

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

子計畫:防護手套重複使用之浸透性及皮膚暴露研究

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC94-2211-E-039-004-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：中國醫藥大學職業安全與衛生系

計畫主持人：趙克平

計畫參與人員：林芳如、林學謙

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 9 月 8 日

摘要

合成皮工廠配料調色過程中，一般常使用之化學物質包括二甲基甲醯胺(DMF)、甲苯、乙酸乙酯、丙酮及丁酮等混合物，其中 DMF 使用量最多且文獻發現其易經由皮膚吸收。化學混合物浸透聚合物防護手套時，會發生內在交互作用；因此，其浸透速率及破出時間將不同於單一化學物。相關文獻尚未針對 DMF 混合物使用之防護手套，進行重複浸透試驗及數學模擬，或延伸至暴露評估之應用。

研究發現有機溶劑之穩定浸透速率與辛醇比(LogKow)呈現負相關，而破出時間與 LogKow 呈現正相關。當有機溶劑與防護手套之溶解度參數差值($\Delta\delta$)越小，根據相似互溶原理(like dissolved like)會產生較大的穩定浸透速率。而有機溶劑混合之後，其浸透行為主要受到極性影響，當混合物個別極性差異甚大時，更容易產生交互作用導致共溶劑效應(co-solvent effect)，使得 LogKow 較大的溶劑之破出時間提早，而 LogKow 較小的溶劑則破出時間延後。本研究發現，MEK 與 DMF 混合之後，其浸透性符合溶解度參數(solubility parameter)理論。

重複浸透 5 天之實驗，在用水清洗及 40°C 與 70°C 加熱等保養潔淨方法中，DMF 及 MEK 之浸透性較第一天未有顯著增加。防護手套用水清洗後，其 DMF 浸透性較其他去污方法為低；而 MEK 之浸透性在不同去污方法之間，未發現有統計上顯著差異。但是單純用水清洗之後，DMF 及 MEK 之破出時間明顯下降，而其他潔淨方法與初始破出時間無太大差異；破出時間提早，將增加勞工暴露化學物質危害之風險。綜合 DMF 及 MEK 之浸透性與破出時間變化，40°C 加熱之去污方法，比單純用水清洗手套，較能達到防護之目的。其中以 40°C 加熱 10 小時，為本研究之最佳去污方法。

關鍵字：二甲基甲醯胺、浸透、溶解度參數

Abstract

The majority of workers with a potential for skin contact by hazardous materials are protected by utilizing chemically resistant clothing or gloves. A large fraction of experimental work has been focus on the permeation of a chemical from a neat challenge liquid. Many of the liquids to which workers may be exposed, however, are mixture chemicals rather than single component in composition. At present there are no generally applicable correlations for predicting the permeation properties of mixture chemicals from the results of tests with single component liquids.

Permeation of organic solvents mixtures was effect by their polarity, especially when the difference between the individual polarities was large, co-solvent effect

easily happened. And the bigger LogKow values of organic solvent, the earlier BT; the lower LogKow values of organic solvent, the longer BT. In the repeat used study, After using 70°C @10H decontamination method, for the long time and high temperature, the material of sample was seen to change end of the test was due to cumulative mass and J_s increase gradually, and the exposure risk maybe raise. Results showed that J_s of the washing decontamination methods was non-significant with the others; the 70°C @2H, 40°C @2H and 40°C @10H decontamination method were significant statistically, P values were 0.019 and 0.008, and J_s of 40°C @10H decontamination method was decrease gradually; BT of the washing decontamination method was 24.03 ± 2.76 min was under then the others was 38.61 ± 5.58 min, $P < 0.001$.

