

第一章 前言

第一節 背景資料

台灣地區聚脲樹脂(polyurethane 簡稱 PU) 合成皮生產量，以民國 84 年為例，國內 PU 合成皮之產量已達二億碼以上，居世界之冠，職場生產線約有 100 條。民國 89 年雖有部分產業外移，國內產量也有一億三千萬碼，參加 PU 合成皮公會有 23 家事業單位，僱用勞工約有 7500 人，至民國 92 年參加合成皮公會事業單位降為 18 家，從業人員剩為 5700 人。PU 合成皮產量亦有逐年降低之趨勢，民國 90 年國內 PU 合成皮之產量約為九千七百萬碼，民國 91 年產量為約為八千七百萬碼，至民國 92 年產量則降為約七千五百萬碼。通常 PU 合成皮工廠使用溶劑是以二甲基甲醯胺 (N,N-dimethylformamide 簡稱 DMF) 為主要溶劑，依據 1999 年 1 月至 12 月之化學品進出口資料，國內 DMF 年進口量約有五萬五千公噸；而年製造量有四萬公噸，並不包含這些合成皮廠之年回收使用量約每年二萬公噸⁽¹⁾。

郭氏等^(2.3.4)於 1997 年對國內一家大型合成皮工廠所作研究高濃度區域採樣平均濃度為 27.64 mg/m³，41 個區域採樣中有 15 個區域 36.6% 超過標準，高濃度個人採樣平均濃度為 27.01mg/m³，其中發現五分之一受測勞工有肝功能異常現象。前台灣省政府勞工處委託賴氏等^(5.7)研究國內 PU 樹脂合成皮工廠作業勞工暴露有機溶劑及其健康影響追蹤調查研究計畫，在

針對國內八家 PU 樹脂合成皮工廠 1992- 1993 年及 1998- 1999 年間有機溶劑暴露實況及工程改善作前後比較，其中 165 件個人採樣中有 13 件超出容許濃度 10 ppm ($30\text{mg}/\text{m}^3$)，受測勞工在 ALT (alanine amino-transferase, 或稱 SGPT) 肝功能異常為 22.5%、GGT 或稱 γ -GT (γ -glutamyltransferase) 為 13.8%。劉氏、郭氏等⁽⁶⁾於 1996 年評估國內某家大型 PU 合成皮工廠之空氣中 DMF 濃度測定平均濃度為 11.6ppm。從過去研究結果顯示國內合成皮工廠從業人員 DMF 有機溶劑暴露情況仍不良，近年來國內 PU 合成皮事業單位依據勞委會頒布作業環境測定實施辦法⁽¹³⁾及有機溶劑中毒預防規則⁽¹⁴⁾法規規定應每半年測定一次結果空氣中 DMF 濃度，其中配料、塗佈、貼合、處理等作業區 DMF 濃度可能均有偏高現象，其原因可能為國內合成皮工廠大部分屬於中小型舊式工廠，其製程設備簡陋，又適逢目前全球經濟不景氣，工廠並無多餘資金從事工程改善。因此基於保護勞工出發點，政府如何針對 PU 合成皮工業所有從業人員擬定實施健康保護計畫，而事業單位要如何配合擬定完整職業衛生計畫，應是勞檢機關推動職場暴露及危害評估當務之急的要務。

第二節 研究動機

PU 樹脂合成皮工廠使用溶劑種類有 DMF、甲苯、丁酮及少量乙酸乙酯、丙酮、異丙醇等物質，皆屬於國內勞工安全衛生法令中有機溶劑中毒預防規則⁽¹⁴⁾所列管之第二種有機溶劑，其中以 DMF 為主要溶劑。目前 PU 樹脂合成皮工廠使用有機溶劑之管理，是依據我國勞工安全衛生法令勞工作業環境測定實施辦法⁽¹³⁾規範，即每半年必須測定一次，此等工廠皆應委託有行政院勞工委員會合格之作業環境採樣機構實施勞工作業環境採樣，且經政府會認可之實驗室分析採樣結果，而作業環境採樣機構對於廠內採樣點之選定，大部分以個人主觀意識來選定，或者以事業單位認為濃度較高之場所作為選擇方式，尚無一套完整作業環境測定計畫對全廠製程實施暴露風險評估之量化準則。因此，對於勞工暴露實務無法完整正確之呈現，也可能忽略某些被低估潛在高風險族群，而造成未來職業災害或勞工職業病之發生。

目前各種職場已愈加複雜化，各種化學性、物理性、生物性風險種類也呈現多元化，勞工需求不僅於擔心處理時之健康風險，其他包括管理風險、法令風險及勞工壓力焦慮之風險均為職場所關注的範圍，顯示工業衛生師之角色將愈形加重。風險管理觀念在國外職場漸普及各種作業環境，美國工業衛生學會中暴露評估策略委員會（AIHA, American Industrial Hygiene

Association) ⁽⁸⁾曾發表有關職業暴露評估與處理策略，係對職場全廠區各種負荷評估，包括物理性危害如噪音、輻射線、熱危害，化學性危害如各種化學物質等，並介紹相似暴露群概念，以健康效應等級 HER (health effect rating)、暴露等級 ER (exposure rating) 兩項健康風險等級 (health risk rating) 及不確定度 UR (uncertainty rating) 作職場整體危害之評分，希望能選擇高風險群組作為優先控管對象，以有效降低勞工暴露風險。其優點為以整體危害之評分方法發掘高風險群組作為優先採樣對象，避免造成環境測定不當浪費，另一優點為相似暴露群之建立，對於勞工暴露實態之呈現(characterize the exposure profile)也有相當助益。

有鑑於此，本研究試圖以 AIHA 所發表職業暴露評估與處理策略作基礎，發展以單一暴露危害物初步危害分析評分方法，主要評估對象為 DMF 暴露勞工，針對 PU 合成皮工廠相似暴露群 (SEGs, similar exposure groups) 實施量化風險評估以瞭解全廠勞工暴露 DMF 情況，發掘潛在之高危險族群。並作為未來建立適當環境採樣策略，進一步嘗試以危害分析評分來建立空氣中 DMF 暴露模式，以有效推估其他合成皮職場二甲基甲醯胺暴露情形。

第三節 研究目的

- 一、建立 DMF 相似暴露群組 (SEGs)，尋找影響 DMF 暴露相關因素，建立危害評分表以量化評估勞工職場暴露之風險性。
- 二、探討 DMF 相似暴露群組勞工暴露 DMF 及其他各種溶劑之差異。
- 三、探討 DMF 相似暴露群組初步危害評分與勞工作業環境 DMF、生物偵測尿中代謝物 NMF (N-methyl-formamide) 之相關性。
- 四、以 DMF 危害評分表量化評定空氣中 DMF 暴露濃度，作為未來建立採樣策略及工程改善參考之用。
- 五、評估勞工作業環境 DMF 測定結果與問卷調查之自覺不適症狀及肝功能相關性。
- 六、作為勞檢單位未來檢測及評估 PU 合成皮工廠 DMF 之暴露情況之參考，建議主管機關及早採取防治措施，以降低對作業勞工健康之危害。

第二章 文獻探討

第一節 合成皮製造流程與原物料

一、PU 合成皮之主要原料（摘錄自 IOSH90-T-039）⁽¹⁾

PU 合成皮製造簡單來說，就是將布料上塗敷一層或多層以 PU 樹脂作為基布之薄膜，使其表皮具有類似動物皮之質感。所需之主要原物料簡要說明如下：

(一)基布

PU 合成皮之原料除 PU 樹脂外，最重要者為 PU 樹脂所披覆之基布。依基布材質之分類，較常用者為棉、人造棉、聚酯棉。若依織法可分平織布、斜紋布、針織布、不織布等。

(二)一液型或二液型 PU 樹脂

一液型 PU 樹脂為線狀之熱可塑性高分子構造，將 PU 樹脂溶解於溶劑中，加入顏料後揮發乾燥即可得到富有強韌彈性之薄膜，作為 PU 合成皮革之表層。而二液型 PU 樹脂則含有反應性異氰酸酯基 (NCO) 之線狀 PU 預聚物，與架橋劑、促進劑混合反應以形成網狀聚合之構造，有時尚需添加硬化劑等，用作 PU 合成皮革表層與底布之接著。PU 樹脂之主要原料以具有羥基為末端基之聚酯或聚醚多元醇，其分子量在數千至數萬間之寡聚合物，可與多元異氰

酸酯反應形成 PU 樹脂。

(三) 溶劑

PU 樹脂在合成或加工時均須加入適當之溶劑來化學反應合成或調整黏度，以適合機械之操作。常用之溶劑有甲苯、丁酮、乙酸乙酯、異丙醇、丙酮、二甲基甲醯胺等。為防止多元異氰酸酯產生副反應，反應級溶劑一般須具備少於 0.1% 的含水率。

(四) 顏料

可分為無機顏料與有機顏料，一般無機顏料之耐光性、耐溶劑性、遮蔽力大且比較便宜，但色澤較不鮮明，而有機顏料則反之。顏料中之黃色顏料為鉻黃，通常有含鉛之鉻酸鉛，其中鉛、六價鉻之危害性或偶氮染料及其他色膏中之重金屬危害不容忽視；另外添加顏料之溶劑溶於樹脂時，也該留心揮發之溶劑危害。

(五) 架橋劑

多官能基之 PU 預聚合物，與架橋劑等混合形成網狀聚合之結構，可得到強韌之皮膜。一般架橋劑成分為異氰酸基 (NCO) 約在 12-15%。在樹脂廠製作架橋劑時需多量添加如二異氰酸甲苯、二異氰酸己酯等，其成品包裝作業勞工之異氰酸酯之暴露可

能會高於勞工法令容許濃度之值；另一方面，在合成皮製造之原料調配時仍需注意架橋劑所產生異氰酸酯之刺激性危害。

(六)促進劑

促進劑或稱為催化劑。PU 預聚物樹脂與架橋劑反應時添加促進劑加速反應，較通常使用為三級胺、有機金屬化合物（如三丁基錫、二甲基月桂丁基錫等有機錫）。促進劑之使用量約為 0.1%。部分成分之有機錫屬致癌物或管制農藥，但 PU 樹脂中仍可能殘存促進劑之危害性，尚需提醒作業勞工之注意。

(七)表面處理劑

PU 皮表面若要求特殊顏色、花樣、手感或光霧度，則需將成品再做一次亮度處理或印刷處理。在表面層塗上一層原料與樹脂混合之薄膜，即印刷層等，以賦予 PU 合成皮有特殊花樣或油感、臘感或霧面、亮面等特性。其中除可能需添加較強之溶劑如二甲基甲醯胺、異丙醇等外，也需加入消光劑如二氧化鈦或白煙（二氧化矽，silica）等物質。因此在表面處理機台部份像是印刷機的操作，當溶劑逸散量較大且局部排氣效果不佳時，則操作勞工所受

溶劑之暴露危害則變為顯著。

(八)離型紙

在特殊紙類表面塗佈矽酮樹脂 (silicone resin) 或聚丙烯層作離型紙，用以加工轉移壓紋至 PU 皮膜以形成有紋路之合成皮。其所循環使用次數依製程花紋紙質而定，平均約 3-7 次。

(九)添加劑

為降低成本或改變其特性，在配料時會加入添加劑，包括木質纖維、界面活性劑、白煙及碳酸鈣。

二、製造流程

傳統 PU 合成皮工廠內主要製程，初步劃分不同相似暴露群組略述如下（以 A 廠為例，配置圖如附圖一）：

(一)乾式製程

大致流程為原料經配料、塗佈至基布上，再加上離型紙上機台，經塗面料、烘乾、塗底料、貼合基布、烘乾、捲取、熟成、分離、表面處理後經中檢或揉紋再經成檢後即為成品。（如附圖二）

1、乾式配料群組：樹脂與溶劑甲苯、丁酮、乙酸乙酯、異丙醇、5-10%DMF 含量等混合攪拌配料供乾式塗

佈機使用。

2、乾式塗佈機前段群組：離型紙上機台，經塗面料、烘乾、塗底料、貼合基布、烘乾等程序，塗面料底料過程勞工先將溶劑、原料攪拌均勻以杓子倒入或以泵打入塗佈槽。

3、乾式塗佈機後段群組：乾式 PU 合成皮半成品烘乾後捲取經儲存二天熟成再分離離型紙。

4、表面處理機群組：使用溶劑有丁酮、異丙醇、DMF 等，其中丁酮使用量較多，塗佈過程為將溶劑、原料攪拌均勻以杓子倒入或以泵打入塗佈槽。

(二)濕式製程

大致流程為原料經配料含浸 PU 塗料後凝固，擠水，燙平，清洗，擠水，定型烘乾等步驟後為濕式半成品，再經加工如壓花、研磨、表面處理或印刷、乾式加工流程等而得到有紋路、珠面毛面濕式 PU 合成皮。(如附圖三)

1、濕式配料群組：樹脂與含 10%以上 DMF 溶劑等混合攪拌配料供濕式塗佈機使用，DMF 加料係以管線加料。

2、濕式塗佈機群組：儲布、刷布、含浸 PU 塗料後凝固

(第一次塗佈)、擠水、燙平、塗佈 PU 塗料後凝固(第二次塗佈)、清洗、擠水，定型烘乾、捲取等步驟後為濕式半成品，第一次塗佈有加塑膠遮罩本區較高溫高濕，含浸水槽 10%以上之 DMF，爾後再將 DMF 再回收處理使用。

(三)其他部門 (如附圖三)

- 1、壓花機群組：含揉紋機部門，濕式半成品(放置時間不一定，有殘留 DMF)即送至該部門經 170°C 高溫壓花機加工，清洗機台時短時間使用丁酮溶劑。乾式半成品經表面處理或印刷後(放置時間不一定，有殘留 DMF)即送揉紋機加工處理。
- 2、中檢組：此作業區為乾式或濕式部門送來之布料(有殘留溶劑)經檢查、裁剪，並視客戶需求送乾式塗佈或壓花，鄰近貼合機區。
- 3、布檢組：為新進用布料檢驗，看布料有無瑕疵，送各部門使用，未使用溶劑，但現場仍有溶劑味道，可能為排氣口 DMF 二次污染背景所散發出來的。
- 4、樹脂合成群組：PU 樹脂之主要原料以具有羥基為末端基之聚酯或聚醚多元醇，與溶劑甲苯、丁酮、DMF 及特定化學物質二異氰酸甲苯(TDI)反應而成，溶劑以管線

加料、助劑以泵加料，反應後卸料時間約為一小時。

- 5、打樣室組：係製作樣本為主，相當於現場流程之試驗工場，操作步驟有倒料、攪拌、塗佈、反應等，使用化學品有甲苯、丁酮、乙酸乙酯、異丙醇、DMF 及 TDI 等。
- 6、加工課群組：為皮革加工處理，過程為初檢、燙平、淋幕塗佈（無抽風設施）、烘乾、貼合、裁邊、成檢，使用溶劑有甲苯、丁酮、及 DMF。
- 7、染色課群組：為上游作業區，將布料染色，未使用溶劑。
- 8、研磨課群組：為濕式製程半成品經中檢後加工製程，有少量殘留 DMF 溶劑。
- 9、研開中心群組：研究開發有塗佈試驗、合成試驗等現場流程之試驗等，使用化學品與打樣室相同。
- 10、成品課群組：乾濕式製成品經各種加工後品質檢查，鄰近處理機場所。
- 11、貼合機群組：為複合材貼合，製程為送料、上底料、烘乾、貼、裁邊、中檢，使用黃膠（含甲苯）、PU 樹脂（含 DMF）及丁酮等。
- 12、行政部群組：以有到現場巡視之主管或人員作為採樣對象。

