

中國醫藥大學

碩士論文

編號：DOSH-0201

化學性防護手套標準浸透方法之比較

Comparison of Permeation Resistance of Protective
Gloves to Organic Solvents with ISO, ASTM, and
EN Standard Methods

所別：職業安全與衛生學系碩士班

指導教授：趙克平 博士

學生：林學謙 Lin, Hsueh-Chien

學號：9472001

中華民國九十六年六月

誌 謝

畢業對我來說，是目的，但不是唯一。

大學 4 年，讓我充實應有之基礎與對專業領域的了解；研究所的 2 年，學會對事情的處理態度與方法。在此感謝每位出現過的老師，像王主任，我一直記得您一開始說過不會罵別人的研究生，但隔沒兩天某人就被您罵了…

我要特別感謝指導教授趙克平老師，我很喜歡您的訓練與指導方式，雖然您常常忘記我已經有一堆待辦事務，常常覺得我很閒、一直在打混，但我真的很高興遇到您，跟每個認識我的，還有我認識的人，請原諒我不能一一的寫下你們的名字，我怕篇幅會比論文還長！

還要感謝 GC/FID 與筆電，雖然你們偶而會鬧脾氣，罷罷工，但沒有你們的幫忙，我無法獨力完成這項任務，所以謝謝你們的大力相挺！

落筆至此，淚已流下…

最後我要跟我媽媽說聲對不起、謝謝您。我…常常弄到很晚，讓您擔心；太過獨立，反而讓妳覺得不放心；因事心情不好，讓您操心。在此說聲感謝您，沒有您就沒有我，沒有我就沒有這篇論文，因此…這篇論文是您的！

摘 要

目前國際針對防護衣物(protective clothing material)對抗有機溶劑之浸透(permeation)測試標準方法，包括 ASTM F739、EN 374-3 及 ISO 6529；三種標準方法皆使用源自於 ASTM F739 之水平浸透測試腔，而 ISO 6529 標準方法並保留原有之直立式浸透腔。本研究目的在於探討三種浸透測試標準方法，對於有機溶劑苯(benzene)及 1,2-二氯乙烷(1,2-dichloroethane)，浸透腈橡膠(nitrile)與氯丁橡膠(neoprene)防護手套，所得到之浸透速率的差異性，並分析採集介質(collection medium)流量對浸透結果的影響。

結果顯示利用 ASTM 及 ISO 測試腔，進行開放式浸透迴路測試，採集介質氮氣流量分別低於 75 與 150 mL/min 時，浸透係數(permeation coefficient)隨著流量而增加；但當採集介質漸增至一定流量時，則可獲得穩定之浸透係數，經兩組樣本 t 檢定穩定前後所測得之浸透係數，具統計上之顯著差異($p < 0.001$)。而 ISO 所得到之穩定浸透係數，高於 ASTM 並達到顯著差異($p < 0.001$)；其差異可能是因為浸透物質置於 ISO 測試腔上方，所產生的重力影響。密閉式迴路所測得之浸透係數小於開放式迴路，採集介質若無法攪拌均勻，則不建議使用溶液作為浸透測試之採集介質。

ASTM F739 或 ISO 6529 測試腔，於不同流量下進行浸透測試，所測得之破出時間均介於 20-30 分鐘。兩種浸透測試腔所得之穩定浸透係數，均受到採集介質流量的影響。高流量可獲得穩定之浸透係數，但增加採集介質流量，會降低有機溶劑之浸透濃度，影響儀器的偵測極限，可能造成破出時間的誤差。ASTM F739 標準方法所規定之採集介質流量，其測試結果可能高估防護衣物的抗浸透性。

有機溶劑浸透防護手套之質傳現象，可利用 Fick's law 描述，所得
到之擴散係數(diffusion coefficient)及溶解度(solubility)，將可適當模擬其
穩定浸透速率與破出時間，提供較多之浸透測試結果和應用性。

關鍵字：防護衣物、浸透係數、擴散係數、溶解度



ABSTRACT

Chemical resistant gloves are considered to be the last line of defense for protecting the hands against hazardous chemicals in the workplace. Therefore, care must be taken to ensure the gloves provide the proper protection. Selection of chemical resistance gloves is primarily based on the results of laboratory permeation tests, following the test procedures of ISO 6529, EN 374-3, and ASTM F739 standard methods.