Keywords: dimethylformamide、permeation、ASTM F739、solubility parameter

研究背景

由於自然資源缺乏及石化工業之進步發展，人工合成皮逐漸取代天然皮革，尤其國內約有 90% 合成皮產量用作於製鞋與皮件產業。在合成皮工廠配料調色過程中，一般常使用之有機溶劑包括二甲基甲醯胺(N,N-dimethylformamide)、甲苯(toluene)、乙酸乙酯(ethyl acetone)、丙酮(acetone)及丁酮(methyl ethylketone)，而在合成皮製造過程中配料、塗料、烘乾、表面處理、溶劑回收等作業員工，均有可能暴露於有機溶劑。國內研究發現合成皮製程中，DMF 之暴露以配料及塗布工人最高，捲取及品檢次之，但甲苯之暴露則以處理機之工人為最高。

二甲基甲醯胺(簡稱 DMF)對人體健康影響，主要是引起噁心、嘔吐、胃腸不適等症狀，另外可能引起肝臟損傷、胰臟失能及對酒精不耐性等健康上危害。美國 ACGIH 制定 DMF 之容許暴露濃度(TWA)為 10 ppm (29.9 mg/m^3)，其暴露途徑除了呼吸之外，文獻已發現其易經由皮膚吸收。Maxfield 等人研究發現 DMF 氣體可經皮膚吸收，但經液化後皮膚滲透更佳。Lauwerys 等人探討手部皮膚及呼吸暴露研究，結果發現在未使用防護具的狀況下，人體經由皮膚吸收液態 DMF 的量為呼吸吸收量之兩倍。DMF 人體實驗文獻中，暴露於濃度 50 mg/m^3 之 DMF 蒸氣 4 小時，經由皮膚之吸收量為全部吸收量的 13%~36%；在呼吸及皮膚暴露濃度分別為 6.2 ppm 與 7.1 ppm，結果顯示經由呼吸及皮膚吸收 DMF 蒸氣之比例分別為 40.36% 和 59.64%。

國內研究採樣分析人工合成皮勞工空氣中 DMF 暴露濃度為 4.39 ± 1.84 ppm，手部及手前臂 DMF 之暴露則分別為 $1.23 \pm 5.31 \text{ ug/cm}^2$ 與 $0.17 \pm 5.16 \text{ ug/cm}^2$ ，且尿中生物指標(NMF 及 DMF)濃度與空氣和皮膚暴露有顯著相關；而連續 6 日採樣發現勞工手部平均暴露量為手臂之 7~8 倍，DMF 尿中生物指標之累積性主要來自呼吸暴露，與皮膚暴露相關性小。

DMF 經由皮膚吸收之暴露不容忽視，因此選用適當有效的化學性防護衣物

(chemical protective clothing)，則為保護勞工健康的重要防護措施。而 1997 年美國 Dartmouth 學院(New Hampshire) Karen Wetterhann 博士因不當使用防護手套，造成二甲基汞穿透手套，經由皮膚進入人體中毒死亡事件，不僅震撼學術及職業安全衛生界，更再次突顯選用適當防護手套的重要性。

有機溶劑防護手套的材質一般為氯丁烯橡膠(neoprene)、腈類橡膠(nitrile)及聚乙烯醇(polyvinyl alcohol, PVA)等聚合物(polymer)，各類防護手套因材質、成份、厚度及製程的差異，其防護效果也不盡相同。在選擇安全的有機溶劑防護手套時，除了要考慮其材質之強度、柔軟度及化學穩定性，最重要的是其對有機溶劑之**浸透性(permeation)**需具有防護效果。而防護效能主要考慮之因素為化學物質與手套接觸後，於手套內面偵測到化學物質的**破出時間(breakthrough time)**，以及當浸透達到平衡狀態之**穩定浸透速率(steady-state permeation rate)**，而此亦為一般選擇有機溶劑防護手套之主要依據。

許多因素會影響手套的破出時間及穩定浸透速率，例如手套材質、厚度、有無內襯、製作過程所添加的合成物以及化學物質濃度等；防護手套製造商針對各種單一化學物質進行手套滲透性試驗，提供選擇適當防護手套之參考資料。雖然實驗室內的滲透性實驗未能考慮使用時的影響因素，但實驗室的滲透性資料仍是選擇防護手套的基本參考依據。目前針對選擇及使用防護手套之研究，包括以下幾項重點，而此亦為本計劃之研究背景：