第二節 DMF 物化性質與容許標準

一、二甲基甲醯胺一般性質

DMF 化學結構式 C_3H_7NO ，CAS 登記號碼 68-12-2，為無色穩定性液體，帶有氨氣微臭味，具有高介電常數，具易溶於水及有機溶劑之特性。在工業上為使用廣泛之第二種有機溶劑，當溫度高於 $350^{\circ}C$ 時會分解成二甲基胺及二氧化碳，易與烷基鋁類直接反應，與四氯化碳及碳氫鹵族在接觸強氧化劑條件下會起火爆炸。物理化學性質為在 $20^{\circ}C$ 蒸氣壓為 $2.65/0.35$ (mmHg / kPa) 易釋放於大氣，溶點 $-60.5^{\circ}C$ ，沸點 $153^{\circ}C$ ，閃火點 $58^{\circ}C$ (閉杯)。屬於我國勞工法令有機溶劑中毒預防規則⁽¹⁴⁾所列管之第二種有機溶劑及引火性液體，首次於 1893 年以二甲基胺及一氧化碳原料合成。全球量產之 DMF 約有 65-76% 使用在壓克力纖維、PU 樹脂和合成皮生產上。在工業上主要用途⁽¹⁵⁾如下：

- (一) 聚丙烯腈(acrylnitrinile)或醋酸合成纖維溶劑。
- (二) 樹脂、橡膠聚合單體溶劑。
- (三) 農藥合成溶劑。
- (四) 皮革、紙張、纖維、木製品染料、顏料溶劑。
- (五) 化學製品、製藥化學中間物觸媒。
- (六) PU 樹脂合成皮、合成橡膠溶劑。

(七)回收、純化、吸附、分離等化工單元製程上使用吸附、萃取溶劑。

二、職業暴露之容許標準

依據國內勞工安全衛生法令空氣中有害物質容許濃度標準 DMF 八小時量平均容許濃度為 10 ppm(30 mg/m³)，並註有「皮」，表示 DMF 易從皮膚粘膜滲入體內⁽³¹⁾，日本 JOSH 1999 年 (The Japan Society of Occupational Health)，美國工業衛生師協會 ACGIH (The American Conference of Goverment Industrial Hygienists)、美國職業安全衛生署 OSHA(Occupational Safety and Healthy Agency)及德國 DFG (Deutssche Forschungsgemeinschaft)建議職業暴露值皆為 10 ppm。

三、人體內生物偵測指標

美國 ACGIH 及德國 DFG 建議尿液於下班時收集，生物暴露指標(BEI ，Biological Exposure Index) 及 BAT (Biologischer Arbeitsplatz Toleranzwert)之 NMF 標準為 40mg/g cre.，但於 1999 年改變其標準為無肌酐酸 (creatinine) 校正 15mg/l urine ，而張氏等⁽²⁷⁾所對國內中部某家 PU 合成皮工廠 11 位勞工所作研究結果，以無肌酐酸校正及肌酐酸校正結果兩者無顯著不同，皆可作生物指標。在德國 BAT 標準為 NMF 30 mg /l 在八小時 30mg/m³(10

ppm)DMF 暴露下，德國 DFG (2004)建議下班時 NMF 恕限值(TLV)為 35 mg/l，ACGIH (2004)建議 BEI 建議值為 15mg/l⁽²⁴⁾，Wrbitzky⁽²⁸⁾研究結果顯示喝酒習慣會延遲體內 NMF 排除放，導致在尿中 NMF 檢出量降低，此作者⁽²⁰⁾也以 GC 分析時 DMF-OH 及 NMF-OH 時得知經加熱會轉換成 NMF，認為以 NMF 作為人體內生物偵測指標較適當，一般 NMF 半衰期為 4 小時，AMCC 半衰期較長為 23 小時，NMF 於隔天勞工作業前採樣在尿中並無累積性，Sakai 等⁽²¹⁾提出暴露 DMF24 小時後其尿中 NMF 幾乎衰減至零，而 AMCC 則會在尿中保持常態不變，因此作者建議 NMF 可當作短期的，AMCC 可當作較長期 DMF 暴露的生物暴露指標。ACGIH 於 2000 年建立 AMCC 暴露容許濃度為 40mg/l (代謝過程如附圖四)⁽¹⁶⁾。Mraz⁽²⁹⁾亦指出短時間暴露的 NMF 為可信賴生物指標，但對長時間之健康風險評估則以 AMCC 為生物指標較能有代表性。Wrbitzky 等⁽²⁰⁾指出從預防職業病觀點，以 NMF 生物偵測可當作最好暴露評估工具。Kafferlein 等⁽²⁴⁾指出暴露於 DMF 生物暴露劑量由二種主要尿中代謝物決定即 HMMF、AMCC，但 NMF 總量為較受普遍使用之生物暴露指標，NMF 總量除了 DMF 代謝過程產生外，其中大部分是由 HMMF 於分析過程時，因 GC 注射溫度高於 250 °C 轉變成，或者分析時加入 K₂CO₃ 轉變而成。近年來有發

展較新之 DMF 暴露生物指標，如 DMF 代謝過程時之血紅素鍵結 MVH (3-methyl- 5-isopropylhy hydantoin)，因 MVH 在人體內殘留時間超過四個月，與血紅素生命期相同，因此可作為長期暴露之生物指標（代謝過程如附圖四）。Mraz 等⁽³⁰⁾ 曾對八位志願者所作血紅素鍵結研究，MVH 建議值為 135 nmol MVH/g globin，可作為 DMF 長時間暴露累積性生物偵測指標。Nomiyama⁽³⁵⁾ 等對日本 13 位男性志願者研究指出依據排出尿液 NMF 量，皮膚及呼吸進入劑量分別為 40.4%及 59.6%，皮膚及呼吸進入 NMF 半衰期分別為 4.75 小時及 2.42 小時，另比較由肝肌酸(creatinine)校正、體積校正或比重校正之尿液 NMF 濃度與尿液排放 NMF 總量之相關性結果，由肝肌酸校正有較好之相關性。

第三節 DMF 毒性及流行病學研究

一、動物研究

DMF 急性毒性由各種動物實驗結果相當低，老鼠(rat)口服半數致死量 LD₅₀ 為 3-7.5g/kg，皮膚吸收半數致死量 LD₅₀ 大於 3.2g/kg，7 小時吸入半數致死量 LC₅₀ 為大於 5495g/kg 部分研究指出有腎毒性，亦有報告指出在老鼠(rat)、小鼠(mice)和兔子實驗有致胎兒毒性及致畸胎性，而兔子吸入實驗在 450ppm 以上有致畸胎性高敏感度^(15. 16)。Hellwig⁽¹⁷⁾

等提出對每天小鼠 (mice) 注射 580ul/kg DMF，在 241 隻懷孕母鼠中有 17 隻致畸胎性 (缺唇等)，Scailteur 等⁽¹⁸⁾對大鼠所作研究顯示 DMF 代謝成 DMF-OH 而需有 OH-自由基之代謝，此點可說明酒精與 DMF 同時在肝臟代謝時對 OH-自由基代謝有競爭作用，致使 DMF 需較長時間代謝成 DMF-OH。Malley 等⁽¹⁹⁾對小鼠吸入暴露慢性毒性及致癌性所作研究，在 25-400 ppm DMF 濃度下二年暴露時間並無血液組成改變，若在 100 或 400 ppm 時血漿去氫活動增加，且有肝腫大情況。

二、DMF 之代謝機轉

DMF 代謝轉換主要發生在肝臟 microsomal enzyme systems 之酵素氧化，主要代謝物 HMMF (or DMF-OH, N-hydroxymethyl- N-methyl- formamide)，去甲基化形成 NMF (N-methyl- formamide)及 formamide，NMF 可經與 glutathione (GSH)反應結合成 SMG (S-(N-methylcarbamoyl)-glutathione)，經氧化形成含異氰酸甲酯 MIC 基 (methyl-isocyanate)中間物即為代謝物 AMCC (N-Acetyl- S-(N-methylcarbamoyl)- cysteine)，而 HMMF 和 GSH 結合反應亦可形成 SMG 再代謝成 AMCC，此外另尚有少量 NMF-OH 含有未轉換 DMF，全部代謝物排放至尿液中⁽¹⁶⁾，Wrbitzky 等⁽²⁰⁾研究顯示環境中 DMF 與尿中 NMF 濃度有顯著相關

性。Sakai 等⁽²¹⁾認為 HMMF 為 DMF 主要代謝物之一，DMF 代謝物中 NMF 是無毒的，但 NMF 延遲排泄或 DMF 較慢代謝成 HMMF，導致形成 AMCC 則可能造成肝臟毒性原因之一。Kafferlein⁽²²⁾指出 AMCC 代謝物對於 DMF 毒性機構之了解提供有利證據，其結構中帶有 MIC (Methyl isocyanate) 基可能是造成肝毒性主要原因。Amato 等⁽²³⁾指出 DMF 經 microsomal oxidation 去甲基化形成 HMMF，是決定於人類細胞染色體中 P450 2E1 之基因型 (如附圖四)，因此暴露勞工體內 P450 2E1 表現之豐富或缺乏將會影響 DMF 暴露代謝結果。Kafferlein 等⁽²⁴⁾研究指出近幾年生物偵測指標著重於 AMCC，而 AMCC 從 DMF 代謝量估計為 10-20%，AMCC 為 GSH 與 MIC 最終產物，MIC 為 DMF 代謝物中間產物。Gescher⁽²⁵⁾、Kafferlein⁽²⁶⁾等探討 DMF 人體代謝過程有產生中間產物 MIC 危害性，提出 MIC 物質為 DMF 為職場暴露代謝過程最主要危害物，因此 AMCC 比 NMF 之濃度總量對於人類暴露 DMF 健康風險評估更具有代表性。

三、DMF 臨床症狀

(一)急性中毒

工作中不慎被 DMF 濺灑身體大部分面積造成急性中毒主要臨床症狀為肝功能障害，吸入亦會造成腎功能影響，其他症狀有腹絞痛、食慾減退、反胃、嘔吐、疲勞、酒精

不耐性、皮膚炎、眼睛刺激等，若 DMF 濃度達 500ppm 有立即生命健康危險^(15.37)。

(二)長時間暴露

人類長時間暴露結果研究已證實長時間 DMF 暴露有致睪丸癌風險，DMF 可能為致畸胎原，在動物實驗有減少胎兒重量及增加自然流產率，會造成肝及消化系統問題，其他症狀有頭痛、食慾減退、記憶減退^(15.21.37.38)，肝功能影響可由血漿 bilirubin levels、肝酵素血清活性包括 transaminases, alkaline phosphatase、r-GT(gamma- glutamyl transpeptidase)、AST(alanine amino-transfe- rase)、ALT(aspartate amino- transferase)測得。Wrbitzky⁽²⁸⁾ DMF 暴露勞工與研究肝功能測定值 r-GT、AST 異常有顯著差異。羅氏等⁽⁶⁾ 及王氏等⁽³⁸⁾ 指出 B 型肝炎帶原者(HBV)暴露於 DMF 下較一般人容易造成肝功能異常。王氏等⁽³⁹⁾ 對 PU 皮工廠 183 位勞工所作研究指出 DMF 暴露與肝功測定值 ALT (Alanine amino- transferase >35 U/L) 有統計上顯著有相關性，並指出 B 型肝炎帶原者(HBV)暴露於 DMF 下較一般人容易造成肝功能異常，可能原因為 B 型肝炎帶原者(HBV)帶有混合功能氧化酵素(MFO)，可將 DMF 快速代謝成 NMF，而 NMF 毒性較 DMF 為強，結果造成暴露 DMF 勞工與 B 型肝炎帶原者對肝功能有加成危害之現

象。羅氏等⁽⁶⁾對國內 176 位勞工研究結果 DMF 高濃度暴露者(>10 ppm)有 40%肝功能異常，中濃度(5-10 ppm)有 27%肝功能異常，低濃度有(<5 ppm)22%肝功能異常，且肝功能異常與 HBV 帶原者及 BMI (Body mass index)均有顯著性相關。

四、DMF 致癌性流行病學研究

Bainova 等⁽¹⁵⁾在動物體內及體外(in vitro & vivo) 實驗顯示 DMF 不會造成基因突變，Ducatman 等⁽⁴⁰⁾對 153 名噴射航空器工人研究報告指出暴露於 DMF 作業環境下有三名工人睪丸細胞增殖腫瘤案例。Gollins 等⁽⁴¹⁾亦指出暴露於 DMF 環境下有發生睪丸癌情形，Levin 等⁽⁴²⁾在美國一家皮革廠工人中亦有三個睪丸細胞增殖案例。因此 DMF 被 IARC (International Agency for Research on Cancer) 歸類在 2B 類之可能致癌物⁽³⁷⁾。Walrath 等⁽⁴³⁾於 1988 年對杜邦工廠 8724 位勞工所作 DMF 暴露癌症之病例對照研究法指出暴露 DMF 與口腔癌、咽喉癌、攝護腺癌、睪丸癌並無顯著性之相關。Mraz 等⁽³⁰⁾對捷克國內 8 位自願者手部浸入 DMF 溶劑，研究血液中鍵結血紅素 MVH (3-methyl- 5-isopropyl-hydantoin)實驗結果，提出 DMF 暴露有基因毒性效應。

五、職場暴露情形

羅氏等⁽⁶⁾於 1996 年對國內一家大型樹脂合成工廠所作

職場暴露平均濃度為 11.6ppm。郭氏等^(2,3)於 1997 年對國內一家大型合成皮工廠所作研究高濃度區域採樣平均濃度為 27.64mg/m³，41 個區域採樣中有 15 個區域 36.6%超過標準，高濃度個人採樣平均濃度為 27.01mg/m³，五分之一受測勞工有肝功能異常，下班後尿液 NMF 平均值低於 ACGIH 建議之 BEI 值 40mg/g cre.，環境測定與生物偵測有顯著性相關。前台灣省政府勞工處⁽⁵²⁾於 86 至 87 年間針對國內 15 個 PU 樹脂合成皮製造事業單位實施有機溶劑作業環境測定，計 164 個勞工個人採樣樣本，DMF 平均暴露濃度為 9.0 ppm，約有 34% 勞工暴露超過容許濃度，以濕式或乾式塗佈區勞工暴露為最高，濕式平均為 12.8 ppm，有 63%超過容許濃度；乾式塗佈區平均為 8.5 ppm，有 32%超過容許濃度。張氏等⁽²⁷⁾對國內中部一家合成皮工廠 11 位勞工所作五天連續個人採樣平均濃度為 10.8ppm。Kim 等⁽³²⁾對韓國 144 位合成皮工廠勞工研究結果 DMF 平均濃度為 8.8ppm 有 37.9%超過標準 10 ppm，NMF 平均濃度為 47.5 mg/l 有 89.5%超過法令容許標準濃度 15 mg/l，且兩者有顯著性之相關，但前一天喝酒會影響 NMF 尿中排放，在尿中 AMCC 排放與 DMF 濃度並無顯著之相關。郭氏等⁽³⁾於 1997 年對一家 PU 樹脂工廠所建議職業健康改善策略，並於 1999 年驗收結果，DMF 有大幅度改善，

NMF 也有 35.6%降低，職業健康改善策略內容包括：1.加強局部排風。2.規定加強個人安全操作觀念，以減少溶劑揮發。3.裝設 DMF 回收設備。4.規定勞工必須佩戴個人防護裝備。5.工人必須輪流於高濃度區輪班，以降低暴露濃度。6.六個月工程改善計畫，由工業衛生師檢定，若超過容許濃度，則必須對工程設備作調整。7.每年進行健康檢查，以掌握勞工肝功能狀況，其中以加強局部排風防 DMF 暴露效果較大。