In this study, the permeation resistance of nitrile and neoprene gloves to benzene and 1,2-dichloroethane were investigated using two permeation cells. The permeability coefficients were found to significantly increase with the flow rates of the collection medium. The appropriate flow rates of nitrogen collection should be higher than 75 and 150 mL/min for the ISO 6529 and ASTM F739 cells, respectively.

For an open-loop system, the permeability coefficient of the ISO 6529 cell was obviously greater than that of the ASTM F739 cell, and the difference between these two cells was statistically significant. The breakthrough time was about 20-30 min for two cells at different flow rates of nitrogen collection. Fick's diffusion coefficient and solubility of permeant in the polymer glove can be specified as the test results of standard methods.

Keywords: ASTM F739, EN 374-3, ISO 6529, permeation coefficient, diffusion coefficient, solubility

目錄

目次	頁次
摘要.....	I
目錄.....	IV
表目錄.....	VI
圖目錄.....	VII
第一章 前言	
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究目的.....	2
第二章 文獻探討	
2.1 浸透測試標準方法發展.....	6
2.2 採集介質與流量.....	13
2.3 浸透結果報告.....	14
2.4 擴散係數及溶解度.....	17
第三章 材料與方法	
3.1 實驗材料.....	19
3.2 實驗儀器設備.....	22

3.3 開放式迴路.....	23
----------------	----

3.4 密閉式迴路.....	25
----------------	----

第四章 結果與討論

4.1 ASTM 與 EN 浸透測試結果.....	27
---------------------------	----

4.2 ISO 測試腔結果.....	32
--------------------	----

4.3 破出時間.....	36
---------------	----

4.4 密閉式迴路浸透實驗.....	39
--------------------	----

第五章 結論與建議

5.1 結論.....	43
-------------	----

5.2 未來研究方向.....	44
-----------------	----

參考文獻.....	45
-----------	----

附表一 符號對照表

附表二 有機溶劑檢量線

附表三 有機溶劑之浸透濃度

表目錄

目次	頁次
表 1.1 ASTM F739、EN374-3 與 ISO 6529 標準方法之比較.....	5
表 2.1 ASTM 與 ISO 兩種浸透測試腔之差異.....	12
表 3.1 防護手套之特性.....	20
表 3.2 實驗之有機溶劑物化特性.....	21
表 4.1 採用開放式迴路所測得之浸透係數.....	29
表 4.2 Benzene/nitrile 利用 ASTM 測試腔於密閉式迴路試驗結果...	42



圖目錄

目次	頁次
圖 1.1 ASTM F739 浸透測試腔	3
圖 1.2 ISO 6529 浸透測試腔	4
圖 2.1 ASTM F739 浸透測試實驗模型	10
圖 2.2 ISO 6529 浸透測試實驗模型	11
圖 2.3 有機溶劑累積浸透曲線	16
圖 3.1 開放式迴路浸透實驗流程	24
圖 3.2 密閉式迴路浸透實驗流程	26
圖 4.1 Benzene/nitrile 於 ASTM 測試腔於開放式迴路之浸透係數... 30	
圖 4.2 EDC/neoprene 於 ASTM 測試腔於開放式迴路之浸透係數 ... 31	
圖 4.3 Benzene/nitrile 於 ISO 測試腔於開放式迴路之浸透係數	34
圖 4.4 EDC/neoprene 於 ISO 測試腔於開放式迴路之浸透係數	35
圖 4.5 模擬開放式迴路之 Benzene/nitrile 浸透測試.....	38
圖 4.6 吸附空白實驗之 Benzene 濃度隨時間變化圖	40
圖 4.7 利用 ASTM 測試腔於密閉式迴路之 Benzene 濃度	41