- 化學物質浸透防護手套之質傳機制；
- 有機溶劑混合物在防護手套之浸透性；
- 重複使用對手套防護效果之影響；
- 手套潔淨(decontamination)方法對其使用壽命(life-time)及防護效果之影響。

化學物質浸透高分子聚合物薄膜包括**吸收(sorption)**、**擴散(diffusion)**及**脫附(desorption)**三個質傳機制；當化學物質接觸到聚合物表面時，因其分子間的吸引力而將化學物質溶入聚合物中。化學物質在聚合物內部形成濃度梯度，所以將向聚合物的另一面擴散，並從另一背面脫附而浸透整個聚合物薄膜，許多研究指出擴散為整個浸透過程中的主要控制機制並可用 Fick's Law 來描述。因此化學物質在聚合物薄膜之浸透速率，將決定於化學物質在手套中的**擴散係數(diffusion coefficient)**，以及手套兩側之化學物濃度梯度，而此擴散係數對於同一材質及相同化學物質可視為定值常數。所以建立以擴散係數為基礎之質傳模式較具實質之應用性。

Crank 利用隔膜測試腔(diaphragm cell)，探討揮發性有機物 VOC 蒸氣浸透聚合物薄膜之擴散係數；當 VOC 浸透聚合物時，測試腔下側之 VOC 經由擴散作用，沿著厚度方向 Z 而浸透單位面積薄膜之質傳速率 J ($\text{ML}^{-2}\text{T}^{-1}$)，可用 Fick's first law 表示如下：

$$J = -D \frac{\partial C_z}{\partial Z} \quad (1)$$

式(1)中， C_Z 為 VOC 在聚合物薄膜內之濃度(ML^{-3})， Z 為薄膜內至薄膜外側表面之距離(L)；許多研究認為擴散係數 D 不會因 C_Z 或 Z 而改變，亦即 D 可視為常數。同時，式(2)為聚合物薄膜中，VOC 濃度 C_Z 在厚度方向 Z 之一維擴散微分方程式：

$$\frac{\partial C_Z}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C_Z}{\partial Z^2} \quad (2)$$

Crank 根據實驗條件對式(2)所假設之邊界及初始條件包括：(1)浸透過程尚未發生前，原始厚度為 L 之薄膜中有機溶劑濃度為零($t=0$ ，all Z ， $C_Z=0$)；(2)當有機溶劑蒸氣浸透薄膜時，薄膜表面有機溶劑之濃度為一定值 C_0 ($t > 0$ ， $Z=0$ ， $C_Z=C_0$)， C_0 一般定義為 VOC 蒸氣在薄膜中的溶解度(solubility)；(3)任何時間在手套另一面之有機溶劑濃度為零($t > 0$ ， $Z=L$ ， $C_Z=0$)。

隔膜測試腔下方之 VOC 蒸氣擴散浸透面積為 A 之薄膜後，上方密閉腔室中所累積的質量 M 將增加，因此以上方腔室為控制體積所建立之質量平衡式為：

$$\frac{dM}{dt} = A \cdot J = -A \cdot D \left. \frac{\partial C_Z}{\partial Z} \right|_{Z=L} \quad (3)$$

因為上方密閉腔室中初始 VOC 質量為零，所以在前述之邊界及初始條件下，藉由式(2)及(3)，可得到上方密閉腔室於浸透過程中 VOC 之累積量：

$$M = \frac{AC_0}{L} \left[Dt + \frac{2L^2}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos n\pi}{n^2} \left(1 - \text{EXP}(-Dn^2\pi^2 t/L^2) \right) \right] \quad (4)$$

