

利用液態被動式採樣器對二甲基甲醯胺評估

郭錦堂^{1,2} 陳佳惠²

中國醫藥大學 風險管理學系¹ 環境醫學研究所²

目的 目前的現行公告方法當中，針對合成皮工廠中的二甲基甲醯胺(*N,N*-Dimethylformamide, DMF)，其採樣方法在我國勞工委員會與美國職業安全衛生研究所中，均係以主動式的矽膠管來進行採樣，而美國職業安全衛生署則是以主動式活性碳管來採樣。但由於活性碳顆粒乃屬非極性物質，對於DMF等極性物質而言，活性碳管的捕集吸附能力還是會受到限制，較無法忠實地反應現場濃度；而矽膠管則是會受到現場的濕度所影響。故這些方法均有其限制存在。

方法 本研究係利用液態被動式採樣器(Liquid Passive Sampler, LiPS)，針對合成皮工廠中的二甲基甲醯胺濃度進行暴露評估。同時，亦採用主動式矽膠管與活性碳管的採樣方法，來進行平行採樣，比較LiPS與這兩種主動式採樣方法的效果。

結果 採樣結果顯示，LiPS所採集到的DMF濃度為 21.3 ± 16.6 ppm與主動式矽膠管 21.7 ± 37.5 ppm的濃度非常相近，且其變異程度較小，採樣效果也較穩定。而主動式活性碳管所採集到的DMF濃度為 7.3 ± 6.7 ppm，均低於主動式矽膠管與LiPS的濃度。將主、被動式採樣結果經兩組樣本 t 檢定後，顯示不論是個人採樣或區域採樣，兩者之間所捕集到的濃度在統計上並無顯著差異($p > 0.05$)。針對LiPS進行定點採樣，所捕集之濃度的變異係數為6.7%，顯示LiPS的再現性佳。

結論 綜合上述，LiPS比現行主動式兩種的採樣方法都有較好的採樣效果，而且LiPS又具備有輕巧、便利、使用簡單、可重複使用，樣本分析時可避免有機溶劑的使用等之優點，故此乃是值得進一步進行研究與推廣的採樣方法。(中台灣醫誌 2003;8 Supplement:S57-64)

關鍵詞

暴露評估，二甲基甲醯胺，液態被動式採樣器，合成皮工廠

前言

二甲基甲醯胺(*N,N*-Dimethylformamide, DMF)是一種在工業界中廣泛被使用的有機溶劑之一，其沸點為 153°C 。 25°C 時之蒸氣壓為 3.7 mmHg，極容易溶於水，也非常容易經由皮膚與黏膜滲透進入人體，其毒性標的器官為肝臟與睪丸[1]。DMF不論是在工業界或化學實驗室中都廣泛被使用，乃屬於我國「有機溶劑中毒預防規則」中所列管的第二種有機溶劑。製造合成皮通

常會使用到的有機溶劑有：二甲基甲醯胺(DMF)、甲苯(toluene)、丙酮(acetone)、丁酮(methyl ethyl ketone)等[2]，其中主要是以二甲基甲醯胺的使用量為最大(1996年，台灣PU(polyurethane)合成皮的年產量為164百萬呎，約佔亞洲生產量的56%，其中乾式約佔34%，濕式約佔66%) [3-5]。在乾式或濕式PU合成皮的製造過程當中，DMF會逸散到空氣裡，經由吸入或皮膚吸收而進入人體[6,7]，倘若勞工長期暴露於其中，則會對其健康造成不良的影響，如皮膚發炎與肝臟受損為較常見的健康危害[8-12]。