第一章 前言

1.1 研究背景

工作場所常使用酸、鹼及溶劑等有機溶劑，部分有機溶劑可經由皮膚、眼睛或黏膜等直接或間接進入人體；根據 NIOSH 於 1999 年的報告，職業病約有 40 % 是因有機溶劑透過皮膚引起之傷害(US Bureau of Labor Statistics 1999)。當無法藉由製程改善或工程控制等方式，以避免勞工受到危害時，選用適當有效的化學性防護衣物(chemical protective clothing)，則為保護勞工的最後一道防護(Anna et al. 1998; Schwoppe et al. 1988; Nenry and Schlatter 1981)。

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。在選擇安全的化學性防護手套時，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有機溶劑與手套接觸後，於手套內面偵測到有機溶劑的破出時間(breakthrough time)，以及當浸透達到平衡狀態之穩定浸透速率(steady-state permeation rate)，而此亦為一般選擇化學性防護手套之主要依據。

防護手套種類繁多，製造商通常會提供多種防護性測試數據，供使用者考量選擇合適之防護手套。在選用合適之防護衣物時，應該根據有機溶劑的特性與作業形式，參考物質安全資料表(Material Safety Data Sheet, MSDS)及防護衣物製造廠商所提供之測試資料，以避免皮膚暴露於化學性危害。

目前防護手套之抗有機溶劑浸透性測試有許多不同的標準方法，包括 ASTM F739、EN374-3 及 ISO 6529 等。目前三種標準方法皆建議，

採用與 ASTM F739 標準方法相同之浸透測試腔；如圖 1.1 所示，將手套垂直固定於 ASTM F739 水平式浸透腔之中間，待測有機溶劑及採集介質(collection medium)則分別置於手套兩側。而 ISO 6529 標準方法亦建議使用另一種型式之浸透測試腔，如圖 1.2 所示，ISO 6529 與 EN 374-3 標準方法，於最初之版本均建議採用此類直立式浸透測試腔。標準測試方法經過不斷地修正與改版，如表 1.1 所示，三種方法的實驗流程與規範已趨於一致，主要不同之處在於實驗結果的呈現及採集介質之流量，此可能導致測試結果的差異(Mäkelä et al. 2003; Schwoppe et al. 1988; Leinster et al. 1986)。

1.2 研究目的

本研究以 ASTM F739: 99a 公佈之標準測試方法為主，在相同實驗條件下，利用不同的採集介質流量，於 ASTM 及 ISO 兩種不同浸透測試腔進行實驗，探討 ASTM F739、EN 374-3 及 ISO 6529 三種浸透測試標準方法之差異，並分析採集介質流量對浸透結果的影響。本研究結果可作為標準浸透方法修正之參考，並提供選戴適當防護手套之資訊，以降低勞工皮膚暴露之危害。

本論文之主要研究目的包括：

- 探討 ASTM F739 及 ISO 6529 浸透測試腔之測試結果的差異；
- 瞭解採集流量對浸透結果之影響；
- 開放式與密閉式迴路之差異；
- 擴散係數(diffusion coefficient)與溶解度(solubility)對於浸透測試結果之應用。