聚合物薄膜於長時間浸透狀況之下，因為式(4)中的指數項太小而可忽略不計，因此式(4)可表示如下式：

$$M = \frac{A \cdot C_0}{L} \left(D \cdot t - \frac{L^2}{6} \right) \quad (5)$$

由式(5)可發現當聚合物薄膜於長時間浸透 VOC 時，測試腔上方所累積之 VOC 質量 M 與時間 t 將成線性正比關係，而此時 VOC 在薄膜中之擴散亦達到穩定狀態。換言之，浸透物進入薄膜後需經一段時間而達到穩定擴散狀況；因此，利用累積滲透量隨時間之變化曲線，經由其線性部分向下外插交於時間 t_1 ，此截距即式(5)中 $M=0$ 時所對應之時間。所以，將 t_1 代入式(5)且 $M=0$ ，則可得到 VOC 蒸氣於聚合物薄膜中，穩定狀態時的擴散係數：

$$D = \frac{L^2}{6t_1} \quad (6)$$

上式中 t_1 乃一般定義之延滯時間(lag time)。雖然 Crank 所建立之模式是用於推導 VOC 蒸氣在聚合物薄膜中之擴散係數，但目前已廣泛應用於化學物質浸透聚合物防護手套之研究。

Vahdat 利用 ASTM F739 浸透測試腔以開放式迴路探討化學物質浸透厚度 L

之聚合物手套，根據 Crank 假設之邊界條件及式(2)，當浸透達到穩定狀態時，化學物質在手套中的擴散係數可表示成下式：

$$D = \frac{J_s \cdot L}{S} \quad (7)$$

式中 J_s 為經由實驗決定之穩定浸透速率($ML^{-2}T^{-1}$)， S (ML^{-3})則為化學物質在手套中的溶解度。利用式(7)計算浸透手套之擴散係數，除了需作浸透試驗之外，另需利用浸入(immersion)試驗，將手套樣本完全沉浸在有機溶劑中，得到吸附曲線並決定其溶解度。

有機溶劑在許多製程及使用時，經常為混合物狀態，其在聚合物中擴散時，會發生內在交互作用，依各分子結構而產生不同鍵結；因此，其擴散係數及溶解度可能不同於單一溶劑。有機溶劑混合物在防護手套之浸透速率及破出時間不同於單一有機溶劑，其改變情況則視混合有機溶劑的種類及混合比例而定。試驗得到的浸透結果，部份可以「相似互溶原理」(like dissolved like)或「溶解度參數理論」(solubility parameter theory)解釋，但文獻中尚無理論可完全預測或判別混合有機溶劑對手套的滲透性。所以當合成皮製程中，包括 DMF、甲苯、乙酸乙酯、丙酮及丁酮等混合化學物時，可篩選數種防護較佳的手套作滲透試驗，選擇最適當的防護手套；但是若能利用廠商提供之單一溶劑浸透試驗數據，作為選擇混合溶劑防護手套之依據，將可增加其數據之應用性。

化學防護手套因成本較大，勞工大多重複使用多次，其重複使用及清潔保養方式，對手套防護效果及使用期限有很大影響，但是相關研究文獻資料並不多，可能因其試驗需較長時間及較多數據。國內人造合成皮製造業勞工，普遍未使用化學防護手套或一再重複使用，直至手套受損破裂；因此亟需瞭解在手套重複使用條件下，DMF 混合物之破出時間、浸透速率、擴散係數及溶解度等質傳參數，以評估手套重複使用之壽命。並且探討手套潔淨的適當方法，增加其重複使用的防護效果，達到保護勞工健康之目的。

研究目的

國內針對人造合成皮製造業勞工之 DMF 研究，大多為暴露評估及生物偵測，美國 EPA 雖已發表數篇關於化學防護衣物相關之報告，但其內容僅限於選擇適當防護衣物的原則重點；相關文獻尚未針對 DMF 混合物使用之防護手套，進行重複浸透試驗及數學模擬，或延伸至暴露評估之應用。

本研究將利用 ASTM F739 浸透測試腔，探討 DMF 混合物在防護手套中之浸透機制；經由 ASTM F739 浸透實驗及質傳理論得到其 Fick's Law 擴散係數與溶解度。此外，應用單一溶劑之浸透數據，推估混合物對手套的浸透速率與破出時間。針對勞工可能重複使用防護手套，探討其浸透行為之變化及使用壽命。