(一)皮膚暴露

Mraz 等⁽²⁹⁾所作 DMF 人體手部浸入及貼布實驗研究結果，在低排風換氣狀況，DMF 經皮膚吸收速率為劑量約為全部吸收劑量 13-36%，皮膚吸收量可能超過二倍之呼吸進入人體量。DMF 皮膚吸收對於體內生物偵測 NMF 濃度影響很大，因此勞工 NMF 的測定結果變異性較大^(2.20.33)。楊氏等⁽³³⁾指出不同工作型態影響 DMF 進入體內劑量，其中二項主要因素分別為：①勞工相關因素：工作細目、流汗、防護具使用等。②環境相關因素：工作環境溫度、濕度，高溫濕度下將使皮膚吸收率增加。勞工佩戴防護具是 NMF 變異性影響因素之一。Miyachi 等⁽³⁴⁾對 3 位男性自願者所作 DMF 皮膚吸收與肺部吸收實驗結果，皮膚吸收率分別為 62%、26% 及 27%，由皮膚吸收之尿液中 NMF 半衰期為 4.75

小時，肺部吸收為 2.42 小時。Nomiyama 等⁽³⁵⁾對 13 位自願者暴露於 10ppm DMF 濃度環境下 4 小時所作之實驗，結果得知由皮膚吸收劑量為 40.4%，因此勞工皮膚吸收 DMF 之準確暴露不容忽視。

(二)其他溶劑共暴露影響

楊氏等⁽³³⁾、羅氏等⁽⁶⁾均指出高濃度甲苯共暴露影響將抑制 DMF 延遲代謝成 NMF 會減低 DMF 毒性，其因素可能與醛去氫氧酵素(aldehyde dehydrogenase enzymes)競爭作用有關。Osunsanya 等⁽³⁶⁾指出若同時 DMF 暴露和攝取高劑量酒精結果會造人體臉部潮紅感，酒精無法短時間代謝掉，其因素亦可能與醛去氫氧酵素競爭作用有關。張氏等⁽²⁷⁾對國內中部某一家 PU 合成皮工廠 11 位勞工研究丁酮(MEK) 共暴露影響結果，MEK 對尿液中 DMF 影響較尿液中 NMF 影響為大，但本研究 MEK 濃度為 27.66ppm，遠低於容許濃度 200 ppm，因此高濃度不同溶劑影響人體代謝之結果，仍要更進一步研究。

(三)DMF 暴露與其生物偵測之相關性

Imbriani⁽⁴⁴⁾對意大利 25 位合成皮工廠男性自願者所作研究，提出短時間暴露生物指標 $NMF(mg/g\ cre.) = 0.936 \times DMF(mg/m^3) + 7.306$ ($R^2=0.522, P<0.0001$); 長時間暴露生物指標 $AMCC(mg/l) = 1.384 \times DMF(mg/m^3) + 8.708$

($R^2=0.47$, $P<0.008$), 均有顯著性相關。Miyachi 等⁽³⁴⁾ 對日本 4 位合成樹脂工廠男性自願者所作研究也認為 DMF 與 NMF 線性關係有顯著性相關, $NMF(\text{mmol/mol cre.})=3.624 \times \text{DMF}(\text{mg/m}^3) - 0.907$ ($R^2=0.95$)。Wrbitzky 等⁽²⁰⁾ 對德國某一家合成皮纖維工廠 126 位勞工研究, 提出 DMF 與 NMF 線性關係式, $NMF(\text{mg/l})=1.597 \times \text{DMF}(\text{ppm}) + 8.395$ ($R=0.637$) 或 $NMF(\text{mg/g cre.})=0.749 \times \text{DMF}(\text{ppm}) + 5.844$ ($R=0.523$, P 值 <0.0001)。Lauwerys 等⁽⁴⁵⁾ (1980) 提出 DMF 與 NMF 線性關係式為 $NMF(\text{mg/g cre.})=12.0 \times \text{DMF}(\text{ppm}) - 7.5$; ($R=0.91$, P 值 <0.001)。Osunsanya 等⁽³⁶⁾ (2001) 對英國某家 PU 合成皮工廠 9 位勞工研究, 提出 DMF 與 NMF 線性關係式 $NMF(\text{mmol/mol cre.})=3.624 \times \text{DMF}(\text{mg/m}^3) - 0.907$ ($R=0.89$, P 值 <0.001)。Sakai 等⁽²¹⁾ 於 1991 年對日本某家 PU 樹脂合成工廠 10 位勞工所作研究, 提出 DMF 與 NMF 線性關係式 $NMF(\text{mg/g cre.})=6.65 \times \text{DMF}(\text{ppm}) - 4.6$; ($R=0.89$, P 值 <0.001)。陳俊璋⁽⁷⁾ 對國內 8 家 PU 樹脂合成工廠 165 位勞工研究, 得知空氣中 DMF 與尿中 NMF 之線性關係式為 $NMF(\text{mg/g cre.})=3.75 \times \text{DMF}(\text{ppm}) + 4.21$; ($R=0.626$)。

第四節 職業暴露評估與策略

1991年 Sieber⁽⁹⁾發表以美國職業危害調查資料發展工作暴露矩陣(JEM, job exposure matrix)概念，是利用以各工業或工廠工作項目、工人訪談、公司紀錄等建構而成，由 NIOSH (The National Institute for Occupational Safety and Health)研究發展，1972-1974年國家職場危害調查資料(NOHS, National Occupational Hazard Survey)為 NIOSH 根據美國職場上潛在暴露危害資料收集而成，描述各類職場勞工暴露之物理性、化學性及生物性危害，稱之為 NOHS- JEM。其方法為由工業標準分類 (Industry SIC, Standard Industry Classification)、潛在暴露危害物 (Potential Exposure Agent)、職業 (Occupation) 之三度空間所建構，主要目的作各行業危害物流行病學罹病率、致死率等調查研究。1991年 Cicioni⁽¹⁰⁾則利用 NOHS-JEM 方法及洛杉磯癌症調查程序 (CSP, Los Angeles County Cancer Surveillance Program) 資料，研究美國洛杉磯區石棉暴露造成間皮瘤癌風險，結果在石棉高暴露及低暴露區勝算比(OR, odds ratio)分別為 2.0、2.5。2003年 Maher⁽¹¹⁾發表以 JEM 方法於1996年對美國西北部天然氣供應工業各工作站 337位勞工危害物暴露研究，以問卷方式調查，並將危害分為吸入化學危害、皮膚吸收危害、物理危害、人體工學危害、心理學風險因素及生物性危害等，其方法第一步先製作各工作站可能使用危害物

表單，第二步收集各工作站危害物使用量及頻率，最後再作數據驗證及檢查以確認各工作站危害物暴露結果。其中一項調查結果為工作站勞工對於酚有 60% 表示高度不確定性，因此工業衛生師必須著手調查此危害物，以消弭勞工不安。2001 年 Geronsin⁽¹²⁾發表工作危害之評估(JHA, Job Hazard Assessment)，其方法為：成立 JHA team→發掘並紀錄全廠各設備、工作步驟之可能化學性、物理性、生物性等危害物→確認暴露對象及人口→依危害物之嚴重度、發生機率等作整體性風險分析以評估危害等級→建議危害控制方法。該方法被有效率使用在了解職場上可能使用危害物之特性及其可能造成對職場之衝擊傷害。綜觀上述暴露評估方法，都是對全廠區或整個工業各種暴露危害物相關風險評估之廣面研究，並未對單一暴露危害物作相關暴露之評估。

1991 年美國工業衛生學會(AIHA)暴露評估策略委員會出版第一版職業暴露評估與處理策略，1998 年再針對某些觀念更新、新發現及理論推出第二版⁽⁸⁾，此書有幾項特色包括：1. 同質性暴露群組 (HEGs, Homogenous exposure group) 已不再使用，改為相似暴露群組 (SEGs, Similiar exposure group)。2. 職業暴露標準 (OEL, Occupational Exposure level)，為判斷工作場所暴露基本工具。3. 暴露評估不再以測定數據為主，也可以定性方法評估。4. 加入不確定性、健康效應資料、職業暴

露標準等因素以判斷暴露等級及決定處理政策。5. 暴露評估與處理策略必須藉由循環連續方法，重複認知危害、評估等，以增加了解暴露危害等級及改變控制措施。6. 傳統職業衛生師強調以個人採樣測定空氣污染、噪音暴露值等，但模式技術 (Modeling technique) 方法亦逐漸被廣泛接受，且可能成為將來評估方法。7. 在職業暴露皮膚吸收途徑角色越形重要。8. 同時暴露於不同 SEGs 勞工，有較高健康風險，職業衛生師可藉由環測數據再加以分類定義其 SEGs。9. 當暴露評估超過 10% OEL 時，即應開始收集環測數據或使用模式技術以定量職場危害程度。10. 職場暴露資料由以下六種資料決定：工作場所資料、環境危害物資料、工人資料、SEG 資料、環測資料、暴露評估資料。11. 統計工具可幫助職業衛生師更了解職場暴露之輪廓及判斷暴露程度。

採樣策略理論架構，依據 1998 年 AIHA 的暴露評估策略方法，各步驟略述如下：(如附圖五)

一、開始階段

建立暴露評估策略，著眼於工業衛生師角色、暴露評估目標、暴露評估程式。

二、建立基本資料收集

收集工作場所工作流程、勞工工作負荷、暴露危害物、工作環境狀況等。

三、暴露評估

(一)定義相似暴露群 (SEGs)：相似暴露群的勞工有相同暴露實態，以工作製程、工作項目、工作性質、控制設備、原物料等資料收集，以區分不同相似暴露群。

(二)定義暴露輪廓(exposure profiles)：暴露輪廓為勞工工作場所暴露強度估計，包含定性及定量數據，剛開始資料收集及評估以定性為主。

定性分析 (初步危害分析)：

危害評估總分之評分標準：

危害評估總分=健康風險等級 HRR (health risk rating)
×不確定度 UR (uncertainty rating)

健康風險等級 HRR (health risk rating) = 健康效應等級 HER (health effect rating) × 暴露等級 ER (exposure rating)

(三)判斷相似暴露群暴露輪廓是否可接受：依據環境危害物估計暴露等級、健康危害嚴重性、不確定性、結合暴露實態、健康效應等資料作判斷。

1、暴露判斷不可接受：列為優先控制對象，發展健康危害控制。

2、暴露判斷不確定性：優先收集暴露能量資料，了解其危害性，以定性暴露實態。

3、暴露判斷可接受：再評估以證實繼續可接受。

四、收集更多資料

確認暴露能量危害性，更多資料收集為優先工作項目，資料需求隨著暴露實態和判斷而改變，包含下項目。

(一)暴露偵測：假如暴露輪廓不能相當特定化(characterize)時，則個人採樣是必需的。

(二)暴露模式：若變數太多使用數學模式技術估計新製程或產品暴露潛能，不易建立暴露之模式。

(三)生物偵測：為掌控暴露輪廓之特定化，生物偵測是必需的，部分暴露危害物可經由皮膚吸收或偶然吸入接觸。

(四)毒性數據：物質毒性不了解，對於判斷暴露可接受性將是一大難題，因此收集更多健康效應資料，將有助於評估暴露之危害。

(五)流行病學數據：流行病學研究結果對於暴露是否可接受性是有幫助的。

五、健康危害控制

使用暴露評估結果優先發展危害控制之場所，再利用健康診斷之偵測，共同作為工程改變控制良好與否之依據。

六、再評估

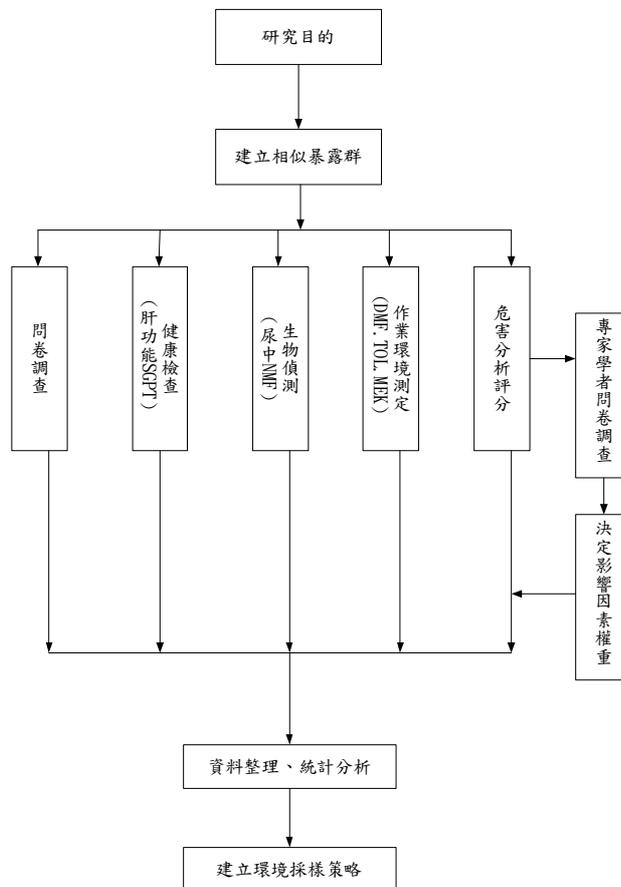
暴露輪廓與相似暴露群組隨時保持更新是很重要的，因此對於整體評估過程，必須定期或於製程有所改變時，重新

再作評估動作，以確實掌控暴露輪廓。

第三章 材料與方法

第一節 研究架構

本研究在建立作業環境測定採樣策略，主要的研究架構為工廠作業流程收集、作業暴露特性分析、建立相似暴露群、危害分析評分（專家學者實地訪視調查、決定影響因素權重）、各種溶劑作業環境測定、DMF之生物偵測、勞工健康檢查(肝功能SGPT)及問卷調查、再做資料整理與統計分析，綜合分析結果建立環境採樣策略。



第二節 研究對象

本研究主要以中部某一家 PU 樹脂合成皮工廠(以下簡稱 A 廠) 暴露 DMF 勞工作為評估對象，進行相似暴露群 (SEGs, similar exposure groups) 量化風險之評估。該工廠建廠時間已有 32 年，僱用勞工人數約有 290 人，生產製程可分成三大類，分別為 PU 樹脂合成、濕式合成皮製造、乾式合成皮製造。另選擇一家同類型傳統製程工廠 (以下簡稱 B 廠) 建廠時間約有 20 年，勞工人數約有 240 人，另一家則為濕式合成皮製造工廠 (以下簡稱 C 廠) 建廠時間約 5 年，勞工人數有 60 人以作整體性研究。

第三節 研究方法

一、結構式問卷

問卷調查內容包括：1、基本資料如年齡、性別、教育程度、職業史等項目，並對工作環境與自覺健康之評估。2、生活習慣如抽煙、喝酒、喝茶、喝咖啡、活動量等項目。3、身體自覺症狀包括最近三個月有無疲倦、頭昏、皮膚有紅斑或皮膚癢等 20 種與 DMF 暴露相關症狀之項目，以五分法來評估其自覺症狀嚴重性。(附錄一)

二、建立相似暴露群

先依製程、工作項目、工作性質、暴露危害物等建立作業

主 因 素	次 因 素
健康效應等級 (HER)	環境溫度、濕度，DMF 開放面積，DMF 含量百分比，DMF 接觸情形，防護具使用情形，其他溶劑使用情形
暴露等級 (ER)	作業環境整潔度，控制措施，暴露時間長短
不確定度 (UR)	穿著情形，流汗情形，整體環境