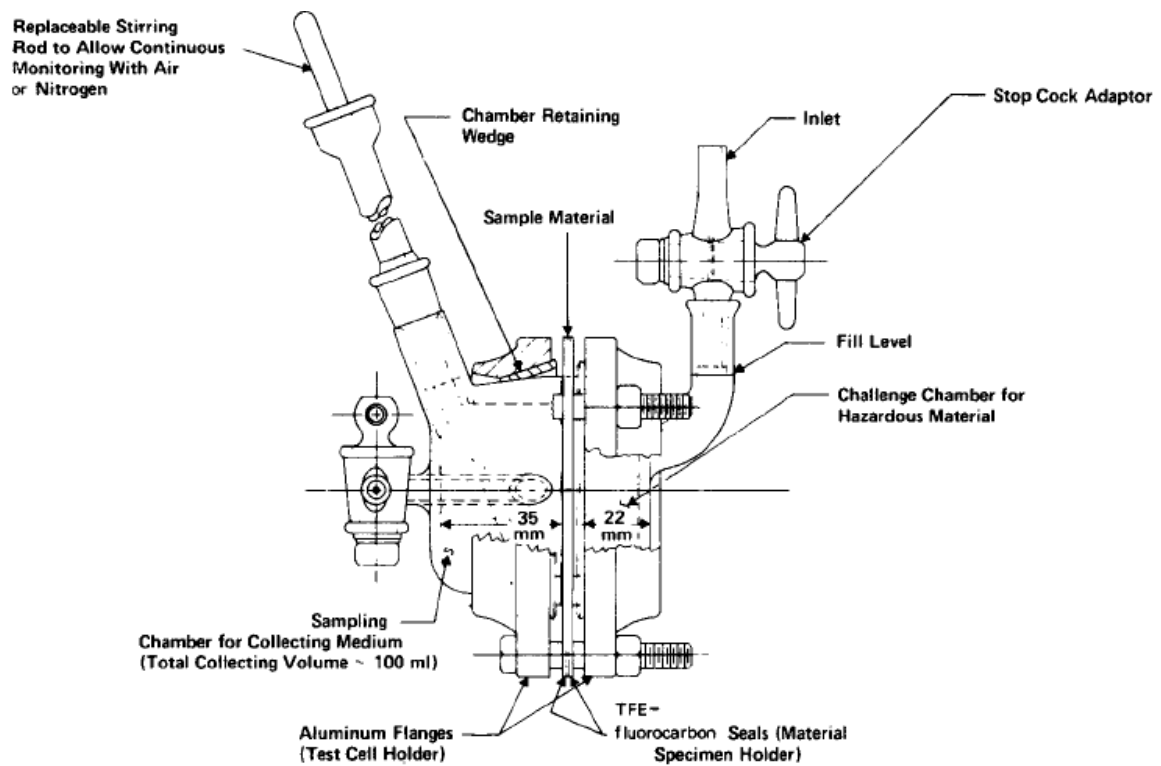


圖 1.1 ASTM F739 浸透測試腔

(Reprinted, with permission, from F739-99a Standard Test Method, copyright ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA)

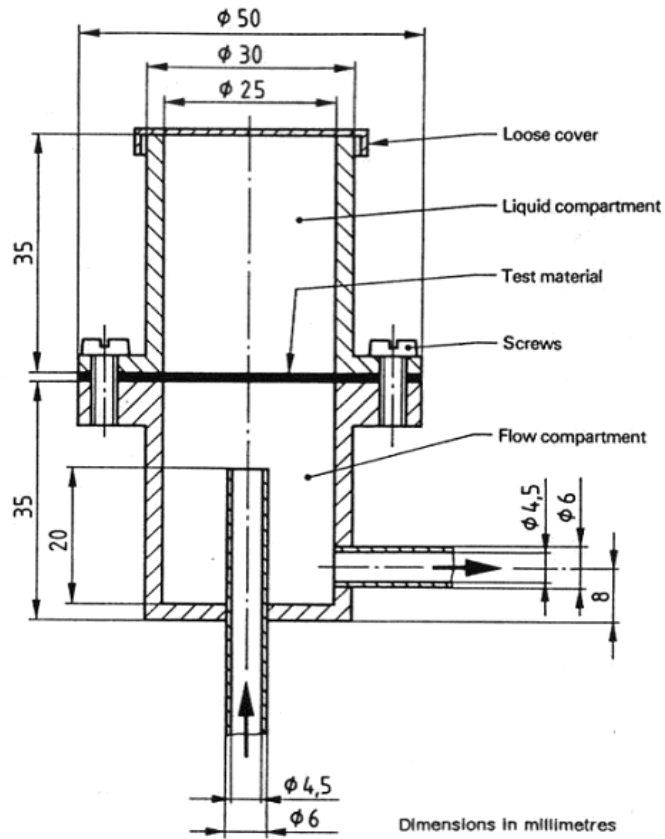


圖 1.2 ISO 6529 浸透測試腔

(The terms and definitions taken from ISO 6529:2001 are reproduced with permission of the International Organization for Standardization. Copyright remains with ISO.)