本計畫主要研究目的包括：

- 利用 ASTM-F739 測試二甲基甲醯胺(DMF)與丁酮(MEK)單一溶劑及混

合溶劑，在重複使用下對 Neoprene 防護手套之浸透性，探討其穩定浸透速率、破出時間、擴散係數及溶解度的變化。

- 應用 Fick's Law 建立手套浸透測試之數學質傳模式，由測試數據計算其擴散係數及溶解度；
- 評估手套重複使用之防護效果；
- 探討手套的清潔去污(decontamination)方法對其使用壽命(life-time)及防護效果的影響。

研究方法

本研究實驗步驟主要參考 ASTM F739 之內容，此方法使用測試腔(Pesce Laboratories, Kennett Square, PA, USA)，其由兩個直徑為 25.5 mm 的腔室所組成，其中右側放置化學物質之腔室體積為 22 mL，左側流通採集介質(collection medium)的腔室體積為 22 mL。手套由兩個鐵氟龍三角板固定於兩個腔室之間，其中手套外層表面接觸待測的化學物質，內層朝向左側的採集介質。當化學物質浸透手套至左側採集介質中，採樣分析其浸透濃度，而藉以量化手套對化學物質之浸透防護能力。

實驗流程採用 ASTM F739 之密閉式迴路(Closed-Loop)，並以 170 ml 之去離子水作為採集介質，以面積式浮子流量計及蠕動幫浦控制流量在 70 mL/min。採集介質由右側測試腔流出至 100 mL 鐵氟龍瓶經磁石攪拌均勻後再連接 T 形採樣口，經由流量計最後連接蠕動幫浦送回測試腔。整個密閉式迴路置於恆溫箱(25±0.5°C)中。

樣本於 T 型採樣點以注射針(Hamilton Microliter Syringes, SUPELCO, 10 μ) 取樣採樣 1 μ L，直接注入氣相層析質譜儀(GC-MS, Autosystem XL, Perkin Elmer) 分析有機溶劑濃度。各檢量線的 r 值均大於 0.995。浸透實驗之化學物質包括 DMF 及丁酮，取 1:1 比例混合。手套質料為 Neoprene (MAPA, USA)，厚度為 0.74±0.04(mm)。

手套淨化方式

浸透試驗結束後，將手套以去離子水洗淨擦乾後，分別以下列方法放置不同時間再做測試；

- 以去離子水清洗
- 40°C 放置 2 小時
- 40°C 放置 10 小時
- 70°C 放置 2 小時
- 70°C 放置 10 小時

結果與討論

純一溶劑

- 如表一所示，實驗結果發現純 DMF 及 MEK 溶劑之穩定浸透速率分別為 197.8 與 554.51 ug/cm²/min，其破出時間分別為 120.07 與 19.41 min，Neoprene 手套對於 DMF 的防護效果高於 MEK。
- DMF 及 MEK 之 LogKow 分別為 0.85 與 0.26，文獻指出 Neoprene 手套為極性物質。而根據相似互溶原理，MEK 之極性大於 DMF，其穩定浸透速率大於 DMF 且破出時間也較 DMF 早。
- 依溶解度參數理論探討溶劑之 δ 值影響，文獻指出當聚合體的 δ 值與溶劑的 δ 值越接近時，聚合體越容易溶解也越容易膨脹，穩定浸透速率也可能較高。Neoprene 之 δ 值為 10.1，DMF 及 MEK 之 δ 值分別為 11.84 與 9.3 (cal/cm³)^{1/2}，其和 Neoprene 的差值(| $\Delta\delta$ |)為 1.74 及 0.8 (cal/cm³)^{1/2}，以前述理論得知 MEK 之穩定浸透速率應比 DMF 高，此與實驗結果相符合。