暴露特性分析，再以各製程生產方式之機台操作為基礎，作業暴露特性分析，倘若作業場所勞工作業及暴露 DMF 方式差異不大，則將該等勞工列為相似暴露群。各相似暴露群 DMF 環測結時果經統計分析如無統計上顯著不同時，第二次規劃時再作調整，將數個相似暴露群合併或再建立不同相似暴露群。A 廠初步分為 18 個相似暴露群，經調整後分為 12 個相似暴露群、B 廠共分為 8 個相似暴露群、C 廠共分為 5 個相似暴露群。

(表十二)

三、初步危害分析

(一)危害評分紀錄表

依據過去相關文獻^(2.3.6.20.27.33.34.35.36)將勞工暴露於 DMF 之整體危害因素共整理成 3 大主因素及 12 項次因素。(附錄二)

(二)危害評分方式

危害評分紀錄表評分計算簡述如下：各危害因素係採三分法，每項因素依其嚴重性分別給分，最高3分，其次為2分，最低為1分，再乘以專家學者權重分數為其評分總分。

危害評估總分=權重×健康效應等級 HER (health effect rating) ×權重×暴露等級 ER (exposure rating) ×權重×不確定度 UR(uncertainty rating) ×100

健康效應等級(HER)=權重×環境溫度、濕度+權重×DMF 開放面積權重×DMF 含量百分比+權重×DMF 含量百分比+權重×DMF 接觸情形+權重×防護具使用情形+其他溶劑使用情形

暴露等級(ER)=權重×作業環境整潔度+權重×控制措施+權重×暴露時間長短

作業環境整潔度=(逸散源+電扇、冷氣使用情形+鄰近作業相互污染情形) / 3

不確定度評分表(UR)=權重×穿著情形+權重×流汗情形+權重×整體環境

(三)各因素的權重分數決定

依據分層分析法(AHP, Analytic Hierarchy Process)之理論，藉由九位專家學者，其中三位為多年研究 DMF 之學者，二位為十年以上工作經驗 PU 合成皮工廠勞工安全衛生管理人

員，另四位為從事職業衛生檢查之政府機關人員，經由實地訪視調查(附錄三)，決定 PU 合成皮工廠等勞工暴露於 DMF 之整體危害影響各因素的權重分數。分層分析法(AHP)係採 pairwise comparisons 計算每一個因素之權數，再進行衡量。

基本步驟如下：

決定各因素→各因素成對比較，兩兩相比(權重分數 1-9 分)

→完成成對比較後，可計算該因素之衡量值，以某一學者

主因素訪視結果為例計算如下：

	健康效應影響	勞工暴露影響	不確定度影響
健康效應影響	1	7	5
勞工暴露影響	$1/7=0.143$	1	7
不確定度影響	$1/5=0.2$	$1/7=0.143$	1
Column totals	1.343	8.143	13

→再在每一欄位裡，由原始值除以總和，得到下表

	健康效應影響	勞工暴露影響	不確定度影響
健康效應影響	$1/1.343=0.745$	$7/8.143=0.860$	$5/13=0.385$
勞工暴露影響	$0.143/1.343=0.106$	$1/8.143=0.123$	$7/13=0.538$
不確定度影響	$0.2/1.343=0.149$	$0.143/8.143=0.019$	$1/13=0.077$

→各因素權重，可經由列的平均值計算出

主因素	加總之平均
健康效應影響	$(0.745+0.860+0.385)/3=0.663$
勞工暴露影響	$(0.106+0.123+0.538)/3=0.256$
不確定度影響	$(0.149+0.019+0.077)/3=0.081$

→最後再將 9 位專家學者加總平均，其他次因素計算同上

例。

第四節 作業環境之採樣策略

一、採樣前準備工作

(一) 作業環境採樣進行前，先至工廠與其主管及工廠工業安全衛生人員進行溝通，說明研究目的並至現場實際參觀瞭解工作流程、工作性質、員工人數以及輪班情形。

(二) 採樣點選定

1. A 廠計有 12 個相似暴露群組共分 4 次採樣，每一相似暴露群至少採樣 6 個樣本，但有 2 個相似暴露群組因勞工人數較少未達 6 個樣本，採樣期間分別於九十二年六月份、八月份、九月份、十一月份選定一日採樣，採樣時間約 6 小時，個人採樣數共 198 人次。
2. B 廠有 8 個相似暴露群組，有一個相似暴露群組因勞工人數較少未達 6 個樣本，其餘相似暴露群皆至少採樣 6 個樣本，採樣期間為九十二年七月份選定一日採樣，採樣時間約 6 小時，個人採樣數共 72 人次。
3. C 廠共有 5 個相似暴露群組，該廠因勞工人數較少每個相似暴露群組採樣人數皆未達 6 個樣本，採樣期間為九十二年六月份選定一日採樣，採樣時間約 6 小時，個人採樣數共 20 人次。
4. 個人採樣器採主動式採樣，所有採樣及分析條件均依美國勞工安全衛生研究所(NIOSH)所公佈之採樣策略進

行。在每個相似暴露群組事先選定受採樣作業勞工於當日上工前配帶採樣器於腰帶處，並將採樣器進氣口以夾子固定於作業勞工之衣領上以儘量接近工人之呼吸帶區域，採樣至當日下午結束，採樣時間約為六小時，以便估計每個人在該區域之時量平均濃度(TWA)。

(三) 準備物品

1. 採樣介質：活性碳管，SKC226-01，100/50 mg。
2. 低流量個人採樣器(personal sampling pump)：美國 Gilian 公司製造，Gilian model LFS 113DC，附 Holder。
3. 紅外線流量校正器(calibrator)：美國 Gilian 儀器公司製造，流速校正範圍 1~250 ml/min。
4. 採樣管切割器
5. 石蠟薄膜(parafilm)
6. 風速、溫度、濕度計：Testo445 德國 Testo 公司製造。

(四)品質管制 (Quality Control)

1. 在採樣及分析過程，準備有實驗室空白採樣管 (laboratory blank)及採樣地點空白採樣管 (field blank)
2. 事前採樣之幫浦 (pump)均做流速校正及背壓校正 (backpressure calibration)，以確定採樣時流速之穩定性，採樣完後同樣亦需要做幫浦(pump)流速校正。

(1)採樣幫浦校正以紅外線流量校正器校準有機溶劑

採樣系列取至適當採樣流速流量設定在 50 ml/min，採
STEL 時流速設定在 200 ml/min

(2)幫浦電池充電及幫浦背壓校準。

二、採樣方面

(一) 空氣採樣

每次採樣時間約 6 小時，採樣管採樣後立即以石蠟薄膜將兩端封好，並記錄採樣時間、溫度及濕度，帶回實驗室以冰箱冷藏保存，在兩週內分析完畢。

(二) DMF 之生物偵測

配合個人環境暴露採樣於上班前及下班各收集一次，收集後在 -70°C 冷凍冰箱冷凍保存並在一週內分析完畢，其中以 N-N-dimethyl- acetamide 當成內標物質。

第五節 分析方法

一 空氣有機溶劑樣本分析⁽⁵¹⁾

(一) 實驗使用藥品

1. 脫附劑：CS₂(內含 20%正戊醇)。
2. 二硫化碳(carbon disulfide)：Merck GR 級。
3. 正戊醇(n-pentanol)：Merck GR 級。
4. 甲苯(Toluene)：Merck GR 級。
5. 丙酮(acetone)：Merck GR 級。

6. 異丙醇(isopropyl alcohol) : Merck GR 級。
7. 丁酮(methyl ethyl ketone) : Merck GR 級。
8. 二甲基甲醯胺(dimethyl formamide) : Merck GR 級。
9. 乙酸乙酯(ethyl acetate) : Merck GR 級。
10. 純化的氮氣(99.99%)
11. 純化的氫氣(99.99%)
12. 淨化壓縮之空氣

(二) 實驗使用之設備器具

1. 玻璃小瓶 (vial) 2mL、4mL，備有聚四氟乙烯(PTFE)內襯的蓋子
2. 微量注射器 Micro-syringe 50 μ L、1000 μ L
3. 定量瓶 10mL、25mL、100mL
4. 定量吸管 10mL
5. 超音波振盪器(Branson 8210)
6. 安全吸球

(三) 儀器分析方法

1. 樣品前處理

將所有採樣管之前後段活性碳，各置於 2mL 玻璃小瓶 (vial)，注入 1ml 脫附劑 CS₂ 進行脫附，並以超音波震盪器震盪 30 分鐘以增加活性碳之脫附效率，然後再以 GC/FID 進行分析。

在採樣管分析時，以採集介質之後段來查驗採樣是否有破出現象(Breakthrough)，當後段的分析物質含量大於前段含量的 25%時，表示在採樣過程中，可能有樣品破出現象發生，則樣品應視為無效採樣樣本。

2. 氣相層析儀分析條件如後：

儀器：氣相層析儀(Gas chromatograph)：日本

SHIMADZU 公司製造，GC14B/FID。

偵測器：FID

管柱：stabilwax 60m × 0.53 mm × 1.0μm

Injector 溫度：230°C

Detector temperature : 250°C

Oven 升溫程式：

40°C (6.5 min) $\xrightarrow{16^\circ\text{C}/\text{min}}$ 100°C (7min) \longrightarrow 180°C (0.5 min)

carrier gas：氮氣，14ml/min

3. 實驗室品質管制

檢量線範圍：

化合物	檢量線範圍(mg/ml)
丙酮	0.0079~3.95
乙酸乙酯	0.00902~4.51
甲苯	0.0087~4.35
異丙醇	0.0078~3.9

丁酮	0.008~4.0
二甲基甲醯胺	0.00944~4.72

二、二甲基甲醯胺之尿中代謝物分析

對於 DMF 職場暴露之生物偵測，目前皆以 NMF 為代表，由於 AMCC 之分析方法仍尚有標準分析方法可以參考，且目前市面亦無標準品可購買，因此本研究仍以分析 DMF 尿中主要代謝物 NMF 總量為準，分析方法係參考 Kimmerle 等^(47.48)所建立之分析方法。

(一) 實驗使用藥品

1. NMF (N-methylformamide)，G R 級 (R.D.H. Germany)
2. 尿中代謝物內標物：N-methylacetamide，G R 級 (R.D.H. Germany)
3. 溶劑：Methanol，GR 級 (R.D.H. Germany)
4. 純化的氮氣(99.99%)
5. 純化的氫氣(99.99%)
6. 淨化壓縮之空氣(99.99%)

(二) 實驗使用之設備器具

1. 玻璃小瓶(vial)：2ml、4ml，備有聚四氟乙烯(PTFE)內襯的蓋子
2. 注射器：Micro-syringe 50 μ l、1ml
3. 定量瓶：10ml、25ml、100ml

4. 離心機(centrifuge, KUBOTA 1300)

(三) 儀器分析方法

1. 檢體前處理

(1) 將尿檢體快速解凍，再離心 10,000 轉約為 20min，取上清液保留一小部份測量 creatinine 含量與比重。

(2) 另取 0.6ml 上清液加入 0.6ml 50ppm 內標溶液(NMA)，冰浴 15-20min，離心 10,000 轉，10min，取上清液上機分析。

2. 氣相層析儀分析條件略述於後：

儀器：GC(HP 6890 seriesII)

偵測器：NPD

管柱：fused silica WCOT，

DB WAX(30m×0.25 mmID)

溫度：Injector：300°C

Oven 升溫程度：110 °C $\xrightarrow{5\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}}$ 90°C $\xrightarrow{70\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}}$ 200°C
(6 min) (1min) (1min)

Detector temp：250 °C

注射量：1 微升

流速 (ml/min) 空氣 40， 氫氣 2， 氮氣 5

3. 尿中代謝物校正方法

尿中代謝物分析因收集員工單次尿液 (spot urine)，會隨個人尿量、代謝速率差異而影響道尿中 NMF 濃度，為降低上述因素之影響，本研究以肌酸酐(creatinine)進行校正，肌酸酐是人體中肌肉活動之代謝產物，具有其特異性，除有腎臟疾病外，肌酸酐可表示人體之活動情形，測量肌酸酐之濃度後便可與分析物質作一校正，其表示單位為 mg/g creatinine (mg/g cre.)。

$$C(\text{adj}) = C(\text{non-adj}) / C(\text{cre.})$$

C(adj): adjusted concentration (mg/g)

C(non-adj): non-adjusted concentration (mg/l)

C(cre.): urinary creatinine concentration (g/l)

一般肌酸酐濃度應介於 50-300mg/dl 之間方可作為校正物質。

(四) 品質管制

1. 檢量線建立

配置 DMF 及 NMF 標準溶液，DMF 及 NMF 標準溶液檢量線濃度範圍分別為 0.614ng/ml~246.34ng/ml 及 0.669ng/ml~268.29ng/ml，其線性相關係數分別為 0.9980 與 0.9977，相對標準偏差(RPD)均小於 10%，若所分析之樣本超出檢量線範圍，應重新配置適當之檢量線。

2. 偵測極限

本研究中的偵測極限是以檢量線的最低濃度重複分析 7 次，可得 7 次積分面積，求其平均值及標準差，取 3 倍標

準差，即可求得此方法之偵測極限(見附表一)。

3. 儀器再現性

配置濃度在檢量線範圍內的標準品，分別重複分析 5 次，可得 5 次的滯留時間及積分面積，以其滯留時間及積分面積的變異係數(CV%)來評估，變異係數需小於 7%，以確保儀器分析的穩定性。本研究中所測得 DMF 及 NMF 滯留時間之變異係數分別為 0.09% 及 0.08%，積分面積之變異係數分別為 1.23% 及 0.94%。

4. 儲存穩定性

配置兩種濃度之標準品添加到尿液中，儲存於 4°C 及 -20°C 的冰箱中，另需準備空白樣本，分別於第 1、3、5、7、14 天各取三個樣本進行分析。

5. 樣本之添加回收率

配置 DMF 與 NMF 標準品添加至 0.5ml 未受 DMF 暴露人的尿液中，另需準備空白樣本，每種濃度分析 3 個樣本，所得添加回收率，DMF 回收率為 84.78% 及 123.18%，NMF 回收率為 86.85% 及 126.15% (見附表二)。

第六節 資料處理與分析

一、DMF 相似暴露群環境測定數據相似暴露群檢定

- (一)每一相似暴露群隨機取樣 6~10 個樣本，若樣本數未達 6 個樣本，因無統計上意義不實施檢定。
- (二)描述性統計(如樣本數、算術平均數、算術標準偏差、幾何平均數、幾何標準偏差、95%信賴區間上、下限值、超

出法令容許濃度百分比)

(三)將相似暴露群空氣中 DMF 測定數據取對數後點在機率紙上，看是否呈一直線，並以 Shapiro and Wilk Test (W-test) 檢定環境測定數據是否呈對數常態分佈，(lognormal distribution) 或常態分佈 (normal distribution)。

1、對數常態分佈檢定：Shapiro and Wilk Test (W-test)

環境測定數據取對數後 Y_i 排序由小至大 $Y_i = \ln X_i$

$$\text{計算 } W \text{ 統計值 } W = \left[\sum_{i=1}^k a_i * (Y_{[n-i+1]} - Y_i) \right]^2 / S_y^2 (n-1)$$

a_i ：為係數。

S_y ：為標準偏差。(standard deviation)

n ：樣本數。(sample number)

若 W 值比 $W_{0.05}$ 值大則該相似暴露群環境測定數據結果為對數常態分佈。

2、常態分佈檢定：Shapiro and Wilk Test (W-test)

環境測定數據 X_i 排序由小至大

$$\text{計算 } W \text{ 統計值 } W = \left[\sum_{i=1}^k a_i * (X_{[n-i+1]} - X_i) \right]^2 / s^2 (n-1)$$

a_i ：為係數。

s ：為標準偏差。(standard deviation)

n ：樣本數。(sample number)