表 1.1 ASTM F739、EN 374-3 與 ISO 6529 標準方法之比較

Test Method	Diameter of Permeation Cell (mm)	Loop	Flow Rate of Collection Medium	Detection limit ⁴	Result
ASTM F739 (1981, 85, 91, 96, 99)	51	Open	50-150 mL/min	0.1	(Normalized) breakthrough time Steady state permeation rate
		Closed	Mixing well	0.25	
EN 374-3 (1994, 2003)	51 ¹	Open	5 V/min	1	(Normalized) breakthrough time
		Closed	Mixing well	1 ⁵	
ISO 6529 (1990, 2001)	51 ²	Open	5 V/min	0.1 or 1	(Normalized) breakthrough time Steady state permeation rate
	25 ³	Closed	6 rpm (stirring)	0.25 or 2.5	

¹ Cell is the same as ASTM F739.

² Cell is the same as ASTM F739 and presented in 2001 version.

³ Cell was originally presented in 1990 version and provided as an alternative cell in 2001 version.

⁴ For an open-loop system, $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$; for a closed-loop system, $\mu\text{g}/\text{cm}^2$

⁵ $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$

第二章 文獻探討

2.1 浸透測試標準方法發展

1971 年英國職業衛生協會(British Occupational Hygiene Society, BOHS)之技術委員會(Technology Committee)，首先發展出有害液體對防護手套的穿透性(penetration)測試，穿透指在非分子階層(nonmolecular level)時，有機溶劑因多孔性物質、接縫、小孔及其他瑕疵等，穿透過防護衣物，而訂定 BS 4724:1971 標準測試方法(British Standard Method of Test for Resistance of Air Impermeable Clothing Materials to Penetration by Harmful Liquids)。BS 4724 測試方法利用測試腔固定防護衣物，並將氮雜環己烷(piperdine)作為指示劑，與待測試的有機溶劑混合後，置於防護衣物的表面；當防護衣物下方出現液體或開始褪色時，穿透所需時間即破出時間。BS 4724 測試方法之缺點，是無法判別混合有機溶劑中各別成份的破出時間(Leinster et al. 1986)。

防護衣物浸透測試標準方法最初並未規定浸透測試腔之型式及尺寸，但是測試腔與管線須為玻璃、不鏽鋼或鐵氟龍等材質，避免有機溶劑吸附於測試腔材質；此外，採集介質之迴路管線應盡可能縮短。而在實驗過程中，並應確保測試之有機溶劑，完全覆蓋防護衣物的暴露面積(Leinster et al. 1986)。

美國測試及材料協會(American Society for Testing and Materials, ASTM)於 1977 年開始防護衣物的發展與檢測，並於 1981 年公佈 ASTM F739 (Standard Test Method for Resistance of Protective Clothing Materials to Permeation by Liquids or Gases under Conditions of Continuous Contact) 浸透性測試標準方法，浸透有別於穿透，指在分子階層(molecular level)時，有機溶劑通過防護衣物的程序。ASTM F739 標準方法需使用如圖

2.1 所示之水平式浸透測試腔，其由兩個直徑為 51 mm 的腔室所組成，將待測的防護手套固定於兩個腔室中間；右側放置有機溶劑之腔室體積為 75 mL，左側為流通採集介質，腔室體積 100 mL。防護手套樣本由兩個鐵氟龍三角板固定於兩個腔室間，其中防護手套外層表面接觸有機溶劑，內層則朝向採集介質。進行浸透測試時，所量測之採集介質中，有機溶劑的濃度隨著時間而變化。