混合溶劑浸透

- 混合溶劑以體積莫耳分率(Xi)計算 DMF：MEK=0.54：0.46，實驗結果發現混合 DMF 及 MEK 溶劑之穩定浸透速率分別為 245.13 與 186.12 ug/cm²/min，其破出時間分別為 33.6 與 34.78 min。
- 混合溶劑中，高 LogKow 溶劑會與低 LogKow 產生共溶劑效應，使得混合溶劑之各別穩定浸透速率及破出時間會在各別純溶劑之間。
- 依混合溶解度參數公式得到 $\delta_{\text{mix}}=10.57$ 介於個別 δ_D 、 δ_M 之間，理論上總穩定浸透速率也應介於純 DMF 及 MEK 之間，而實驗值為 217.99 ug/cm²/min，此結果符合溶解度參數理論之推論。
- 文獻中指出混合溶劑之擴散係數 D 與 LogK_{ow} 有相關性，本研究也有觀察到此趨勢。DMF 之 LogKow 較 MEK 大，純 DMF 之 D 值較混合 D 值小；純 MEK 之 D 值則比混合 D 值大。而溶解度係數 K 也有隨著混合後有下降的趨勢。

重複浸透實驗

- 為排除厚度對重複實驗之穩定浸透速率 J 之影響，依據式(7)以浸透係數 $P=K*D$ 探討有機溶劑之浸透性，並以 P_0/P 比較浸透量隨試驗時間之變化。如表二所示，在 WASH 與 40°C @2H 及 40°C @10H 和 70°C @2H 各組中，DMF 及 MEK 之 P/P_0 大部分未超過 1，因此重複使用防護手套，其浸透性並未顯著增加。
- 以各組平均 P 值作比較，手套用水清洗後，其 DMF 浸透性較其他去污方法為低；而 MEK 之浸透性在不同去污方法之間，未發現有統計上顯著差異。比較 DMF 及 MEK 之浸透速率，以清水洗淨即可達到除污及

養護手套之目的。

- 觀察破出時間之變化，依不同之去污條件分為兩組：WASH ($p < 0.001$) 及其他四組 ($p = 0.573$)，WASH 組之數據明顯與其他組不同；在第二次實驗後，WASH 組的破出時間明顯下降，而其他組皆與初始破出時間無太大差異。破出時間提早，將使得勞工提早接觸到化學物質，增加勞工暴露之風險。
- 綜合 DMF 及 MEK 之浸透性與破出時間變化， $40^{\circ}\text{C} @ 2\text{H}$ 及 $40^{\circ}\text{C} @ 10\text{H}$ 兩種去污方法，比單純用水清洗手套，較能達到防護之目的。尤其以 40°C 加熱 10 小時，為本研究之最佳去污方法。

主要參考文獻

- 黃玉霜，1997；”合成皮工廠作業環境中溶劑危害性評估”，中國醫藥學院環境醫學研究所，碩士論文。
- 蔡靜宜，2002；”職業暴露 DMF 之皮膚吸收與生物偵測”，成功大學環境醫學研究所碩士論文。
- 朱祐民，2003；”應用跟暴露方式探討人造皮工廠暴露環境下 N,N-dimethylformamide (DMF) 不同暴露途徑之生物偵測”，成功大學環境醫學研究所碩士論文。
- 雲遠德，2004；”二甲基甲醯胺、丁酮暨甲苯混合暴露之職業環境對生物偵測之影響”，成功大學環境醫學研究所碩士論文。
- 陳思瑜，2004；”人造皮製造業勞工尿液中代謝物之固相萃取氣相層析質譜分析方法研究”，中國醫藥大學環境醫學研究所碩士論文。
- 徐雅萍，2005；”混合有機溶劑浸透防護手套之研究”，中國醫藥大學環境醫學研究所，碩士論文。

American Society for Testing and Materials, 1996; “Resistance of Protective Clothing Materials to Permeation by Liquids or Gases under Conditions of Continuous Contact” (ASTM F739-96), Philadelphia, PA.