若 W 值比 $W_{0.05}$ 值大則該相似暴露群環境測定數據結果為

常態分佈。

(四)計算相似暴露群環境測定數據算術平均值及算術平均百分之九十五上限信賴區間值，並估計超過恕限值（容許濃度標準）百分比：

算術平均 95% t-分佈信賴區間上限

$UCL_{1.95\%} = Mean + t_{0.95}(SD/\sqrt{n})$ 計算結果至少有 95%信心認定是否超過容許濃度。

Mean: 算術平均值。

SD: 標準偏差。

超過容許濃度比率估計：

$$\text{step1. } f = P(C > OEL) = P\left\{Z > \frac{\ln OEL - \bar{y}}{S_y}\right\}, Z_{OEL} = \frac{\ln OEL - \bar{y}}{S_y}$$

\bar{y} : mean of y , $y = \ln(x)$, S_y : standard deviation

OEL: 容許濃度

step2.P:查表 Z_{OEL} 對應之 Z-Table 百分比值。

Z: standard normal variable for the proportion of interest

Step3. 超過容許濃度比率 $f = 1 - P$ 。

(五)判斷該相似暴露群環境測定數據是否可接受。

二、DMF 相似暴露群組間及組內檢定

(一) 3 家工廠可分為 12 個 DMF 相似暴露群組，以 SPSS10.0

視窗版單因子變異數分析方法 (ANOVA) 作相似暴露群

組間及組內檢定，若相似暴露群組間檢定結果並無顯著不同則予以調整合併。

(二)相似暴露群組組合

依據 Post Hoc 檢定多重比較結果，將群組間平均差異未顯著群組，分別依據 DMF 環境測定結果重新組合相似暴露群組，原則上以三分法重新組合分成高濃度暴露群組 DMF 濃度 >10 ppm、中濃度暴露群組與低濃度暴露群 DMF 濃度 <5 ppm 組 3 個群組。

三、問卷資料與實驗數據

本研究係對三家 PU 合成皮工廠共 290 人次作個人採樣空氣中 DMF、甲苯、丁酮、乙酸乙酯、異丙醇、丙酮濃度測定，及受測勞工上班前、下班後尿中 NMF 生物偵測濃度測定，A 廠部分相似暴露群實施空氣中 DMF 作業場所區域採樣。受測勞工皆作一次問卷填答，其中 A 廠因分四次時段採樣，有部分勞工重複採樣，實際三家 PU 皮工廠共有 223 位勞工實施問卷填答。問卷資料、環測實驗數據及生物偵測實驗數據以 Excel 建檔，若有問卷填答不全或因故未採樣分析、分析品管限制將視為缺失資料(missing data)，因此各變項之間人數並不一致，再以 SPSS10.0 視窗版進行統計分析，其方法包括描述性統計、相關矩陣、變異數分析及多變項迴歸分析等。

第四章 結果

第一節 研究對象之背景資料

本研究係對三家 PU 合成皮工廠共有 290 人次之個人空氣採樣，並測定勞工尿中 NMF 之濃度，受測勞工皆作問卷填答，其中 A 廠因分四次時段採樣，有部分勞工有進行重複個人採樣，實際 A 廠有 131 位勞工，B 廠有 72 位，C 廠有 20 位，三家工廠合計有 223 位勞工實問卷填答。表一為研究對象之基本資料，其中男性有 203 位（佔 91.03%），年齡方面以 40-49 歲有 86 位（佔 43.22%）最高，教育程度以高中程度最高有 113 位（佔 54.59%），籍貫以台閩籍 172 位（佔 82.29%）最高，外國籍有 28 位（佔 13.40%），婚姻狀況已婚有 152 位（佔 74.51%），有抽煙習慣有 118 位（佔 57.3%），有喝酒習慣有 88 位（佔 42.5%），沒有運動習慣有 65 位（佔 31.6%）。表二為研究對象之工作暴露資料，在年資方面五年以下有 72 位（佔 40.45%）較多，個人防護具戴口罩方面以戴活性碳口罩有 119 位（佔 57.21%）最多，約有九成勞工附近現場有裝置抽風機運轉，另約有半數勞工自覺為噪音區工作場所，但有戴耳塞勞工約只佔一成。

第二節 空氣中 DMF 暴露濃度分層與研究對象資料之相關性

表三為三家工廠依據作業環境 DMF 濃度分為 12 個相似暴露群組，再以濃度分層為三個相似暴露群組之對照表。高暴露群組其 DMF 濃度皆大於 10 ppm 有乾式機相似暴露群組 (SEG4)、處理機相似暴露群組 (SEG5)、貼合機相似暴露群組 (SEG9) 三個相似暴露群組組成。中暴露群組 DMF 濃度則介於 5-10 ppm 之間包括濕式配色 (SEG1)、濕式機 (SEG2)、乾式配料 (SEG3)、打樣組 (SEG7)、壓花機 (SEG10)、研開中心 (SEG11) 等六個相似暴露群組所組成。低暴露群組為 DMF 濃度則皆低於 5 ppm 包括樹脂課等 (SEG6)、加工課 (SEG8)、中檢組等 (SEG12) 三個相似暴露群組所組成。

表四是依空氣中 DMF 暴露濃度分層與研究對象基本資料之相關性，在性別變項高暴露組男性佔 96.3% 最高，而低暴露組女性比例最高佔 15.87%。年齡方面在高暴露組 40-49 歲約佔半數最多，低暴露組在 20-29 歲所佔比例最少佔 12.28%。勞工戴口罩方面在高暴露組戴口罩有超過八成以上佔最多，低暴露組戴口罩佔 41.67% 則最少，三組皆具有統計上顯著性之差異($p < 0.001$)。現場裝置抽風機運轉在高暴露組超過九成以上最多，低暴露組只有八成最少，也具有統計上顯著性之差異。勞工有喝酒習慣在高暴露組約佔 52

% 最多，低暴露組只有 21 位（佔 35%）最少，三組間不具統計上顯著性差異。在活動量方面，低暴露組工作時要搬重物佔 55.93% 最多，而在高暴露組佔 14% 最少，但在統計上並無顯著性差異（ $p=0.108$ ）。

表五 依空氣中 DMF 暴露濃度分層與勞工肝功能、喝酒及自覺症狀之相關性，勞工肝功能（SGPT）異常比例在高暴露組約佔 39.02% 最多，低暴露組有只佔 15.52% 則最少，三組組間具有統計上顯著性之差異。有喝酒習慣勞工也以中高暴露組所佔比率較高超過五成，低暴露組只有 35%，但並不具有統計上顯著性之差異。勞工自覺症狀以高暴露組自覺有輕微症狀佔 65% 最多，較嚴重者佔 5%，而在低暴露組分別為 46.8% 及 6.4%，不過三組間並不具有統計上顯著性差異。

表六 依空氣中 DMF 暴露濃度分層與個人自覺症狀之相關性，以各種症狀分數大於 1 分者（很少 1 次/1 月）則歸類可能出現有此症狀，結果顯示在眼睛刺激或不適感以低暴露組有佔 18.52% 最高，中暴露組佔 4.26% 最低，三組間具有統計上顯著性之差異，頸部或肩膀酸痛也以低暴露組佔 36.54% 最高，三組間在統計檢定為邊緣（ $p=0.075$ ），其他症狀以疲倦及感覺工作壓力兩項自覺症狀比例較高，但均以低暴露組分別佔四成最高，不過在組間皆不具有統計上顯著性

之差異。

表七、表八為 DMF 三種暴露分組個人自覺症狀及其盛行率等之比較，係將二十項自覺症狀分類為：1、呼吸系統共四項包括：(1) 喉嚨痛。(2) 打噴嚏、流鼻水、鼻塞。(3) 咳嗽、氣喘。(4) 胸悶、呼吸困難。2、肌肉骨骼系統共三項包括：(1) 手臂酸麻。(2) 頸部或肩膀酸痛。(3) 下背痛。3、精神狀況共五項包括：(1) 疲倦。(2) 頭昏。(3) 注意力不良。(4) 記憶力明顯不良。(5) 感覺工作壓力很大。4、皮膚、眼睛狀況共二項即：(1) 皮膚有紅斑或皮膚癢。(2) 眼睛刺激或不適感。5、其他身體症狀共六項包括：(1) 曾在工作場所昏倒。(2) 頭重、頭痛。(3) 腹痛。(4) 噁心。(5) 乳房疼痛、乳房腫大。(6) 性慾減低、陽萎。在五種個人症狀得分以精神狀況及呼吸系統平均分數較高，該二種症狀項分數皆以低暴露組分別為 4.75 及 4.53 較其他兩種為高，但這些系統症狀在三組間皆無統計上顯著性之差異。就自覺症狀盛行率比較方面以呼吸系統佔五成最高，精神狀況佔 43.64% 次之，五種系統症狀之盛行率亦不具有統計上顯著性之差異。

表九就勞工作業環境空氣中 DMF 暴露濃度分層與 DMF 相關自覺症狀盛行率之相關性，其中 DMF 自覺症狀項目為個人自覺症狀種類分數總合，若分數大於 8 分者則歸類有此

症狀，結果以低暴露組佔 32.69% 為最高，高暴露組只佔 15.91% 為最少，三組間具統計上邊際之差異($p=0.082$)。八項自覺症狀變項若分數大於 1 分者歸類於有此症狀，其中以眼睛刺激或不適感低暴露組佔 18.52% 最多，三組間具有統計上顯著性之差異，其他自覺症狀方面以疲倦症狀之比例較高，但仍以低暴露組佔 41.67% 最高，不過三組並不具有統計上顯著性差異。

第三節 DMF 職場中各相似暴露群結果分析

表十為專家學者對 DMF 影響因素權重分平均表，經分層分析法(AHP)結果顯示三項主因素以勞工暴露影響因素最高為 0.47，各主因素次因素權重，健康效應六項次因中，以接觸情形最高為 0.34，勞工暴露影響因素以工程控制措施最高為 0.4，不確定影響因素三項次因素以整體環境最高為 0.48。

表十一為三家工廠危害評分結果，二家傳統式 PU 合成皮工廠，其中 A 廠以濕式機相似暴露群 (SEG2) 得分最高為 33.23，其次為乾式機相似暴露群 (SEG4) 為 31.06，十二組相似暴露群組間有顯著差異($p<0.001$)。在 B 廠以乾式機相似暴露群 (SEG4) 得分最高 33.25，其次為濕式機相似暴露群 (SEG2) 得分為 32.62，得分最低者與 A 廠相同

皆為中檢組 (SEG12) 只有 4.76 分，八組相似暴露群組間亦具統計上顯著性之差異。另一家 PU 合成皮工廠 C 廠因建廠時間較短，製程較前兩廠為新穎其危害評分結果分數均較前者為低，其中也以濕式機相似暴露群 (SEG2) 得分最高為 22.06，乾式配料相似暴露群 (SEG3) 得分為 20.24 次之，乾式機 (SEG4) 得分最低只有 4.51 分，五組相似暴露群組間也具統計上顯著性之差異。三家 PU 合成皮工廠各相似暴露群整合後也以濕式機相似暴露群 (SEG2) 得分最高為 32.04 分，其次為乾式配料相似暴露群 (SEG3) 為 28.92 分，及乾式機相似暴露群 (SEG4) 差為 28.59 分，以中檢組得分最低只有 5.58 分，十二組有統計上顯著差異。

表十二為各相似暴露群 DMF 環境測定數據進行統計及檢定，在各相似暴露群 DMF 環境濃度檢定部分，先針對樣本數超過六個以上暴露群實施分布之檢定，檢定步驟先以 W-test 實施檢定對數常態分佈，若非為對數常態分佈再以 W-test 檢定常態分佈。A 廠除樹脂課暴露群 (SEG6)、研開中心暴露群 (SEG11) 樣本數未達六個，無法檢定統計上之意義外，其餘暴露群經檢定結果皆為對數常態分佈或常態分佈之相似暴露群組。

圖一以 SEG1 暴露群組為例檢定 DMF 環境測定分布結果，(X 軸)為 DMF 濃度經排序後與點位置【Plotting

/(Rank+1)】(Y 軸)幾乎成一直線，且以 W-test 檢定 W 值比 $W_{0.05}$ 值大，檢定結果可視為常態之分佈。圖二則為 SEG2 暴露群組檢定圖，DMF 環境測定結果 DMF 濃度取對數經排序後(X 軸)與點位置【Plotting $1/(Rank+1)$ 】(Y 軸)幾乎成一直線，且以 W-test 檢定 W 值比 $W_{0.05}$ 值大，檢定結果為對數常態之分佈。B 廠除濕式配色暴露群 (SEG1) 樣本數未達六個採樣值外，其餘暴露群經檢定結果皆為對數常態分佈或常態分佈為相似暴露群組。C 廠因各部門人數較少，樣本數皆未達六個無法進行統計分布檢定。三家工廠各暴露群整合後除濕式配色暴露群 (SEG1)、處理機暴露群 (SEG5) 及中檢組暴露群 (SEG5) 三組皆非為對數常態分佈或常態分佈外，其餘暴露群經檢定結果皆為對數常態分佈或常態分佈為相似暴露群組。

三家 PU 合成皮工廠 DMF 環境測定結果顯示，A 廠以處理機相似暴露群 (SEG5) 濃度最高算術平均數為 16.28 ppm、幾何平均數為 11.29 ppm，其次為乾式機相似暴露群 (SEG4) 算術平均數為 12.87 ppm、幾何平均數為 11.51 ppm，十二組間 DMF 濃度有統計上顯著差異。B 廠以濕式機相似暴露群 (SEG2) DMF 濃度最高，算術平均數為 15.6 ppm、幾何平均數為 13.47 ppm，其次為濕式配色相似暴露群 (SEG1) 算術平均數為 13.37 ppm、幾何平均數為 11.08

ppm，以樹脂課、DMF 回收 (SEG6) DMF 濃度最低算術平均數為 3.69 ppm、幾何平均數為 2.93 ppm，八組間也具有統計上顯著差異。C 廠以研開中心相似暴露群 (SEG11) DMF 濃度較高其算術平均數為 5.43 ppm、幾何平均數為 3.42 ppm，五組間並無顯著差異。三家工廠各相似暴露群整合後以處理機相似暴露群 (SEG5) DMF 濃度最高其算術平均數為 14.33 ppm、幾何平均數為 10.46 ppm，乾式機相似暴露群 (SEG4) 算術平均數為 11.61 ppm 次之，以樹脂合成相似暴露群 (SEG6) DMF 濃度最低只有 3.65 ppm，十二組間有顯著差異。三家 PU 合成皮工廠 DMF 環境測定結果在幾何平均濃度超過我國勞工安全衛生法令勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準 10 ppm⁽³¹⁾，在 A 廠算術平均 95% 信賴區間上限值超過容許濃度標準有處理機相似暴露群 (SEG5)、乾式機相似暴露群 (SEG4)、貼合機相似暴露群 (SEG9) 及打樣組相似暴露群 (SEG7) 四個相似暴露群 DMF 濃度超過容許標準。在 B 廠算術平均濃度超過法令容許濃度標準有濕式機相似暴露群 (SEG2)、乾式機相似暴露群 (SEG4)、濕式配色相似暴露群 (SEG1)、處理機相似暴露群 (SEG5) 及研開中心相似暴露群 (SEG11)，若在信賴區間上限值超過容許濃度標準尚有乾式配料相似暴露群 (SEG3) 及處理機相似暴露群 (SEG5)。C 廠幾何平均濃