合適之採集介質不會影響待測的防護手套，如剝落、衰變等，當有機溶劑浸透過防護手套時，應完全溶解並混合於採集介質中。另一方面，採集介質對於待測之有機溶劑，需具備高溶解度，且實驗時需適當之流量通過採集介質的腔室。

浸透測試之採集介質可為氣體或液體，其流經測試腔之方式可為開放式(open-loop)或循環之密閉式(closed-loop)。針對揮發性之待測有機溶劑，最常使用空氣、氮氣或氦氣於開放式迴路中作為採集介質；當待測物具水溶性或非揮發性時，則建議使用水作為密閉式迴路之採集介質。

ASTM F739-81 建議採集介質之每分鐘流量，需達到採集介質腔室的 5 倍體積置換率，亦即 500 mL/min；由於浸透腔為玻璃材質，於測試過程中，不易維持足夠的密合度(Bromwich 1998)。1991 年修正後之 ASTM F739-91，則規定當浸透實驗採開放式迴路時，採集介質之流量為 50-150 mL/min；針對密閉式迴路，則無特定流量之建議範圍。ASTM F739 未說明制定採集介質流量之依據，以及如何選擇適當之採集介質與其迴路。

國際標準組織(International Organization for Standardization, ISO)於 1990 公告 ISO 6529 化學防護衣物之浸透標準方法(Protective Clothing - Protection against Chemicals-Determination of Resistance of Protective

Clothing Materials to Permeation by Liquids and Gases)，如圖 2.2 所示，ISO 測試腔之直徑為 25-mm，上下腔室之體積均為 17.2 cm³。ISO 測試腔之上側放置 10 mL 的有機溶劑，接觸防護手套的外層；下側則流通採集介質，帶出浸透過防護手套之有機溶劑，ASTM 與 ISO 浸透測試腔之差異參見於表 2.1。在開放式迴路中，ISO 6529 規定採集介質之每分鐘流量，須達到 5 倍採集介質腔室體積之置換率(86 mL/min)。實驗結束後，要求呈現穩定浸透速率及(標準化)破出時間，作為抗浸透測試之實驗結果。2001 年公佈之修正版 ISO 6529 標準方法，則增加與 ASTM 相同之浸透測試腔，但亦保留原有之直立式測試腔，兩者均可使用於浸透測試。

歐洲聯盟標準組織(European Committee for Standardization, CEN)於 1994 年提出 EN 374-3 標準方法(Protective Gloves against Chemicals and Micro-organisms - Part 3: Determination of Resistance to Permeation by Chemicals)，建議使用與 ASTM 相同之浸透測試腔。EN 374-3 建議之採集介質流量則與 ISO 相同，亦即 500 mL/min。EN 374-3 於 2003 年最新版本中，其與 ASTM F739 及 ISO 6529 最大之差異，在於測試報告僅需決定，當浸透速率達 1 $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$ 時，所對應之標準化破出時間，而不需提供穩定浸透速率。

有許多因素影響浸透測試的結果，包括有機溶劑與手套之接觸方式、開放式或密閉式迴路、採集介質種類與流量、測試溫度和分析技術等(Anna et al. 1998; Leinster et al. 1986)。標準測試方法並非嘗試去模擬工作場所之實際暴露情況，其目的是瞭解防護衣物材料對有機溶劑之阻隔特性，浸透測試之結果則提供防護衣物的防護等級，以幫助勞工選擇合適的防護衣物(Leinster et al. 1986)。

目前國際上針對防護手套之抗有機溶劑浸透性測試，以 ASTM F739 標準方法最常被使用，許多文獻即以此標準方法用於防護衣物的測試與探討(Chao et al. 2006; Chao et al. 2004; Chao et al. 2003; Mäkelä et al. 2003; Anna et al. 1998;)；因此許多防護手套製造商利用該標準方法，提供手套之測試結果。其他如 EN 374-3、ISO 6529、JIS 8116 及 CNS 14384-3 等標準方法，則較少用於廠商之測試及學術報告。

