝置等。同時汽車修理廠空氣中異氰酸鹽類的濃度會隨著作業時間和工廠作業而有所

變化。典型的暴露與PU加熱時有關，短時間濃度高峰可能只持續幾秒鐘。在高峰處之異氰酸鹽類濃度可能非常高。不同亮漆的熱解，使其形成異氰酸鹽類的總量也會有明顯的不同。因此，當監測汽車修理廠之異氰酸鹽類時，必須收集不同場所的樣品以得到代表性的暴露評估。

結論

本研究在汽車修理廠空氣採樣的結果指出，如以包覆型濾紙採樣器來看，各異氰酸鹽在噴漆作業的最高濃度，HDI為 $9.72\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，2,6-TDI為 $4.09\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，2,4-TDI為 $55.76\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，MDI為 $12.02\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，以上最高濃度均出現在A廠；HDI-BT則以B廠最高，為 $31.20\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；研磨作業的最高濃度分別為 $4.81\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $2.01\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $6.17\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $5.78\mu\text{g}/\text{m}^3$ 與 $11.32\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，亦均出現在A廠。本研究也發現，僅A廠有一個樣本數的2,4-TDI超過我國最高容許濃度標準 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ [13]，至於HDI與MDI的濃度皆低於美國OSHA[10]和我國所規定的最高容許濃度標準[13]，而HDI-BT也低於美國奧勒岡州所建議的濃度標準 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 。

同時，本研究亦發現，不論是噴漆或研磨作業，HDI、2,6-TDI與2,4-TDI皆是以氣態為主，而MDI與HDI-BT則是以氣膠態為主，故於收集氣態/氣膠態濃度時須考慮待測物的衍生性與收集效率，方能完整評估作業勞工的暴露現況。

然而，由現場採樣之結果可知，三廠均以包覆型濾紙採樣器所採集到的濃度為最高；但無法區分氣態與氣膠態的濃度。而兩片式雙層濾紙採樣器雖能有效地將氣態與氣膠態分開，但在高流量、高濕度與長時間的採樣下，兩者的濃度皆會被明顯低估。因此在作業環境現場

量測時，建議使用包覆型濾紙採樣器採集總異氰酸鹽類並搭配兩片式雙層濾紙採樣器來收集氣態/氣膠態的濃度，同時儘量縮短採樣時間，以反應作業現場實際濃度，作為異氰酸鹽相關作業場所危害控制之參考。

誌謝

本研究計畫獲得行政院國家科學委員會經費補助(NSC 91-2320-B-010-073)及國立陽明大學環境與職業衛生研究所毛義方教授與陳美蓮教授研究團隊的全力協助，僅此敬表謝忱。

參考文獻

- [1] David DJ. Isocyanic acid esters, In: Encyclopedia of Industrial Chemical Analysis. New York: John Wiley & Sons, Inc.; 1972; 15: 94-124.
- [2] Sandridge RL, Bargiband RF. Urethane polymers, In: Encyclopedia of Industrial Chemical Analysis. New York: John Wiley & Sons, Inc.; 1974; 19: 262-319.
- [3] 陳美蓮：汽車修理業勞工TDI、MDI及HDI暴露同時測定之方法研究。行政院國家科學委員會專題研究計畫；2004。
- [4] Streicher RP, Reh CM. Determination of airborne isocyanate exposure: considerations in method selection. American Industrial Hygiene Association Journal 2000; 61: 544-6.
- [5] Bernstein JA. Overview of diisocyanate occupational asthma. Toxicology 1996; 111: 181-9.
- [6] 熊映美：泡棉作業勞工之健康影響因素調查。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所研究報告（IOSH87-M362）；1998。
- [7] 李凡、熊映美、陳佳君、劉雨田、周啟馥：作業場所勞工過敏性反應與異氰酸鹽特異性體質相關性之探討。勞工安全衛生研究季刊1998；6(3)。
- [8] 李凡、熊映美：作業場所勞工過敏性反應與特異性體質相關性之探討-異氰酸鹽。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所研究報告（IOSH86-M161）；1997。
- [9] 蔡肇基、姚振文：噴漆作業勞工皮膚過敏鑑定技術研究。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所研究報告（IOSH90-M161）；2001。
- [10] Streicher RP, Reh CM, Key-Schwartz R, Schlecht PC, Ellen M. Determination of airborne isocyanate exposure. NIOSH Manual of Analytical Methods 1998; 115-32.
- [11] American Conference of Industrial Hygienists. Threshold limit values(TLVsTM) for chemical substances and physical agents and biological exposure indices(BEIsTM). American Conference of Industrial Hygienists 1995-1996; 24-36.
- [12] 石東生、熊映美、陳秋蓉、汪禧年、李聯雄：二異氰酸甲苯勞工暴露危害調查研究。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所研究報告（IOSH92-A319）；2004。
- [13] 行政院勞委會標準分析參考方法。二異氰酸甲苯與二異氰酸二苯甲烷。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所 2003；1-13。
- [14] Marcali K. Microdetermination of toluenediisocyanates in atmosphere. Analytical Chemistry 1957; 29: 552-8.
- [15] 陳美蓮、汪禧年、石東生、羅宜文、林宜長、毛義方：二異氰酸甲苯及二異氰酸二苯甲烷採樣分析技術研究。勞工安全衛生研究季刊1999；7(1)。
- [16] 蔡春進、石東生、洪義夫：氣態與氣膠態