度皆未超過容許濃度標準，但在幾何平均值 95%信賴區間上限值超過容許濃度標準有研開中心相似暴露群 (SEG11)，可能與採樣數只有四個，且濃度範圍過大 0.76-13.66 ppm 所致。三家 PU 合成皮工廠各相似暴露群整合後，算術平均濃度超過容許濃度標準有處理機相似暴露群 (SEG5)、乾式機相似暴露群 (SEG4) 及貼合機相似暴露群 (SEG9)，但在算術平均值信賴區間上限值超過容許濃度標準有乾式機、濕式機、打樣組、貼合機、濕式配色、處理機及研開中心等 7 個相似暴露群 DMF 濃度超過法令容許標準。A 廠共有五個區域作 DMF 環境測定採樣，算術平均數以乾式機區最高為 123.4ppm，共有四個區域超過標準，且算術平均結果皆較個人採樣算術平均結果為高，各相似暴露群樣本數超過容許濃度標準百分比結果，A 廠有乾式機、處理機相似暴露群 50% 樣本數超過容許濃度標準，B 廠有濕式配色、濕式機、乾式機研開中心等相似暴露群 50% 樣本數超過容許濃度標準，C 廠皆未超過。

表十三為三家合成皮工廠各相似暴露群危害評分、空氣中 DMF(ppm)與尿中 NMF(mg/g cre)比較，十二個暴露群組評分結果以濕式機暴露群 (SEG2) 算術平均數為 32.04 分最高，中檢組等暴露群 (SEG12) 為 5.58 分最低，十二組相似暴露群組間具統計上顯著性差

異。DMF 環境測定結果以處理機暴露群 (SEG5) 算術平均數為 14.33 ppm 最高，加工課暴露群 (SEG8) 為 3.30 ppm 最低，十二組相似暴露群組間具統計上顯著性差異。上班前尿液中 NMF 分析以貼合機暴露群 (SEG9) 算術平均數為 33.18 mg/g cre. 最高，樹脂課暴露群 (SEG6) 為 3.47 mg/g cre. 最低，十二組相似暴露群組間亦具統計上顯著性差異。下班後尿液中 NMF 分析以打樣組暴露群 (SEG7) 之濃度為 40.35mg/g cre. 為最高，研開中心暴露群 (SEG11) 濃度為 7.89mg/g cre. 最低，十二組相似暴露群組間具統計上顯著性差異。

表十四為 A 廠 DMF 相似暴露群危害評分、空氣中 DMF(ppm) 與尿中 NMF (mg/g cre) 比較，除上班前尿液分析 (preNMF) 不具統計上顯著性差異外，其他在評分與空氣中 DMF(ppm) 環境測定十二組相似暴露群組間均具統計上顯著性差異。

表十五-1 為三家工廠合併後評分、DMF、preNMF、postNMF 濃度間之相關係數表，結果顯示 DMF 與評分相關係數為 0.699 有統計上顯著相關，圖三為空氣中 DMF 濃度與危害評分之線性迴歸方程式：

$DMF(ppm) = 0.25 \times (\text{危害評分}) + 3.08, R=0.699 (P=0.011)$ ，但在下班後尿中 NMF 濃度與 DMF 濃度之平均相關係數為

0.16 無顯著相關，圖五為下班後尿中 NMF 與空氣中 DMF 濃度之線性迴歸方程式： $NMF (mg/g cre.) = 0.39 \times DMF (ppm) + 17.04$ ， $R=0.160$ ($P=0.62$)。

表十五-2 為三家工廠合併後受測勞工作業之評分、DMF 濃度、尿中 preNMF 與 postNMF 濃度間相關係數表，其中 DMF 濃度與評分、postNMF 濃度與 DMF 濃度、postNMF 濃度與評分、postNMF 濃度與 preNMF 濃度，皆有顯著相關，但在 preNMF 濃度則與評分與空氣中 DMF 濃度沒有統計上相關，圖四為三家工廠受測樣本 DMF 濃度與危害評分之線性迴歸方程式：

$DMF(ppm) = 0.26 \times (\text{危害評分}) + 2.78$ ， $R=0.404$ ($P<0.001$)，

圖六為三家工廠受測樣本下班後尿中 NMF 與 DMF 濃度之線性迴歸方程式： $NMF (mg/g cre.) = 0.88 \times DMF (ppm) + 11.68$ ， $R=0.268$ ($P<0.001$)。

本研究若以 A 廠為主要研究對象，分析 A 廠危害評分、DMF 濃度、尿中 preNMF 濃度與 postNMF 濃度相關係數表，其中在表十五-3 顯示只有空氣中 DMF 濃度與危害評分相關係數為 0.635 有顯著相關，其餘變項間皆無顯著相關，圖七 A 廠十二個相似暴露群空氣中 DMF 濃度與危害評分線性迴歸方程式： $DMF(ppm) = 0.27 \times (\text{危害評分}) + 2.27$ ， $R=0.635$ ($P=0.026$)，下班後尿中 NMF 與 DMF 濃度

之相關係數為 0.241 無顯著相關，圖九為 A 廠十二個相似暴露群下班後尿中 NMF 與 DMF 濃度之線性迴歸方程式： $NMF (mg/g cre.) = 0.57 \times DMF (ppm) + 17.93$ ， $R=0.241$ ($P=0.45$)。

表十五-4 A 廠受測勞工在變項間相關係數結果顯示空氣中 DMF 與評分、尿中 postNMF 與空氣中 DMF 濃度、尿中 postNMF 與評分、尿中 postNMF 與空氣中 DMF 濃度皆有統計上顯著性差異，而尿中 pre-NMF 則與其他三者均無統計之相關性。圖八為受測勞工空氣中 DMF 濃度與危害評分線性迴歸方程式： $DMF(ppm) = 0.22 \times (\text{危害評分}) + 2.92$ ， $R=0.349$ ($P<0.001$)；圖十為受測勞工下班後尿中 NMF 濃度與空氣中 DMF 濃度之線性迴歸方程式： $NMF (mg/g cre.) = 0.95 \times DMF (ppm) + 14.14$ ， $R=0.218$ ($P=0.004$)。

第四節 各相似暴露群 DMF 分層結果分析

表十六為各相似暴露群以 DMF 分層描述統計表，空氣中 DMF 作業環境測定結果 DMF 高濃度暴露群算術平均為 12.35 ppm、幾何平均數為 9.54 ppm 最高，其中幾何平均數 95%信賴區間上限值 11.52 ppm 超過目前法規容許濃度標準 10 ppm。中濃度暴露群算術平均數 8.17

ppm、幾何平均數為 6.66 ppm。在低濃度暴露群算術平均數為 3.87 ppm、幾何平均數為 2.76 ppm。三組間相似暴露群在算術平均數、幾何平均數皆有統計上顯著性差異。

表十七為合成皮工廠 DMF 相似暴露群分層在個人危害評分、空氣中 DMF(ppm)與尿中 NMF (mg/g cre.) 濃度之比較，在危害評分上，高濃度與中濃度 DMF 暴露群之算術平均數分別為 25.59 與 25.47 十分相近，三個暴露群組間有統計上顯著性差異。下班後尿液 NMF 濃度分析 (postNMF)、上班前尿液 NMF 濃度分析 (preNMF) 在三個暴露群組間雖無統計上顯著性差異，但其平均值有隨高濃度暴露群至低濃度暴露群均有遞減之趨勢。本研究另外空氣中甲苯、丁酮、乙酸乙酯、異丙醇、丙酮溶劑採樣結果，除甲苯、丁酮外結果皆甚低，故僅列出空氣中甲苯、丁酮濃度採樣之結果。

表十八為合成皮工廠中 DMF 相似暴露群分層中在 DMF、甲苯 (TOL)、丁酮 (MEK) 濃度測定比較，結果顯示高濃度暴露群 TOL、MEK 算術平均數為 13.96 ppm、36.24 ppm 為最高，三個暴露群組有統計上顯著性差異，惟與勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準⁽³¹⁾甲苯 (100ppm)、丁酮 (200ppm) 尚有一段差距，顯示此種溶劑暴露情形並不嚴重。

本研究針對 A 廠研究對象共有四次不同時段採樣，表十九為 A 廠中四次不同時段各分層作業部門個人危害評分、空氣中 DMF(ppm)與尿中 NMF (mg/g cre.) 比較，其中四次危害評分、空氣中 DMF 及下班後尿液分析 (postNMF) 之平均值大致上皆以第一次採樣結果較高，以第三次危害評分及空氣中 DMF 濃度較低，三個暴露組在空氣中 DMF 測定有統計上顯著性之差異，在評分部分只有第四次採樣無統計上顯著性之差異，而 postNMF 只有第三次採樣時有統計上顯著性之差異。

表二十為 A 廠中四次不同時段危害評分、空氣中 DMF(ppm)與尿中 NMF (mg/g cre.) 之平均值比較，結果顯示均以第一次採樣值最大，而以第三次採樣時四個變項數值為最低。

表二十一為 A 廠四次不同時段各相似暴露群空氣中 DMF 濃度之分布表，其中以濕式配色相似暴露群 (SEG1) 及乾式機相似暴露群 (SEG4) 在不同時段所測定結果較相近，其中打樣組相似暴露群 (SEG7) 第一次時段濃度為 11.20 ppm 最高，經過作業環境工業通風改善，第二次結果降為 6.96 ppm、第四次時段則為 6.40 ppm。另外在處理機相似暴露群 (SEG5)、貼合機相似暴露群 (SEG9) 不同時段所測定結果之濃度差異較大，此兩組皆為高暴露群組。

第五節 研究對象個人自覺症狀、生物偵測、肝功能指數與影響因素分析

表二十二為影響合成皮作業員工二十項自覺症狀總分影響因素之複迴歸分析，其中工作年資為 0-5 年迴歸係數為 6.43，有統計上邊緣顯著性差異($p=0.08$)，但在工作年資 6-10 年較 15 年以上者則無統計上顯著性之差異，顯示勞工年資愈淺，有較高自覺症狀分數。在噪音區勞工較噪音區勞工之自覺症狀為高，有統計上顯著性之差異，搬重物影響因素並沒有呈現有統計上差異，不過勞工若經常需要搬重物的勞工，有較高自覺症狀分數。女性在自覺症狀得分，較男性為高其迴歸係數為 19.415，有統計上顯著性差異($p=0.024$)，其他 DMF 暴露濃度之分組及上班前尿中 NMF 影響因素並無統計上顯著性之差異。表二十三為影響合成皮作業員工暴露 DMF 與八種自覺症狀總分之複迴歸分析得知，工作年資 6-10 年較工作年資 15 年在自覺症狀得分高出 4.083 分，有統計上顯著性之差異，其他工作年資 0-5 年及工作年資 11-15 年均較工作年資 15 年呈現較高之症狀得分，但在統計上並無顯著性之差異，整體顯示年資愈淺的勞工，有較高 DMF 自覺症狀分數，其中以 6-10 年資症狀得分最高。另外作業場所裝置抽風機其得分較高，不過在統計上並無顯著性之差異。其他在 DMF 暴露分組、喝酒、戴口罩及下班後

NMF 影響因素均無統計上顯著性之差異。

表二十四為影響暴露勞工下班後尿中生物偵測 NMF 濃度之複迴歸分析，在 DMF 中濃度暴露群與低濃度暴露群比對，迴歸係數為 7.444，有邊緣統計上顯著性之差異 ($p=0.076$)，DMF 高濃度暴露群較低濃度暴露群之迴歸係數為 3.678，但無統計上顯著性差異，顯示較高濃度暴露群勞工，其下班後尿中生物偵測 NMF 濃度仍較高。工作年資 6-10 年較工作年資 15 年較其迴歸係數為 12.676，有統計上顯著性差異，但在工作年資 0-5 年與 11-15 年與 15 年以上相比其 NMF 濃度為高，但在統計上並無顯著性之差異，顯示年資愈短的勞工，其下班後生物偵測 NMF 之濃度較高。而上班前尿中 NMF 濃度與下班時 NMF 濃度為正相關，在統計上有顯著性之差異。其他在喝酒、戴口罩及抽風機影響因素均無統計上顯著性差異。表二十五為影響血中肝功能(SGPT)異常之邏輯氏迴歸分析，在 DMF 高濃度暴露群與低濃度暴露群之比較，其勝算比為 17.943，有統計上顯著性差異，DMF 中濃度暴露群與低濃度暴露群比較，勝算比為 3.773，接近統計上顯著性之差異，顯示較高濃度暴露群之勞工，其肝功能(SGPT)異常之危險性亦越高，然而在其他變項包括年資、喝酒、戴口罩、抽風機及上班前 NMF 等均無統計上顯著性之差異。

第五章 討論

第一節 研究對象特性

研究對象三家工廠合計有 223 位，主要以中部某一家 PU 合成皮工廠(A 廠)DMF 暴露勞工為評估對象實施相似暴露群量化風險之評估，分四次不同時段對該廠各部門勞工抽樣作環境及生物偵測，但以 DMF 用量較多之工作場所酌予增加採樣樣本數，因此在濕式配色、濕式機、乾式機部門採樣人數較多，而該等部門皆以男性勞工居多，且其作業環境較差，所以外籍勞工也較多(以泰籍為主)，A 廠在民國 85 年雖已開始僱用外勞，惟人數逐年增加，因此評估採樣之代表性，本研究較賴氏等^(5.7)於 1992- 1993 年及 1998- 1999 年間對類似合成皮工廠有較多外籍勞工之樣本。另以二家工廠(B、C 廠)作整體性研究，一家為同類型傳統製程工廠，此二廠以重點方式抽樣，原則均以 DMF 用量較多部門酌予增加樣本數，B 廠環境情況類似於 A 廠，有僱用外勞，而 C 廠因建廠時間較短，其設備較新，未僱用外勞，其作業場所環境較佳。

A、B 二廠為同類型傳統製程工廠，產能雖正常，但目前營業收益較差，甚至出現營運之窘境，從過去至今生產的製程並無多大改變，只有因不同產品需求在配方上或許略變更。由於此二家工廠生產設備皆已老舊，採樣時以發煙管測試排風設施工程控制設施結果，發現大部分製程排氣效果仍有待

改善，而 C 廠生產設備較新產能規模較小，且 DMF 使用量較少。因此，在環境測定結果 A 廠有處理機等 4 個相似暴露群幾何平均值信賴區間上限值超過法規容許濃度之標準、在 B 廠有濕式機等 7 個相似暴露群亦超過法規容許濃度之標準，顯示此 2 家傳統式 PU 合成皮工廠除生產設備必須加強改善，現場作業勞工衛生習慣普遍較差外，另外在現場溶劑桶未加蓋，大部分勞工未戴活性碳口罩與未戴手套而可能直接接觸 DMF，擦拭溶劑破布隨意丟棄地上或機台上等，以及勞工安全衛生教育訓練方面均有待職場安全衛生計畫加強管理監督。

第二節 合成皮作業環境相似暴露群之分析與評估

本研究主要是以 A 廠為基礎將全廠各部門以製程生產方式及機台操作等，分為 18 個相似暴露群，各暴露群 DMF 環境測定經統計檢定有顯著性差異時，再將數個相似暴露群合併調整建立 12 個相似暴露群，再以 Shapiro and Wilk Test (W-test) 檢定該暴露群是否為對數常態分佈或常態分佈，以決定是否為相似暴露群，A、B 二家工廠除部分暴露群樣本數未達 6 個不予檢定外，其他暴露群經檢定皆為相似暴露群。將三家合成皮工廠合併分析後，共有 9 個暴露群經檢定後為相似暴露群，其中 3 個暴露群經檢定並非為相似暴露群，可

能因三家工廠廠內 DMF 暴露情況有差異所致，本研究各暴露群檢定結果是以製程生產方式及各機台操作等為準則來劃分不同相似暴露群，但各工廠間仍存有較大環境暴露之差異性，若將不同工廠相同性質暴露群合併後不一定就會形成相似暴露群。