標準測試方法在經過多年不斷地修正，在浸透測試腔的設計、實驗步驟、採集介質迴路及結果計算等，已逐漸趨於一致；如表 1.1 所示，目前之差異主要在於採集介質之流量與結果報告。文獻尚未針對 ASTM F739、EN 374-3 及 ISO 6529 標準方法，所得到之測試結果進行比較，以探討測試參數之合理性與測試結果之差異。



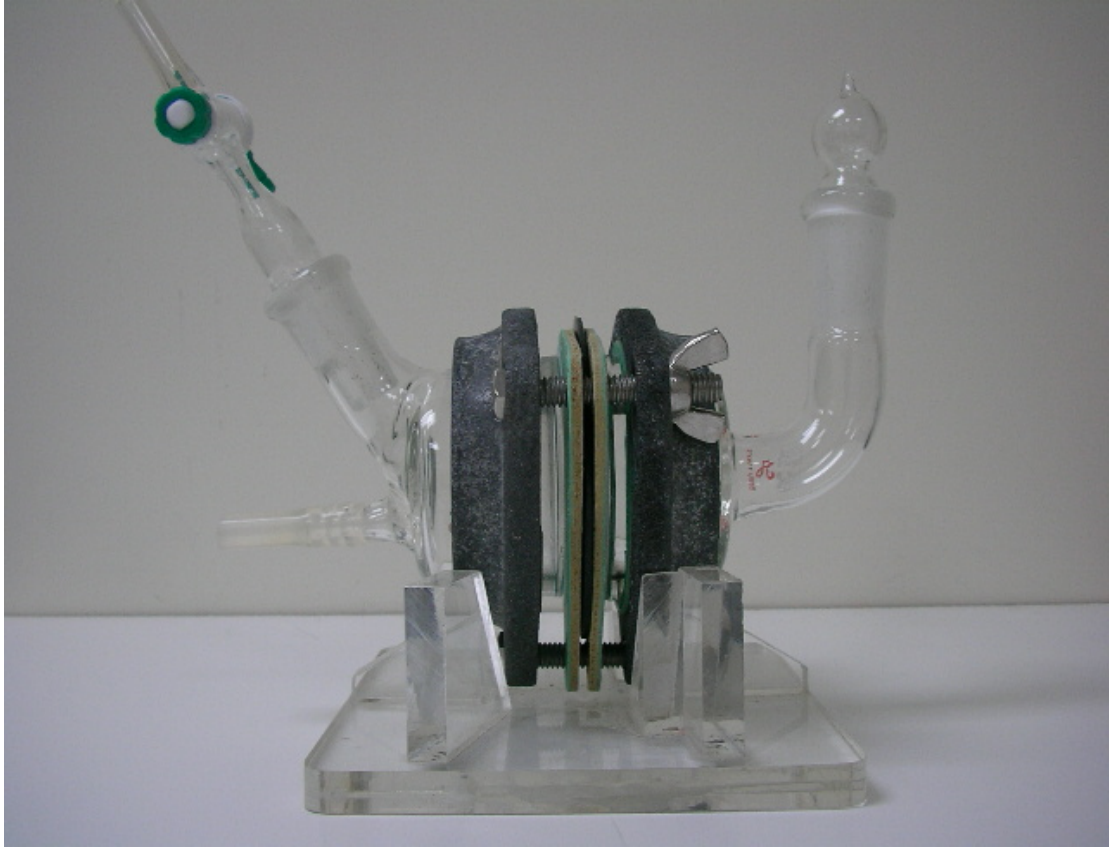


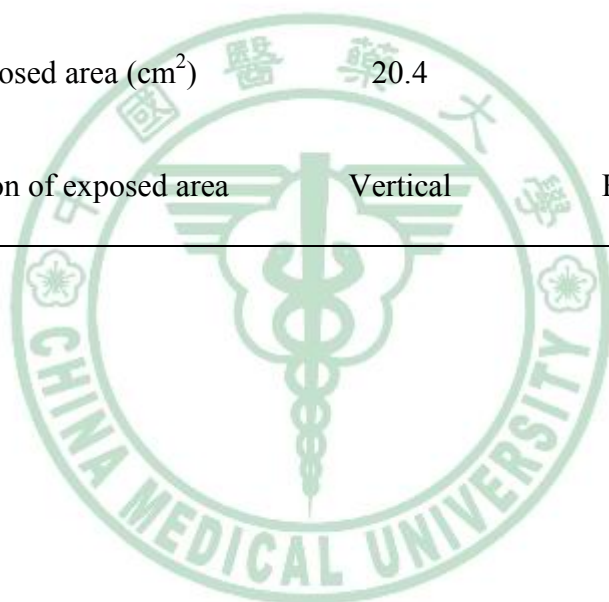
圖 2.1 ASTM F739 浸透測試實驗模型



圖 2.2 ISO 6529 浸透測試實驗模型

表 2.1 ASTM 與 ISO 兩種浸透測試腔之差異

Configuration	ASTM cell	ISO cell
Diameter of permeation cell (mm)	51	25
Volume of collection medium (mL)	100	17.2
Exposed area (cm ²)	20.4	4.9
Position of exposed area	Vertical	Horizontal



2.2 採集介質與流量

Weeks and Dean (1977)利用鹽的溶液作為採集介質，用以模擬人體的汗水，因此所得之浸透數據較具代表性。Sansome and Tewari (1978)則主張在實際情況下，乳脂狀的脂肪與水能提供更佳的模擬，但後來發現鹽的溶液與去離子水所測得之結果相似，且可避免分析脂肪的複雜性。

測定浸透性的方法僅僅是分析的程序，只是用來提供防護衣物測試的分級，不可能實際模擬各種不同之真實暴露狀況，因此需避免複雜且難以分析之採集介質與分析條件。此外，為精確得到各實驗之破出時間，樣本分析方法所需時間愈短愈好(Leinster et al. 1986)。