目前，依據我國行政院勞工委員會[13]與美國職業安全衛生研究所[14]現有的採樣方法中可得知，兩者均是以矽膠管(150 mg/75 mg)為採樣

聯絡作者：郭錦堂

地址：404台中市北區學士路91號

中國醫藥大學 風險管理學系

收文日期：2002年11月26日 修改日期：2003年1月28日

接受日期：2003年1月30日

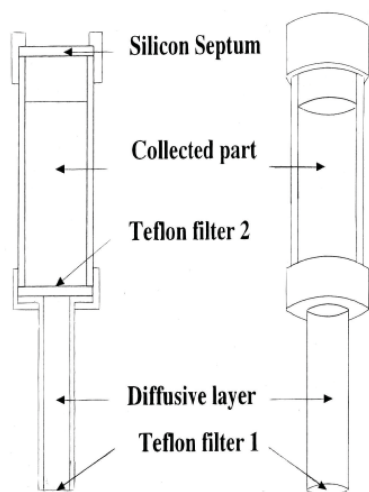


圖1 液態被動式採樣器裝置圖

介質進行採樣。由於矽膠具有極性基，可以吸附極性物質，但在PU合成皮製造工廠中大部分是以濕式作業為主，製程中的水分會與DMF產生相互競爭的現象，進而影響矽膠對DMF的吸附能力，導致所評估出的DMF濃度是否能較貼近實際濃度；此外，雖然美國職業安全衛生署[15]建議採用活性炭顆粒採樣管(100 mg/50 mg)，但由於活性炭乃屬於非極性介質，對具有極性物質的DMF並不是為最佳吸附能力。再加上由於個人採樣幫浦的體積及重量常常會造成勞工們在佩戴及工作上的不方便，極易引起勞工們的排斥與不合作。基於上述幾項原因，本研究期望能評估一種液態被動式採樣器(Liquid Passive Sampler, LiPS)，利用被動式採樣器中DMF能溶於捕集液而被吸收的特性，以及其輕巧便利、具可重複使用的優點，來改進用主動式採樣管採樣時所遭受到的限制，並使採樣工作能更具便利性與準確性。此外，亦可提供事業主管單位做為勞工健康管理時的參考依據之一，以防止相關職業病的產生。

材料與方法

被動式採樣器

本研究所使用的液態被動式採樣器(Liquid Passive Sampler, 簡稱LiPS) [16,17]是一種利用衝擊瓶採樣原理而改良出來的採樣器。由於衝擊瓶有攜帶不便、瓶內捕集液可能會滲出等的缺點，在採樣過程中會造成雙方面的困擾。故綜合DMF易溶於水之特性並改良衝擊瓶的缺點，而研發出能捕集DMF等高水溶性物質的液態被動式

採樣器。經過現場暴露之後，DMF氣體會經由LiPS的擴散管部分進入，通過一特殊材質所製成並能防止滲漏的擴散膜，在捕集管部分被收集(圖1)。帶回實驗室之後，將捕集液倒入2 mL玻璃小瓶中，毋須前處理的步驟，即可直接上機分析。

被動式採樣器的應用，首要工作便是要計算出被動式採樣器對於該捕集物質的採樣率。在採樣器形狀已固定、而被捕集物質的擴散係數亦已知的情況下，即可利用Fick's First Law算出理論採樣率，為0.498 mL/min。而在實際採樣率部份，根據Shigeru等人[16]的研究實驗中，得到LiPS捕集DMF的實際採樣率為0.50 mL/min。

在LiPS濃度計算方面，由於主動式與被動式均同時在同一地點進行採樣，所以理論上來說，同一地點主動式與被動式採樣所得的濃度應該會相同，亦即「主動式濃度=被動式濃度」。故便利用「主動式濃度=被動式濃度」概念，即可算出由LiPS捕集到的DMF濃度。

實驗方法

空氣樣本的採樣方法

隨機選取在合成皮工廠中作業之勞工(包括乾式、濕式、處理機與實驗室)，在腰部分別佩掛裝有矽膠管(Lot.14901, SUPELCO, USA)與活性炭管(Lot.2000, SUPELCO, USA)之主動式採樣泵(SKC Inc. personal air sampler, Model 222-3)，並將採樣管與裝有2 mL捕集液的LiPS夾在勞工的衣領並盡量靠近呼吸帶的位置，以不妨礙勞工作業行動為原則，將採樣流速設定在150 mL/min，同時進行平行採樣。此外，為了配合現場勞工的作業時間，故採樣時間為9:00至15:00，每次採樣時間至少6小時以上。在區域採樣地點選取方面，於同一合成皮工廠中，依現場作業型態與使用量的情形，同時進行兩種主動式採樣與LiPS計三種採樣方法。