Chang, H.Y., T.S. Shin, C.C. Cheng, C.Y. Tasi, J.S. Lai, and V.S. Wang, 2003; “The effects of co-exposure to N,N-dimethylformamide,” International Archives of Occupational & Environmental Health 76: 121-128.

Chang, H.Y., C.Y. Tsai, Y.Q. Lin, T.S. Shih, and Y.C. Lin, 2004; “Urinary biomarkers of occupational N, N-dimethylformamide(DMF) exposure attributed to dermal exposure,” Journal of exposure analysis and environmental epidemiology, 14: 214-21.

Chao, Keh-Ping, Wen-Shen Wang, and Min-Jet Wu, 2004; “Modeling Organic Solvents Permeation through Protective Gloves,” Journal of Occupational and

- Environmental Hygiene, 1(2): 57-61.
- Chao, Keh-Ping, Pak-Hing Lee, and Min-Jet Wu, 2003; "Organic Solvents Permeation through Protective Nitrile Gloves," *Journal of Hazardous Materials*, 99(2): 191-201.
- Crank, J., 1975; "The Mathematics of Diffusion," Oxford: Clarendon Press.
- Lin, Yu-Wen, Shane S. Que Hee, 1998; "Permeation of Malathion Formulation Through Nitrile Gloves," *Appl. Occup. Environ. Hyg.*, 13(5): 286-298.
- Menke, R. and C.F. Chelton, 1988; "Evaluation of glove material resistance to ethylene glycol dimethyl ether permeation," *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 49(8): 386-389.
- Mikatavage, M., Shane S. Que Hee, H.E. Ayer, 1984; "Permeation of Chlorinated Aromatic Compounds through Viton and Nitrile Glove Materials," *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 45(9): 617-621.
- Mráz, J., and H. Nohova, 1992; "Percutaneous absorption of N,N-dimethylformamide in humans," *International Archives of Occupational & Environmental Health*, 64(2): 79-83.
- Nomiyama, T., H. Nakashima, L.L. Chen, S. Ranaka, H. Miyauchi, T. Yamauchi, H. Sakurai, and K. Omae, 2001; "N,N-dimethylformamide: significance of dermal absorption and adjustment method for urinary N-methylformamide concentration as a biological exposure item," *International Archives of Occupational & Environmental Health*, 74(3): 224-8.
- Rougier, A., D. Dupuis, C. Lotte, and H.I. Maibach, 1999; "Stripping method for measuring percutaneous absorption in vivo," In: R.L. Brnaugh and H.I. Maibach, editors, *Percutaneous absorption: drugs-cosmetics-mechanisms-methodology*. 3rd ed, New York, Marcel Dekker, Inc, pp. 375-94.
- Schwpoie, A.D., R. Goydan, R.C. Reid, S. Krishnamurthy, 1988; "State-of-the Art Review of Permeation Testing and The Interpretation of Its Results," *Am. Ind. Assoc. J.*, 49(11): 557-565.
- Silkowski, J.B., S.W. Horstman, M.S. Morgan, 1984; "Permeation Through Five Commercially Available Glove Materials by Two Pentachlorophenol Formulations," *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 45(1984) 501-504.
- Vahdat, Nader, 1991; "Estimation of Diffusion Coefficient For Solute-Polymer Systems," *J. Appl. Polymer. Sci.*, 42: 3165-3171.
- Zellers, E. T., G. Z. Zhang, 1993; "Three-Dimensional Solubility Parameters and Chemical Protective Clothing Permeation. II. Modeling Diffusion Coefficients, Break-through Times, and Steady-state Permeation Rates of Organic Solvents in Viton Gloves," *J. Appl. Polymer. Sci.*, 50: 531-540.