初步危害分析表評分計算係依各危害因素對人體健康及暴露嚴重性分別給不同分數，最高 3 分，最低為 1 分，再乘以專家學者給予權重分數當作該作業環境危害評分之總分。權重分數決定乃依據分層分析法(AHP)之理論，藉由九位專家學者，經由問卷調查，決定 PU 合成皮工廠等勞工暴露於 DMF 之整體危害影響各因素的權重分數，分析結果以勞工暴露影響權重分數為 0.466，健康效應影響權重分數 0.439 二項主因素較高共佔 90%，健康效應六項次因素以 DMF 接觸情形權重分數為 0.34 較高，此與 Mraz 等⁽²⁹⁾所作實驗 DMF 經皮膚吸收速率為劑量約為全部吸收劑量 13-36%，及 Nomiyama 等⁽³⁵⁾提出由皮膚吸收劑量為 40.4% 結果認同 DMF 接觸情形影響之重要性是一致的。勞工暴露影響三項次因素以工程控制措施權重分數為 0.4 較高，暴露時間長短權重分數亦達 0.39，而郭氏等⁽³⁾於 1997 年對一家 PU 樹脂工廠所建議職業健康改善策略內容包括：加強局部排風、工人必須輪流於高濃度區輪班，以降低暴露時間以降低濃度，亦有相同之看法。本研究

分析模式為：初步危害評估總分 = $0.439 \times (0.09 \times \text{環境溫度、濕度} + 0.15 \times \text{DMF 開放面積} + 0.16 \times \text{DMF 含量百分比} + 0.34 \times \text{DMF 接觸情形} + 0.17 \times \text{防護具使用情形} + 0.09 \times \text{其他溶劑使情形}) \times 0.466 \times (0.21 \times \text{作業環境整潔度} + 0.4 \times \text{控制措施} + 0.39 \times \text{暴露時間長短}) \times 0.095 \times (0.29 \times \text{穿著情形} + 0.23 \times \text{流汗情形} + 0.48 \times \text{整體環境}) \times 100$ ，三家工廠危害評分結果，以濕式機、乾式機、乾式配料等相似暴露群之危害分數較高，係因大部分勞工有未戴用防護手套接觸 DMF 情形、DMF 含量百分較高、通風控制設備不良及暴露時間較長等因素造成危害評分結果較高。

第三節 危害評分、DMF 作業環境測定與尿中 NMF 生物偵測之相關性

本研究結果得知三家工廠 DMF 環境測定結果幾何平均濃度為 6.0 ppm、濕式機為 7.69 ppm、乾式機為 7.87 ppm 皆較賴氏等^(5.7) 1998- 1999 年研究中部地區八家 PU 樹脂合成皮工廠 DMF 環境測定結果之平均濃度為 2.25 ppm、濕式機為 5.90 ppm、乾式機為 5.15 ppm 為高，其原因可能為近年來合成皮工廠，機械設備過於老舊及缺乏有效安全衛生管理計畫，亦無多餘資金汰舊換新防治設備，從 A 廠 DMF 區域採樣結果皆比勞工個人採樣結果為高，其中乾式機區域甚至高

達 123.4 ppm，顯示勞工暴露 DMF 嚴重性。此種傳統式合成皮工廠在部分相似暴露群幾何平均數信賴區間上限值均有超過容許濃度標準，該等區域普遍現象為使用 DMF 量較大，但排氣設施所設置氣罩距離 DMF 發生源太大，無法有效將 DMF 導出工作場所，且勞工工作衛生習慣也不好，溶劑桶未隨時加蓋，擦拭溶劑破布丟棄地上等，都是 DMF 污染來源，因此在勞工教育及通風設施上須積極改善，以降低 DMF 之濃度。

本研究結果三家工廠十二個相似暴露群空氣中 DMF 濃度與危害評分線性迴歸關係顯示危害評分每增加 1 分 DMF 濃度會增加 0.25 ppm，三家工廠受測樣本 DMF 濃度與危害評分之線性迴歸關係則顯示，危害評分每增加 1 分 DMF 濃度會增加 0.26 ppm，而 A 廠十二個相似暴露群危害評分與 DMF 濃度平均值線性迴歸顯示危害評分每增加 1 分 DMF 濃度會增加 0.27 ppm，A 廠受測勞工空氣中 DMF 濃度與危害評分之線性則顯示，危害評分每增加 1 分 DMF 濃度會增加 0.22 ppm，研究結果顯示若危害評分越高者，則該區域勞工暴露 DMF 濃度亦越高，且彼此間迴歸係數亦相近，可作為傳統 PU 合成皮工廠暴露評估模式。但在尿中 NMF 生物偵測與空氣中 DMF 暴露濃度三組間不具統計上顯著性之差異($p=0.067$)，顯示尿中 NMF 生物偵測濃度變動性過大，由於勞工戴棉質口罩高達 57.21%，但大多

數勞工未戴手套而直接接觸 DMF 溶劑，且現場溫度、濕度普遍較高，尤其是濕式塗佈區，勞工只穿著無袖汗衫，皮膚接觸 DMF 面積大，可能造成其尿中 NMF 濃度變動性大之主因。三家工廠受測樣本下班後尿中 NMF 與 DMF 濃度之線性迴歸方程式： $NMF (mg/g cre.) = 0.88 \times DMF (ppm) + 11.68$ ，A 廠個別樣本下班後 NMF 與 DMF 濃度線性迴歸方程式： $NMF (mg/g cre.) = 0.95 \times DMF (ppm) + 14.14$ 均顯示 NMF 與 DMF 成正相關，此與 Wrbitzky 等⁽²⁰⁾ 對德國某一家合成皮纖維工廠 126 位勞工研究，提出 DMF 與 NMF 線性關係式， $NMF (mg/g cre.) = 0.749 \times DMF (ppm) + 5.844$ ($R=0.523$) 及 Imbriani⁽⁴⁴⁾ 對意大利 25 位合成皮工廠男性自願者所作研究，提出短時間暴露生物指標 $NMF(mg/g cre.) = 0.936 \times DMF (mg/m^3) + 7.306$ ($R^2=0.522$) 皆有相似之迴歸係數。但過去亦有相關研究顯示空氣中 DMF 濃度與尿中 NMF 濃度之間關係，其結果之相關係數與迴歸數均有很大之差異，其原因可能為：① 勞工長期暴露於 DMF 作業場所造成身體內 NMF 累積結果。② 作業場所使用多種溶劑共暴露影響 DMF 代謝成 NMF。③ 作業場所溫度、濕度及勞工皮膚接觸 DMF 情形。④ 部分勞工上班前可能先至工廠暴露。⑤ 勞工肝臟有病影響 DMF 之代謝。Wrbitzky⁽²⁸⁾ 曾研究提出一般尿中 NMF 半衰期為 4 小時，Sakai 等⁽²¹⁾ 曾報告暴露 24 小時之後尿中 NMF 幾乎衰減至零，而本

研究顯示三家工廠勞工上班前 NMF 尿液濃度之算術平均值為 15.46 mg/g cre.，其中三家工廠作業環境之甲苯、丁酮濃度之平均值為 5.94 ppm 與 15.66 ppm，極可能為共同暴露而影響抑制 DMF 延遲代謝成 NMF 結果，造成上班前尿液 NMF 分析值可能偏高之現象。國內亦類似研究報告，如楊氏等⁽³³⁾、羅氏等⁽⁶⁾指出高濃度甲苯共暴露均會影響抑制 DMF 延遲代謝成 NMF 會減低 DMF 毒性，其因素可能與醛去氫氧酵素 (aldehyde dehydrogenase enzymes) 競爭作用有關。張氏等⁽²⁷⁾對國內中部某一家 PU 合成皮工廠十一位勞工之研究亦發現丁酮(MEK) 共暴露影響結果可抑制 DMF 代謝成 NMF。A 廠在四次不同採樣，各相似暴露群空氣中 DMF 濃度測定之結果，皆以濕式配色、乾式機二個相似暴露群在四次不同時段所測定結果較相近，此與該工作場所作業型態變動性較穩定，各暴露組間 DMF 測定結果並不會因時間有差異，然而在打樣組相似暴露群因作業方法及通風設施工程前後有改善結果，致使第二次時段與第四次時段 DMF 濃度有明顯降低結果，而高暴露群組如貼合機、處理機相似暴露群三次時段採樣有相當大變動性，可能係採樣時有維修機台或排風設備運轉不良等不確定性因素造成。

第四節 空氣中 DMF 暴露濃度分層與研究對象自覺症狀及肝功能指標之相關性

研究對象基本資料在性別方面以高暴露組男性比例偏高，但在低暴露組女性比例則較高，勞工有戴口罩比例則以高暴露組較高，現場有裝置抽風機運轉以高暴露組較多，有喝酒習慣高暴露組最多，不過在勞工活動量方面則以低暴露組工作時需要搬重物較多，顯示高、低 DMF 暴露組在個人基本特性有明顯差異，此與其健康狀態及自覺症狀有密切之關聯性。其中在個人自覺症狀方面，在眼睛刺激或不適感、頸部或肩膀酸痛以低暴露組比例較高，三組 DMF 暴露組具有統計上顯著性之差異，疲倦症狀及感覺工作壓力很大亦以低暴露組比例較高，但不具統計上顯著性之差異，此可能與女性對疾病感受性較強，或與健康工人效應有關。若以 DMF 暴露分組比較個人自覺症狀之盛行率，五項症狀群以精神狀況及呼吸系統二項較高，仍以低暴露組比例較高，可能原因為高暴露組大部分是屬於資深男性勞工及外籍勞工，健康工人效應所致，但低暴露組仍以女性勞工及教育程度較高者居多，陳俊璋⁽⁷⁾等針對國內一家 PU 合成皮工廠 13 位勞工進行連續一週之監測研究，發現配料及塗料和處理作業勞工肝功能指數 (ALT 及 GGT 值)，有較高趨勢，但年資較高勞工肝功能指數較低，可能係健康工人效應，有相同結果。探討空氣中 DMF

暴露濃度與勞工肝功能之相關性，得知在肝功能（SGPT）異常比例則以高暴露組較高，三組暴露組有統計上顯著性之差異，顯示勞工肝功能與 DMF 環測濃度有正相關，而影響血中肝功能(SGPT)相關因素之探討，在 DMF 高濃度暴露群較低濃度暴露群為高，勝算比為 17.943 ($p < 0.01$)，顯示較高濃度暴露群勞工，有較高肝功能(SGPT)異常比例之結果。DMF 代謝轉換主要發生在肝臟 microsomal enzyme systems 之酵素氧化，主要代謝物 HMMF，去甲基化形成 NMF 及 formamide，NMF 可經與 glutathione (GSH)反應結合成 SMG，經氧化形成含異氰酸甲酯 MIC 基中間物即為代謝物 AMCC，而 HMMF 和 GSH 結合後亦可形成 SMG 再代謝成 AMCC⁽¹⁶⁾。Sakai 等⁽²¹⁾認為 HMMF 為 DMF 主要代謝物之一，DMF 代謝物中 NMF 是無毒的，但 NMF 延遲排泄或 DMF 較慢代謝成 HMMF，導致形成 AMCC 則可能造成肝臟毒性原因之一。Kafferlein⁽²²⁾ 也指出 AMCC 代謝物對於 DMF 毒性機構之了解提供有利證據，其結構中帶有 MIC 基可能是造成肝毒性主要原因。Amato 等⁽²³⁾ 說明 DMF 經 microsomal oxidation 去甲基化形成 HMMF，是決定於人類細胞染色體中 P450 2E1 之基因型，因此暴露勞工體內 P450 2E1 表現之豐富或缺乏將會影響 DMF 暴露代謝結果，以上研究均指出 DMF 代謝機轉與肝器官之相當關聯性。另外過去相似文獻上類似研究，如 Wrbitzky⁽²⁸⁾ 研究 DMF 暴

露勞工與肝功能測定值 r-GT、AST 異常有顯著之差異，王氏等⁽³⁸⁾ 對國內 PU 皮工廠 183 位勞工所作研究指出 DMF 暴露與肝功測定值 ALT 有統計上顯著性相關性，羅氏等⁽³⁹⁾ 亦對國內 176 位勞工研究結果 DMF 高濃度暴露者有 40% 肝功能異常，中濃度有 27% 肝功能異常，低濃度有 22%，三組勞工肝功能異常比例亦有顯著之差異，上述文獻皆顯示 DMF 暴露對肝功能影響是顯著的。在勞工為自覺症狀總分影響因素之複迴歸分析，顯示年資愈淺的勞工，有較高自覺症狀分數，在噪音區勞工亦為正相關，有統計上顯著性差異，且經常需要搬重物的勞工，有較高自覺症狀分數，性別男性與女性相比為負相關且有統計上顯著性差異，女性勞工比男性勞工，有較高自覺症狀，綜合本研究結果顯示年資較淺勞工及女性勞工都有較差耐受性，噪音場所之勞工會造成頭昏、注意力不良、感覺工作壓力很大、頭重、頭痛；需要搬重物因素造成疲倦、手臂酸麻、頸部或肩膀酸痛、下背痛也是影響自覺症狀分數差距重要因素之一。影響暴露勞工下班後生物偵測 NMF 之相關因素，在空氣 DMF 中濃度暴露群較低濃度暴露群為高，有統計上顯著性之差異，顯示較高濃度暴露群勞工，有較高下班後生物偵測 NMF 結果，可能與高暴露群勞工大部分有使用其他溶劑如甲苯、丁酮，共暴露影響造成 DMF 延遲代謝成 NMF 結果。

第五節 研究限制與未來研究方向

研究限制包括研究對象樣本之代表性，本研究因 DMF 使用量較多部門會酌予增加採樣數，而這些部門勞工以資深男性勞工居多，且有較多外籍勞工，可能無法代表真正高暴露族群。在勞工問卷調查方面，可能在自覺症狀會有健康工人效應，亦即部分資深勞工已轉移至低暴露族群，或較資淺或耐受性較強者則轉任至低暴露族群組。此外，部分勞工因業務調動至其他部門情形，也會影響採樣之代表性。另一研究限制為勞工身體或物料殘留 DMF 污染或者通風換氣排放口回風造成二次污染，而增加體內生物偵測之結果造成與危害評分與環測濃度之相關性，如 A 廠壓花機群組係將有殘留 DMF 濕式半成品送至該部門經 170°C 高溫壓花機加工，造成物料上 DMF 揮發污染，中檢組由乾式或濕式部門送來之有殘留溶劑布料作檢查動作又鄰近高暴露族群貼合機區，除了物料上殘留 DMF 揮發污染外，又有鄰近貼合機區 DMF 污染，由布檢組未使用溶劑但現場仍有溶劑味道，可能為通風換氣排放口回風造成二次污染等，因此在專家做危害評分時，對 DMF 含量百分比、接觸情形等項目評分也會有低估情形，因此評估者對全廠作業流程是否相當深入了解，以避免遺漏或實際現場作業，均會影響本研究各相似暴露群在尿中 NMF 濃度之變動性，此也可能也與物料或身體

殘留 DMF 或者因鄰近污染源之背景污染，或者通風換氣排放口回風造成二次污染背景污染有關係，均應進一步探討。

在未來研究方向，本研究發現部分相似暴露群有甲苯、丁酮共暴露情形，雖危害評分不高，但其環測結果卻為 DMF 高暴露群，日後研究可嘗試針對廠內共同暴露溶劑情形，而影響環測及生物偵測之結果，重新設計較適宜危害評分表，再尋找類似危險族群重新研擬完整環境採樣策略及驗證程序。另外，未來研究亦可嘗試分析甲苯、丁酮溶劑共同暴露對勞工體內 DMF 代謝影響大小之相關性。而在危害評分表影響因素方面，也可嘗試將影響因子再以明確數據量化，並建立健康效應危害評分表及暴露等級危害評分表，在未來應用發展方面，可藉由健康效應危害評分表研判勞工尿中 NMF 暴露濃度，也可藉由暴露等級危害評分表研判勞工空氣中 DMF 暴露濃度，減少實驗分析費用。