於每次採樣之前，都要使用紅外線流率校正器(Gilian, P/N D800286)進行採樣泵的流率校正，並檢查採樣泵是否都已充電完整。在採樣結束之後，同樣也要進行流率校正，前後流率之準確度應在±5%之內。

空氣樣本的分析

樣品分析時，將採樣管前後端分別倒入2 mL vial中，加入1 mL的甲醇(HPLC/Spectro, TEDIA)或二硫化碳(ACS grade, TEDIA)分別作為矽膠管與活性炭管的脫附劑，參考行政院勞委會標準分析方法No.1204與美國職業安全衛生研

表1 主動式與被動式採樣器對DMF採樣結果之比較

	樣本個數	Mean (ppm)	SD
個人採樣	28 (S)	21.7	37.5
	28 (C)	7.3	6.7
	20 (L)	21.3	16.6
區域採樣	18 (S)	38.7	39.6
	18 (C)	16.9	19.2
	18 (L)	24.6	22.5

S = 主動式採樣中的Silica gel ; C = 主動式採樣中的Charcoal ; L = 被動式採樣LiPS。

究所NMAM No.2004之分析條件，利用GC/FID (Shimadzu GC-17A, Tokyo, Japan)進行分析。在LiPS方面則毋須經由這一類的樣品前處理步驟，直接從冰箱中取出，待LiPS樣本回至室溫之後即可直接用GC/MS (Shimadzu QP 5050A, Tokyo, Japan)分析。其分析條件為：Shimadzu GC/MS-QP5050A，注射口與介面溫度分別為250°C與220°C，分離管柱為BP-20，25 m × 0.22 mm ID × 0.25 μm (J&W, USA)，而管柱溫度為70°C持續2分鐘，之後每分鐘上升15°C到120°C保持0.5分鐘，分離管流率1.0 mL/min，以不分流模式進行分析，注射量2.0 μL。

結果

偵測極限(LOD)

將DMF標準品所配製的檢量線最低濃度，以氣相層析質譜儀連續測七次，所得之波峰面積或波峰高度，計算其平均值及標準差，並以3倍標準差除以平均值，再乘以分析濃度，即為該分析方法之偵測極限。經本研究的條件下DMF為0.2 ng。

分析方法之再現性

分析方法的可信度，可由重複分析之再現性來證明。LiPS的選擇在檢量線範圍內之低、中、高濃度(1.81, 7.22, 28.92 μg/mL)標準品，重複分析七次，針對這七次標準品之波峰面積、波峰高度以及滯留時間的變異係數(C.V.%)做討論。其結果LiPS在低濃度下為8%外，其他皆在5%內之良好再現性。

樣品分析品質管制(QA/QC)

長時間分析樣本時，為了確保在分析過程中所得的實驗數據具有一定程度的可信度，故在每

分析一定數量樣本後，穿插品管樣品作為QC樣本加入分析，以確定儀器的穩定性與分析數據的正確性。在本研究中每分析15個樣本之後，計算該QC樣本的滯留時間、波峰面積與波峰高度之變異係數(C.V.%)，其變異係數均小於6%。三種的檢量線性r皆大於0.995以上。另外，採樣介質的活性碳及矽膠管之添加回收率分別為89.9%及83.2%。

作業環境測定分析結果

在合成皮工廠進行個人採樣與區域採樣，共採集126個樣品，樣品濃度計算時全部皆經由採樣當日溫度、濕度、壓力(25°C、一大氣壓)校正之後的採氣量計算而得。由於合成皮作業現場中，通常不只僅使用DMF單一種有機溶劑，因此在主動式活性碳管，亦可同時了解合成皮工廠中有機溶劑使用狀況(如異丙醇、丁酮及甲苯)，並可一同採樣，以便概略瞭解現場有機溶劑的暴露情形。