- 二異氰酸甲苯同步個人採樣技術現場測試研究。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所研究報告 (IOSH91-A201) ; 2003。
- [17] Sceptre塗料。http://www.fuji-techno.co.jp/sceptre_features_ta.htm/ , 2003。
- [18] Carlton GN, England EC. Exposure to 1,6-Hexamethylene diisocyanate during polyurethylene spray painting. *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 2000; 15: 705-2.
- [19] Karlosson D, Spanne M. Airborne thermal degradation products of polyurethane coatings in car repair shops. *Journal Environment Monitor* 2000; 2: 462-9.
- [20] Henneken H, Lindahl R, Ostin A, Vogel M, Levin JO, Karst U. Diffusive sampling of methyl isocyanate using 4-nitro-7-piperazinobenzo-2-oxa-1,3-diazole (NBDPZ) as derivatizing agent. *Journal of Environment Monitor* 2003; 5: 100-5.
- [21] 林希貞：二異氰酸甲苯個人採樣器的現場測試研究。國立交通大學環境工程研究所，碩士論文：2002。
- [22] Maitre A, Leplay A, Perdrix A. Comparison between solid sampler and impinger for evaluation of occupational exposure to 1,6-Hexamethylene diisocyanate polyisocyanates during spray painting. *American Industrial Hygiene Association Journal* 1996; 57: 153-60.
- [23] Valimaa J, Rosenberg C, Peltonen K, Engstrom K. Exposure to airborne isocyanates and other thermal degradation products at polyurethane-processing workplaces. *Journal of Environment Monitor* 2002; 4: 717-21.

Research Articles

Simultaneous Determination of Isocyanates Exposure for Car Repair Workers

I-Fang Mao¹ Mei-Lien Chen² Yi-Ju Chen³ Shu-Fong Cheng³
Lien-Hsiung Lee³ Chiou-Jong Chen³ Chang-Yuh Chen³ Chih-Hung Lin^{2,3}

¹ Department of Occupational Safety & Health and Graduate Program,
Chung-Shan Medical University

² Institute of Environmental and Occupational Health Sciences, College of
Medicine, National Yang-Ming University

³ Division of Occupational hazards assessment, Institute of Labor,
Occupational Safety and Health, Ministry of Labor

Abstract

Isocyanates, the ingredients of PU products, which are widely used in the car industry, have been confirmed to cause respiratory disease and asthma. This study aimed to investigate the formation of isocyanates in car repair factories and exposure levels for workers, and compare the sampling efficiencies of two different samplers.

Three car repair factories in Taipei city were chosen in this study, and the sampling sites were set in the painting and grinding districts of these factories. 2,4-TDI, 2,6-TDI, MDI, HDI and HDI-BT were collected by 2-piece (closed) filter cassette with inner wraparound filters and 2-piece (closed) filter cassette with double filters, which loaded glass-fiber fibers coated by 9-(N-methylaminomethyl) anthracene (MAMA). After derivatization, samples were analyzed by high performance liquid chromatography (HPLC) with fluorescence detector.

Field sampling in car repair factories showed the efficiency of 2-piece (closed) filter cassette with inner wraparound filters was better than that of others. The highest concentrations of HDI, 2,4-TDI, 2,6-TDI and MDI in painting districts were $9.72\mu\text{g}/\text{m}^3$, $55.76\mu\text{g}/\text{m}^3$, $4.09\mu\text{g}/\text{m}^3$ and $12.02\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. These all appeared in factory A. But the highest concentration of HDI-BT existed

Accepted 6 May, 2014

Correspondence to: Chih-Hung Lin, Institute of Labor, Occupational Safety and Health, Ministry of Labor, E-mail: mimic2200@mail.iosh.gov.tw

in factory B, as $31.20\mu\text{g}/\text{m}^3$. In grinding district in factory A, the highest concentrations of HDI, 2,4-TDI, 2,6-TDI, MDI and HDI-BT were $4.81\mu\text{g}/\text{m}^3$, $6.17\mu\text{g}/\text{m}^3$, $2.01\mu\text{g}/\text{m}^3$, $5.78\mu\text{g}/\text{m}^3$ and $11.32\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. Furthermore, HDI, 2,4-TDI, and 2,6-TDI mainly existed as gas in both operating districts while aerosol were the predominant type of MDI and HDI-BT. Obviously, in car repair factories, the isocyanates were existed as gas and aerosol simultaneously.

This study confirmed that 2-piece (closed) filter cassette with inner wraparound filters performed the best capture capability, however, it could not separate gas and aerosol type of isocyanates. 2-piece (closed) filter cassette with double filters could separate gas and aerosol isocyanates, but it would greatly underestimate the aerosol isocyanates at high flow rate, high moisture, and long sampling time. Therefore, this investigation suggested using the 2-piece (closed) filter cassette with inner wraparound filters and the 2-piece (closed) filter cassette with double filters simultaneously might reflect the real situation when the sampling time was short as possible.

Keyword: Isocyanates, 2-piece (closed) filter cassette with inner wraparound filters, 2-piece (closed) filter cassette with double filters, Car repair factories