表一 純一及混合溶劑之浸透性

solvent	DMF					MEK				
	J_s ($\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$)	BT (min)	D (cm^2/s)	K	P (cm^2/s)	J_s ($\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$)	BT (min)	D (cm^2/s)	K	P (cm^2/s)
pure	197.80	120.07	1.42	2.28	3.25	554.51	19.41	5.61111	1.53	8.61
mixture	245.13	33.60	2.37	1.33	3.15	186.12	34.78	3.44667	0.85	2.93

J_s , permeation rate, BT, breakthrough time, D, diffusion coefficient; K, solubility coefficient; P, permeation coefficient; Subscript means the organic solvent

表二 混合溶劑重複浸透試驗

mixture	DMF						MEK						
	WASH	J_s (ug/cm ² /min)	BT (min)	D (cm ² /s)	K	P (cm ² /s)	P/P ₀	J_s (ug/cm ² /min)	BT (min)	D (cm ² /s)	K	P (cm ² /s)	P/P ₀
1		253.52	34.05	2.42	1.35	3.26	1.00	186.50	33.34	3.88	0.72	2.79	1.00
2		217.46	18.52	3.30	0.85	2.79	0.86	154.28	19.27	6.31	0.37	2.32	0.83
3		209.75	18.47	2.72	0.98	2.67	0.82	168.40	18.64	4.27	0.58	2.49	0.89
4		231.68	17.50	3.04	0.96	2.91	0.89	178.69	19.16	4.82	0.55	2.66	0.95
5		221.77	18.60	2.57	1.07	2.76	0.85	169.30	19.37	4.80	0.55	2.62	0.94
40°C @2H													
1		242.74	33.44	2.69	1.49	3.19	1.00	187.65	34.05	3.81	1.09	2.90	1.00
2		219.51	33.03	2.37	1.14	2.81	0.88	175.90	32.94	3.33	0.79	2.73	0.94
3		218.34	31.80	2.09	1.23	2.81	0.88	167.00	28.82	2.84	0.76	2.79	0.96
4		228.20	32.78	1.88	1.27	2.94	0.92	181.41	32.64	2.65	1.00	2.85	0.98
5		237.69	32.03	1.65	1.04	3.30	1.03	179.46	31.47	2.40	0.68	2.83	0.98
40°C @10H													
1		232.25	32.46	2.13	1.21	2.93	1.00	184.30	34.04	2.66	0.97	2.73	1.00
2		228.80	33.19	2.46	1.16	2.84	0.97	180.40	33.18	3.46	0.85	2.66	0.97
3		225.92	33.38	2.28	1.26	2.76	0.94	171.84	33.36	3.68	0.88	2.48	0.91
4		224.47	32.90	2.32	1.15	2.70	0.92	173.97	33.23	2.85	0.84	2.49	0.91
5		242.59	32.60	3.18	1.32	2.92	1.00	185.98	32.69	4.18	0.95	2.65	0.97
70°C @2H													
1		258.57	33.85	2.42	1.20	3.23	1.00	187.58	32.83	2.83	0.74	2.82	1.00
2		241.41	32.28	2.46	1.26	2.99	0.93	180.46	33.08	3.14	0.78	2.61	0.92
3		235.42	33.29	2.18	1.37	2.86	0.89	181.36	33.42	2.83	0.93	2.64	0.94
4		265.59	32.76	2.35	1.70	3.19	0.99	187.09	32.93	2.98	1.00	2.65	0.94
5		260.18	33.25	2.22	1.89	3.11	0.96	207.47	33.47	2.78	1.24	2.99	1.06
70°C @10H													
1		238.60	34.22	2.20	1.38	3.03	1.00	184.59	32.81	4.07	0.76	3.07	1.00
2		237.91	32.97	2.38	1.25	2.98	0.98	181.68	33.36	3.35	0.80	2.67	0.87
3		232.08	31.90	2.28	1.25	2.85	0.94	197.77	32.22	2.79	1.02	2.85	0.93
4		258.27	33.44	1.93	1.60	3.08	1.02	209.16	33.74	2.66	1.12	2.97	0.97
5		294.05	33.24	1.59	2.13	3.37	1.11	242.04	31.69	2.12	1.55	3.29	1.07

J_s , permeation rate; BT, breakthrough time; D, diffusion coefficient; K, solubility coefficient; P, permeation coefficient; Subscript means the organic solvent