主、被動式採樣結果

勞工個人主、被動式採樣結果

由表1中可得知，個人主動式矽膠管採樣所得空氣中DMF平均濃度±標準差(Mean ± SD)為21.7 ± 37.5 ppm；而個人活性碳管採樣所得之空氣中DMF平均濃度±標準差為7.3 ± 6.7 ppm。在個人LiPS採樣方面，DMF平均濃度±標準差為21.3 ± 16.6 ppm。顯示LiPS採樣介質和矽膠管採樣介質的結果相似，但是LiPS採樣介質的變異係數較小。

作業區域主、被動式採樣結果

區域主動式採樣方面，矽膠管所採集到空氣中的DMF之平均濃度±標準差(Mean ± SD)為38.6 ± 39.5 ppm；而活性碳管採到之平均濃度±標準差為16.9 ± 19.2 ppm；LiPS採樣介質的

表2 現場各工作類型之主動式矽膠管中DMF 濃度

	n	濃度 (ppm)
個人採樣		
濕式作業	14	31.7 ± 50.2
乾式作業	2	33.6 ± 0.3
配料及調色	5	16.8 ± 11.3
研發室	3	2.2 ± 1.4
處理機	4	1.1 ± 0.9
平均值		21.7 ± 37.5
區域採樣		
濕式作業	11	55.4 ± 42.4
乾式作業	3	15.4 ± 16.1
配料及調色	4	10.0 ± 3.9
平均值		38.7 ± 39.6

表4 現場各工作類型之LiPS 中DMF 濃度

	n	濃度 (ppm)
個人採樣		
濕式作業	14	26.5 ± 15.4
乾式作業	2	44.0 ± 34.8
配料及調色	3	18.9 ± 9.0
研發室	3	10.9 ± 5.1
處理機	2	14.0 ± 4.7
平均值		21.3 ± 16.6
區域採樣		
濕式作業	9	28.0 ± 15.1
乾式作業	3	25.6 ± 18.6
配料及調色	4	7.6 ± 2.7
平均值		24.6 ± 22.5

DMF 結果為 24.6 ± 22.5 ppm。

作業別與主、被動式採樣結果之比較

表2至4所呈現的是主、被動式在不同作業別的採樣結果。在表2中得知，在濕式作業個人主動式矽膠管採樣結果，DMF 濃度標準差高達 50.2 ppm，其他的乾式作業配料及調色、研發室和處理機等區域的員工之變異都比較小。DMF 濃度會有如此大的變異，其可能的原因之一是受到瞬間濃度大增的影響(如：傾倒原料)之外，另一可能的主要原因是矽膠管在濕式作業中會受到高溼度所影響，溼度過高會使得矽膠無法發揮其捕集能力，而產生破出現象，採樣管一旦發生破出現象時，該採樣管的結果就不列入計算中，故

表3 現場各工作類型之主動式活性碳管中DMF 濃度

	n	濃度 (ppm)
個人採樣		
濕式作業	14	7.8 ± 5.6
乾式作業	3	14.7 ± 12.4
配料及調色	4	8.4 ± 5.6
研發室	3	0.8 ± 1.0
處理機	4	3.5 ± 4.2
平均值		7.3 ± 6.7
區域採樣		
濕式作業	11	20.6 ± 20.0
乾式作業	3	27.0 ± 23.7
配料及調色	4	3.5 ± 2.3
平均值		16.9 ± 19.2

此亦可能為導致高標準差發生的原因之一。而在主動式活性碳管採樣結果(表3)，不論在哪一作業別所採到的污染物量，都比其他兩種方法要低很多。由 LiPS 採樣結果(表4)，所採集到的現場濃度，除了濕式作業低於矽膠管採樣介質外，其他各工作類別的濃度有較好表現趨勢。