第六章 結論與建議

第一節 結論

- 一、合成皮工廠依作業型態、機械設備劃分 DMF 暴露群，經檢定結果皆為相似暴露群，因此類似之 PU 合成皮工廠亦可依此建立相似暴露群，採樣點應儘量代表該 DMF 相似暴露群暴露情形。
- 二、三家 PU 合成皮工廠合併後 DMF 與危害評分暴露模式為 $DMF(ppm) = 0.25 \times \text{危害評分} + 3.08$ ， $R=0.699$ ($P=0.011$)，可利用危害評分作為相似 PU 合成皮工廠 DMF 暴露濃度之參考，若將 A 廠十二個相似暴露群危害評分與 DMF 濃度平均值線性迴歸方程式為： $DMF(ppm) = 0.27 \times (\text{危害評分}) + 2.27$ ， $R=0.635$ ($P=0.026$)。
- 三、所有受測勞工尿中 NMF 濃度與空氣中 DMF 濃度關係得知 $NMF (mg/g cre.) = 0.88 \times DMF (ppm) + 11.68$ ， $R=0.268$ ($P<0.001$)。此與國外研究 Wrbitzky 等⁽²⁰⁾ 對德國某一家合成皮纖維工廠 126 位勞工研究 $NMF(mg/g cre) = 0.749 \times DMF (ppm) + 5.844$ ($R=0.523$)， P 值 <0.0001 ，Imbriani⁽⁴⁴⁾ 對意大利 25 位合成皮工廠男性自願者所作研究，提出短時間暴露生物指標 $NMF(mg/g cre) = 0.936 \times DMF (mg/m^3) + 7.306$ ($R^2=0.522$, $P<0.0001$) 在迴歸係數上均十分相似。
- 四、經由九位專家學者決定 PU 合成皮工廠等勞工暴露於 DMF

之整體危害影響，依 AHP 方法計算各因素的權重分數。結果顯示危害評估總分 = $0.439 \times (0.09 \times \text{環境溫度、濕度} + 0.15 \times \text{DMF 開放面積} + 0.16 \times \text{DMF 含量百分比} + 0.34 \times \text{DMF 接觸情形} + 0.17 \times \text{防護具使用情形} + 0.09 \times \text{其他溶劑使用情形}) \times 0.466 \times (0.21 \times \text{作業環境整潔度} + 0.4 \times \text{控制措施} + 0.39 \times \text{暴露時間長短}) \times 0.095 \times (0.29 \times \text{穿著情形} + 0.23 \times \text{流汗情形} + 0.48 \times \text{整體環境}) \times 100$ 。因此本研究之評估模式應可運用類似工廠作初步危害評估，及早發現高暴露群組，優先實施環境測定及污染控制設施。

五、以邏輯式迴歸分析血中肝功能(SGPT)影響因素，在 DMF 高濃度暴露群較低濃度暴露群，勝算比(OR)為 17.943 ($p < 0.001$)，顯示較高濃度暴露群勞工，有較高肝功能(SGPT)異常結果，但其自覺症狀未必有明顯偏高之現象。

六、合成皮工廠勞工自覺症狀以低暴露組比例較高，其原因可能為低暴露組女性佔比例較高對症狀有較高之感受性，高暴露組勞工年資較深、外籍勞工人數較多，而有健康工人效應。

第二節 建議

- 一、DMF 相似暴露群之檢定，至少需採樣六個樣本，才有統計上意義，無法於一次採樣六個樣本時，應分時段補齊。PU 合成皮工廠可依初步危害分析評分高低結果，訂定優先採樣相似暴露群次序，作為工程改善順序參考。
- 二、在二家傳統式 PU 合成皮工廠主要生產線相似暴露群都有超過容許濃度情形，必須著手進行工程改善措施，以避免職業病發生。
- 三、政府機關常編列預算與學術單位或財團法人等從事 DMF 相關研究、輔導事宜等，更應配合本研究結果，提供合成皮工廠改善危害防治之貸款與資金，例如無息或低利貸款來幫助這些經營不佳傳統式 PU 合成皮工廠，從事改善工程控制設施，以降低勞工 DMF 暴露濃度，減少暴露在高危險群勞工產生職業病案例發生。
- 四、部分高暴露群勞工有資深或外籍男性，發現有較高比例肝功能異常，雖然他們較無明顯自覺症狀，而忽略穿戴個人防護裝備，由於 DMF 溶劑可經由皮膚吸收。因此除在廠內工程改善外，在勞工教育訓練方面，仍有定期加強宣導，建立勞工有良好個人衛生習慣。
- 五、部分未使用 DMF 溶劑相似暴露群組，可能身體或物料殘留 DMF 並揮發至大氣、或排氣口 DMF 二次污染，此可能造

成勞工尿中 NMF 變動性大原因，因此類似合成皮工廠應檢視工程控制設備排氣口位置，加強空氣污染防治設施，以避免廠內背景污染，勞安人員應對全廠生產流程詳細評估可能有殘留 DMF 污染暴露群，發掘潛藏 DMF 暴露之作業環境。

六、本研究提出之危害評分表係針對 DMF 暴露勞工所設計風險評估檢核表，且此評分與空氣 DMF 中濃度有良好線性關係，應該設法將此危害評分表教導職場安衛人員，加以應用評估自身作業環境之危害性並預測空氣中 DMF 濃度，以作為未來改善廠內危害參考之依據。

第七章 參考文獻

1. IOSH90-T-039 有害物暴露調查與對策技術資料（一）二甲基甲醯胺（合成皮製造業）
2. Kuo HW, Huang YS, Lo JC, Cheng TJ, Chang Wu. Exposure to solvents in a synthetic leather manufacturing plant. *Int Arch Occup Environ Health* 2000; 73: 275-80.
3. Kuo HW, Lin KC, Huang YS, Lou JC, Cheng TJ, Chang Wu . Reduction of worker exposure to solvents by means of an occupational health program: an experience at a synthetic leather factory in Taiwan . *J Occup Health* 2001;43: 339-45.
4. 黃玉霜. 合成皮工廠作業環境中溶劑危害性之評估. 中國醫藥學院環境醫研究所碩士論文. 1997.
5. 賴俊雄等：台灣省 PU 樹脂合成皮工廠作業勞工有機溶劑實況及其健康影響追蹤調查研究計畫台灣省政府勞工處委託研究，執行單位中國醫藥學院. 1992.
6. Luo JC, Kuo HW, Cheng TJ, Chang MJ. Abnormal liver function associated with occupational exposure to DMF and hepatitis B virus. *J Occup Environ Med* 2001;43:474-82
7. 陳俊璋. 聚脲樹脂及合成皮製造工廠勞工二甲基甲醯胺暴露研究. 中國醫藥學院環境醫學研究所碩士論文. 2000.
8. Mulhausen JR, Damiano J. A strategy for assessing and managing occupational exposures . second edition American Industrial Hygiene Association Exposure Assessment Strategies Committee , 3M Company 1998.
9. Sieber WK, Sundin DS, Frazier TM, Robinson CF. Development, use, and availability of a job exposure matrix based

- on national occupational hazard survey data. *Am J Ind Med* 1991;20:163-74.
10. Cicioni C, Londin J, Garabrant H, Bernstein L, Phillips K, Peters M. Occupational asbestos exposure and mesothelioma risk in los angeles county: application of an occupational hazard survey job-exposure matrix. *Am J Ind Med* 1991; 20:163-74.
 11. Maher N. The application of a job exposure matrix in the natural gas industry. *Am Ind Hygi Assoc J* 2003; 64:806-14.
 12. Geronsin R. Job hazard assessment: a comprehensive approach. *Professional Safety* 2001;46, 12:23-30.
 13. 勞工作業環境實施辦法，行政院勞工委員會，民國八十一年。
 14. 有機溶劑中毒預防規則，行政院勞工委員會，民國八十年。
 15. Bainova A. IPCS (International Programme on Chemical Safety) Enviromental health criteria 114 Dimethylformamide . World Health Orgnization 1991.
 16. Gerald L, Kennedy JR. Biological Effects of Acetamide, Formamide, and Their Mono and Dimethyl Derivatives: An Update . *Critical Reviews in Toxicology* 2001;31: 139-222.
 17. Hellwig J, Merkle J, Klimisch HJ, Jackh R. Investigation on the prenatal toxicity of N,N-dimethylformamide in Mice, Rats and Rabbits. *Food Chem Toxicol* 1991.
 18. Scailteur V, Lauwerys R. In vivo and vitro oxidative biotransformation of dimethylformamide in rat. *Chem Biol Interactions* 1984;50: 327-37.

19. Malley LA, Slone TW, Pelt CA, Elliott GS, Ross PE, Stadler JC, Kennedy GL. Chronic Toxicity/Oncogenicity of Dimethylformamide in Rats and Mice Following Inhalation Exposure. *Fund and Applied Toxicol* 1994; 23: 268-79.
20. Wrbitzky R, Angerer J. N, N-Dimethylformamide influence of working conditions and skin penetration on the internal exposure of workers in synthetic textile production. *Int Arch Occup Environ Health* 1998;71: 309-16.
21. Sakai T, Kageyama H, Araki T, Yosida T, Kuribayashi T, Masuyama Y. Biological monitoring of workers exposed to N,N-Dimethylformamide by determination of the urinary metabolites, N-methylformamide and N-acetyl-S-(N-methylcarbonyl) cysteine. *Int Arch Occup Environ Health* 1995; 673:125-29.
22. Kafferlein HU, Goen T, Muller J, Wrbitzky R, Angerer J. Biological monitoring of workers exposed to N, N-dimethylformamide in the synthetic fibre industry. *Int Arch Occup Environ Health* 2000;73: 113-20.
23. Amato G, Grasso E, Longo V, Giovanni G. Oxidation of N,N- dimethylformamide and N,N- diethylformamide by human liver microsomes and human recombinant P450s. *Toxicology Letters* 2001; 124:11–19.
24. Kafferlein HU, Mraz J, Ferstl C, Angerer J. Analysis of metabolites of N,N-dimethyl formamide in Urine samples. *Int Arch Occup Environ Health* 2004; 77(2):427-32.
25. Gescher A. Metabolism of N,N-dimethylformamide: Key to the Understanding of its Toxicity. *Chem Res Toxicol* 1993;6: 245-51

26. Kafferlein HU, Angerer J. N-methylcarbamoylated Valine of Hemoglobin in Human after Exposed to N,N-dimethylformamide : Evidence for the formation of Methyl Isocyanate. *Chem Res Toxicol* 2001; 14: 833-40
27. Chang HY, Shih TS, Cheng CC, Tsai CY, Lai JS, Wang VS. The effects of co-exposure to methyl ethyl ketone on the biological monitoring of occupational exposure to N,N-dimethylformamide. *Int Arch Occup Environ Health* 2003;76:121-28.
28. 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.
29. Mraz J, Nohova H. Percutaneous absorption of N,N-Dimethylformamide in humans. *Int Arch Occup Environ Health* 1992; 64: 79-83.
30. Mraz J, Duskova S, Galova E, Nohova H, Brabec M. Biological monitoring of N, N- dimethylformamide. Reference value for N-methylcarbamoyl adduct at the N-terminal valine of globin as a biomarker of chronic occupational exposure. *Int Arch Occup Environ Health* 2002;75: S93-6.
31. 勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準，行政院勞工委員會，民國八十四年。
32. Kim HA, Kim K, Heo Y. Biological monitoring of workers exposed to N, N-dimethylformamide in synthetic leather manufacturing factories in Korea. *Int Arch Occup Environ Health* 2004; 77 (2):108-12.
33. Yang JS, Kim EA, Lee MY, Park IJ, Kang SK. Biological

- monitoring of occupational exposure to N,N-Dimethylformamide – the effects of co-exposure to toluene or dermal exposure to toluene or dermal exposure. *Int Arch Occup Environ Health* 2000;73: 463-70.
34. Miyauchi H, Tanaka S, Nomiyama T, Seki Y, Imamiya S, Omae K. N,N-Dimethylformamide (DMF) vapor absorption through the skin in workers. *J Occup Health* 2001; 43: 92–94.
 35. Nomiyama T, Nakashima H, Chen LL, Tanaka S, Miyauchi H, Yamauchi T, Sakurai H, Omae K. 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: 224-28.
 36. Osunsanya T, deJoro B, King B. Biological monitoring of workers exposed to dimethylformamide in a textile polyurethane unit. *Occup Med* 2001;51(6):374-79.
 37. The Massachusetts Toxics Use Reduction Institute. Massachusetts Chemical Fact Sheet Dimethylformamide 1989.
 38. Wang JD, Chen JS, Lin JM, Chiang JR, Shiau SJ, Chang WS. N,N-Dimethylformamide induced liver damage among synthetic leather workers. *Archives of Environ Health* 1991;46:161-66.
 39. Luo JC, et al. Hepatotoxicity; hbv and excess weight aggravate dimethylformamide-related liver disease Obesity, Fitness & Wellness Week Atlanta:Jun 30, 2001 ; pg-18.
 40. Ducatman AM, Conwill DE, Crawl J. Germ cell tumors of the testicle among aircraft repairmen. *J Urol* 1986;136:

834-36.

41. Gollins WJ. Dimethylformamide and testicular cancer. *Lancet* 1991;337: 306-07.
42. Levin SM, Baker DB, Landrigan PJ, et al. Testicular cancer in leather tanners exposed to dimethylformamide. *Lancet* 1987; 2(8568):1153.
43. Walrath J, Fayerwether MPH, Gilby CIH. A case-control study of cancer among Du Pont employees with potential for exposure to dimethylformamide. Wilmington, Delaware, E.I. Du Pont de Nemours Co. (Unpublished report) 1998.
44. Imbriani M, Maestri P, Marraccini P, Saretto G, Alessio A, Negri S, Ghittori S. Urinary determination of N-Acetyl-S-(N-methylcarbamoyl)-cysteine and N-methyl-formamide exposed to N,N-Dimethylformamide. *Int Arch Occup Environ Health* 2002; 75: 445-52.
45. Lauwery RR, Kivits A, Lhoir M. Biological surveillance of workers exposed to dimethylformamide and the influence of skin protection on its percutaneous absorption. *Int Arch Occup Environ Health* 1980; 45:189-203
46. Angerer J, Gaen T, Kramer A, Kafferlein HU. N-methyl-carbamoyl adducts at the N-terminal valine of globin in workers exposure to N,N-dimethylformamide. *Arch Toxicol* 1998;72:309-12.
47. Kimmerle G, Eben A. Metabolism studies of n,n-dimethyl-formamide, i. studies in rats and dogs. *Int Arbeitsmed* 1975 ;34:109-26.
48. Kimmerle G, Eben A. Metabolism studies of N,N-dimethyl-formamide, studies in persons. *Int Arbeitsmed* 1975;

34:127-36.

49. 勞工安全衛生法及其施行細則，行政院勞工委員會，民國 80 年。
50. 陳俊六. 台灣省 PU 合成皮作業勞工有機溶劑暴露現況. 全國勞工安全衛生研討會 民國 88 年.
51. 鄭蓉瑛彙編，PU 合成皮製造業空氣中多成分有機溶劑採樣分析方法，勞工安全衛生研究報告，IOSH88-A308，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，民國 88 年。
52. 勞工健康保護規則，行政院勞工委員會，民國 86.