主、被動式採樣結果之比較

如表5所示，經兩組樣本 *t* test 統計分析結果顯示，主、被動式這三種採樣方法，在環境條件相同的情況下，個人採樣的結果方面，LiPS 對矽膠管、LiPS 對活性碳管的採樣結果有明顯差異 ($p < 0.05$)；但在區域採樣方面，則無明顯差異 ($p > 0.05$)。

主、被動式採樣結果相關性之比較

在 DMF 個人採樣結果中，主動式矽膠管 vs LiPS 與主動式活性碳管 vs LiPS 之相關係數 *R* 分別為 0.59 與 0.42 (圖2,3)；而區域採樣部份，其相關係數 *R* 分別為 0.72 與 0.83 (圖4,5)，均有相關性存在。其中，以區域採樣的相關性較好，此乃由於區域採樣的濃度分布較穩定、變異較小，故其之間的相關性會較好。而在個人採樣部份，由於勞工於作業現場中會因工作型態的不同，及瞬間的暴露等因素，容易使個人採樣群族的相關性較差、變異也較大。

總括以上所述，主動式矽膠管方法是目前所公認評估現場濃度，但極易受到現場高溼度的影響，而容易產生破出現象，進而影響採樣結果；在活性碳管部份，不論是從各作業別的採樣結果或是從其所採集到的空氣濃度之關係看來，可能是極性特性的關係，使得活性碳管所捕集到的濃

表5 主動式與被動式之結果相關比較

採樣方法		自由度	t^*	p
個人採樣	LiPS vs 主動式矽膠管	38	2.43	<0.01**
	LiPS vs 主動式活性碳管	34	5.11	<0.001**
區域採樣	LiPS vs 主動式矽膠管	30	-0.38	0.70
	LiPS vs 主動式活性碳管	36	1.59	0.12

* 兩組獨立樣本 t 檢定，** $p = 0.05$ 。

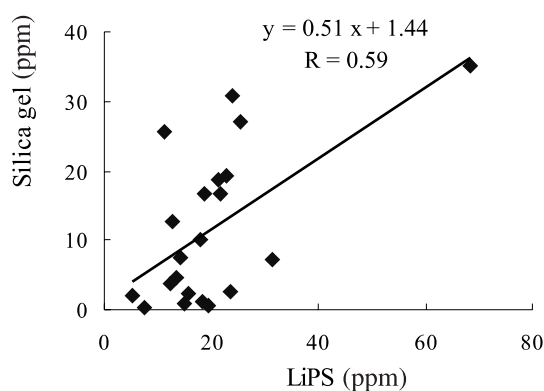


圖2 個人主動式矽膠管與LiPS之相關性

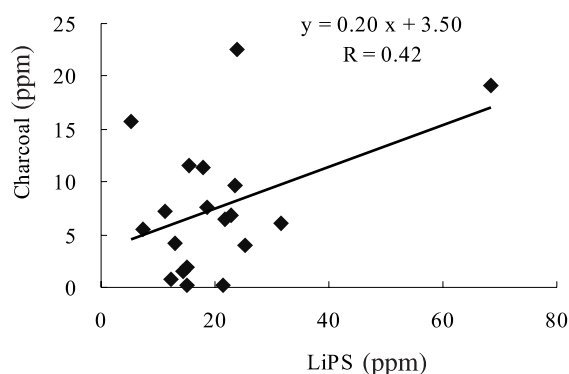


圖3 個人主動式活性碳管與LiPS之相關性

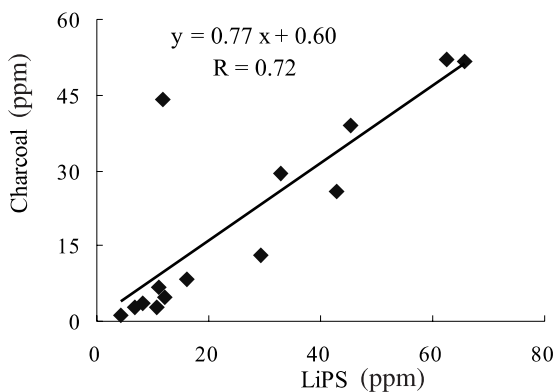


圖4 區域主動式活性碳管與LiPS之相關性

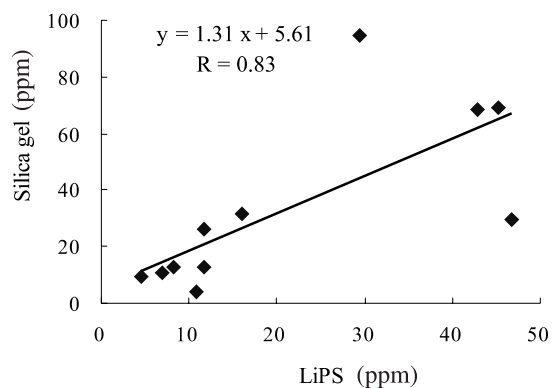


圖5 區域主動式矽膠管與LiPS之相關性

度，均與LiPS和矽膠管方法比較濃度相差甚遠。然而，在LiPS採樣結果方面，其採樣所得的濃度值，大致與矽膠管方法雷同，並且變異小，較具有穩定性，而且其採樣成本低、可不需具備有特殊的採樣技巧、輕巧便利、可重複使用的優點，故總而言之，利用LiPS來捕集DMF是可行的。

LiPS之再現性評估

Shigeru等人[16]在其研究中指出，在實驗室中針對LiPS (10 ppm)與相對溼度、溫度以及風速之間的關係進行探討。實驗結果顯示，在相對溼

度方面，即使相對溼度高達80%以上，其對採樣結果的影響不大；在溫度方面，在室溫之下，大約溫度每上升 10°C ，LiPS的捕集量就會增加約5%；一般被動式採樣器會受風速的影響較大，但LiPS在外形設計上的特色就是其採樣口是朝下的，與一般氣流方向呈 90° ，如此一來便可以避免風速的影響。此外，Shigeru等人[16]亦在實驗室中針對LiPS進行再現性的測試，其變異係數都小於10%之良好結果。另外，DMF於暴露腔內濃度由1至52 ppm分為5個濃度進行時間累積8

表 6 區域及個人採樣被動式 DMF 在組間濃度之比較

	變項	SS	自由度	MS	F	<i>p</i>
ANOVA-LiPS 區域採樣	組間	0.02	17	9.1E-04	2.42	0.01*
	組內	0.02	48	3.7E-04		
	總和	0.03	65			
ANOVA-LiPS 個人採樣	組間	0.01	15	3.8E-04	1.89	0.11
	組內	0.00	16	2.0E-04		
	總和	0.01	31			

* $p < 0.05$ 。

小時暴露的線性佳。

由於 LiPS 在實驗室中已驗證了再現性佳，故本研究也在現場採樣時，特別針對 LiPS 進行濕式作業定點區域採樣。共擺設 10 個 LiPS 樣本進行評估，經檢測現場濃度的平均值為 19.2 ± 1.3 ppm，而變異係數(C.V.%)為 6.7%，與 Shigeru 等人[16]的研究結果具有雷同之良好再現性，此乃由於作業現場中的濃度大多是會維持一個動態平衡，故 LiPS 在此環境中進行採樣時，其採樣結果顯示 LiPS 於現場採樣時的再現性不錯，變異程度小，由此看出 LiPS 本身的採樣功能穩定。

此外，在進行個人採樣與區域採樣時，於同一人身上、同一地點處，掛數個 LiPS，以測試其於同一人身上、同一地點處，所採集到的濃度是否具有的一致性。經由一方分類變異數分析(ANOVA)之後(表 6)，可得知在區域採樣中，LiPS 所採集到的濃度於每個區域之間(組間)與每個區域內(組內)的數值有明顯差異($F = 2.42$ ， $p < 0.05$)，亦即組間變異大於組內變異。組間變異較大，表示在作業環境中，因作業型態的不同會使每個區域點之間的濃度具有差異。所以，為了要能更準確評估作業現場有害物質的暴露濃度，則需要針對區域採樣的地點選擇上多加評估。

討論

根據鄭氏[18]等人的研究結果顯示，不論是個人或區域採樣，使用 3M #3500 被動式採樣器的採樣結果，均較主動式的採樣結果要來得偏高。但在本研究結果中發現，使用 LiPS 的採樣結果與主動式矽膠管差異不大。此種差異可能與被動式的採樣介質有關，3M #3500 所使用的採樣介質為活性碳顆粒，與 LiPS 的捕集液相比，是兩種極性完全不同的採樣介質，故其採樣效率尚需進一步的實驗室與現場觀察佐證來驗證。

主、被動式採樣結果中顯示，不論是個人採樣或區域採樣中，LiPS 與主動式矽膠管的 DMF 採樣結果平均值均較接近，但 LiPS 採樣結果的變異比主動式矽膠管小，顯示 LiPS 的採樣效果要比矽膠管穩定；此外，在 LiPS 與主動式活性碳管的採樣結果方面，可以很明顯的看出活性碳管所採集到的量遠低於 LiPS，此結果極有可能與採樣介質的極性特性有關。活性碳顆粒屬於非極性物質，就其本身的物化特性來看，是比較不適合用來捕集具有極性的二甲基甲醯胺等。

作業場所中的溼度對矽膠管和活性碳管採樣介質比較容易發生破出現象，而 LiPS 就無此問題。

由表 5 可知，從兩組獨立樣本 *t* 檢定結果來看，個人採樣結果有明顯差異，但區域採樣結果則無明顯差異。由於主動式活性碳管於此次研究中的結果，表現均非十分滿意，應與介質的極性和高濕度有關。

在相關性方面，不論是個人採樣或區域採樣，主動式矽膠管與 LiPS 之間均具有中高度相關，其 *R* 為 0.59 與 0.72。

由結果可得，LiPS 的採樣結果與主動式矽膠管的結果較有一致性，此外經由兩組樣本 *t* test 的結果顯示，LiPS 的個人採樣結果比矽膠管與活性碳管較好。再加上，使用 LiPS 進行採樣可免除主動式採樣前的繁瑣準備工作，而且也更便利、體積輕巧、不佔空間、沒有破出問題、再現性佳、成本低等，並且也較不會影響現場勞工的作業。

致謝

本研究由中國醫藥大學補助經費(CMC90-EM-03)，得以順利完成，謹此致謝。

參考文獻

1. 行政院勞工委員會。物質安全資料表—二甲基甲醯胺，

- 序號260。http://www.iosh.gov.tw/data/f11/n260.htm。
- 賴俊雄，吳明珍，張簡振銘等。台灣省聚尿樹脂及合成皮製造工廠作業勞工有機溶劑暴露實況與健康影響調查研究。台灣省政府勞工處，1992。
 - 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所。作業環境勞工化學性暴露調查計畫(一)，ISOH87-A101，1998:11-4。
 - 經濟部工業局。工業減廢技術手冊(7)-PU合成皮工業。第一版第一刷，1997:27-58。
 - 經濟部工業局。濕式PU合成皮製造業，1996。
 - Nomiyama T, Nakashima H, Chen LL, et al. *N,N*-dimethylformamide: significance of dermal absorption and adjustment method for urinary *N*-methylformamide concentration as a biological exposure item. *Int Arch Occup Environ Health* 2001;74:224-8.
 - Miyauchi H, Tanaka S, Nomiyama T, et al. *N,N*-dimethylformamide (DMF) vapor absorption through the skin in workers. *J Occup Health* 2001;43:92-4.
 - Nomiyama T, Uehara M, Miyauchi H, et al. Causal relationship between a case of severe hepatic dysfunction and low exposure concentrations of *N,N*-dimethylformamide in the synthetic industry. *Industrial Health* 2001;39:33-6.
 - Kafferlein HU, Goen T, Muller J, et al. Biological monitoring of workers exposed to *N,N*-dimethylformamide in the synthetic fibre industry. *Int Arch Occup Environ Health* 2000;73:113-20.
 - Wrbitzky R. Liver function in workers exposed to *N,N*-dimethylformamide during the production of synthetic textiles. *Int Arch Occup Environ Health* 1999;72:19-25.
 - Lareo AC, Perbellini L. Biological monitoring of workers exposed to *N,N*-dimethylformamide. II. Dimethylformamide and its metabolites in urine of exposed workers. *Int Arch Occup Environ Health* 1995;67:47-52.
 - Mraz J, Nohova H. Percutaneous absorption of *N,N*-dimethylformamide in humans. *Int Arch Occup Environ Health* 1992;64:79-83.
 - 行政院勞工委員會。作業環境空氣中二甲基甲醯胺採樣分析建議方法-1204，1996。
 - National Institute for Occupation Safety and Health, USA. Dimethylacetamide and Dimethylformamide : method 2004. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM) 4th ED. Available at: <http://www.cdc.gov/niosh/pdfs/2004.pdf> Accessed 15 August 1994.
 - Occupational Safety and Health Agency, U.S. Department of Labor. Analytical Methods Manual 2th ED Method #66. Available at: <http://www.osha.gov/dts/sltc/methods/organic/org066/org066.html> Accessed 1990.
 - Shigeru T, Haruo M, Tetsuo N, et al. Monitoring for *N,N*-dimethylformamide and *N,N*-dimethylacetamide with a diffusive sampler (LiPS) using distilled water as an absorbent. *AIHA Journal* 2002;63:726-31.
 - 平野耕一郎，前田裕行，松田啓吾。利用擴散採樣設備之NO、NO₂監測方法。大氣污染簡易測定及評估方法國際研討會，國立中央大學，1996:115-23。
 - 鄭蓉瑛。PU人造皮製造業空氣中有機溶劑採樣分析研究。勞工安全衛生研究季刊2001;9:51-65。

Assessment of Sampling Efficiency of *N,N*-Dimethylformamide with the Liquid Passive Sampler

Ching-Tang Kuo^{1,2}, Chia-Hui Chen²

¹Department of Risk Management, ²Institute of Environmental Health, China Medical University, Taichung, Taiwan, R.O.C.

Objectives. The objective of this study was to carry out assessment of sampling efficiency of *N,N*-dimethylformamide (DMF) in polyurethane manufacturing plants by liquid passive sampler (LiPS). The airborne concentration of DMF was monitored by active and passive sampling methods. Finally, the sampling efficiency of the above sampling methods was evaluated.

Methods. DMF was measured by the active and passive sampling methods at the same time in polyurethane manufacturing plants.

Results. The results showed that LiPS and silica gel tube methods provided similar DMF concentration measurements (21.3 and 21.7 ppm, respectively). However, the variance by LiPS was smaller than active sampling with the silica gel tube. The active sampling with the charcoal tube recorded a lower DMF concentration (7.3 ppm) than the silica gel tube. Because charcoal is a nonpolar substance, its sampling ability is somewhat limited. Therefore, active sampling with the charcoal tube does not reflect the true concentration in work field. Furthermore, there were no obvious statistical differences in concentration between active and liquid passive sampling ($p > 0.05$). The coefficient of variance was 6.7%, which indicates that the results of LiPS are reproducible in field work sampling.

Conclusions. The sampling efficiency of LiPS is stable. In addition, LiPS has many advantages over active sampling with the silica gel tube, such as being small in size, easy to use, and recyclable. Therefore, LiPS is a good sampling method and is worth further study. (*Mid Taiwan J Med* 2003;8 Supplement:S57-64)

Key words

exposure assessment, Liquid passive sampler, *N,N*-dimethylformamide, polyurethane manufacturing plant

Received : November 26, 2002.

Revised : January 28, 2003.

Accepted : January 30, 2003.

Address reprint requests to : Ching-Tang Kuo, Department of Risk Management, China Medical University, 91 Hsueh-Shih Road, Taichung 404, Taiwan, R.O.C.