隨著分析儀器不斷地進步，標準方法發展至後期，當有機溶劑不容易揮發或在氣態不易被偵測時，可使用液態採集介質。Berardinelli et al. (1983)利用空氣與水作為採集介質，於開放式迴路中，進行Acetone/neoprene的抗浸透性測試，浸透結果無顯著性差異。

浸透試驗以氣體作為採集介質的開放式系統，比密閉式系統更被普遍地使用。但是當有機溶劑浸透過防護衣物的量極低時，可能導致儀器無法偵測到破出時間，則建議改用密閉式迴路(ASTM F739-99a; Leinster et al. 1986)。

理想之採集介質對於有機溶劑必需具備高溶解度，能均勻混合、直接分析且不會影響防護衣物。如果沒有高溶解度，則浸透過程一定會受影響、造成浸透速率的低估。因此，空氣、氮氣、氬氣及水都適合作為採集介質。而許多文獻指出，浸透實驗所測得之穩定浸透速率，受到採集介質之流量的影響(Anna et al. 1998; Mellström 1991a,b; Mellström et al.

1989; Leinster et al. 1986)。

ASTM F739-91 標準方法建議，當測試的有機溶劑在採集介質之溶解度低，或浸透速率較高時，需要增加採集介質之流量(ASTM F739-99a; Anna et al. 1998)。CEN 374-3 及 ISO 6529 標準方法，所建議之開放式迴路的採集介質流量，明顯高於 ASTM F739-99。在密閉性迴路測試方面，三種標準方法均要求需達到均勻混合，而 ISO 6529 標準方法亦要求採集介質腔室內，需以 6 rpm 攪拌速度達到均勻混合狀況。

2.3 浸透結果報告

三種標準方法均要求紀錄實驗之基本資料，如實驗所使用之標準方法、手套來源、型號、厚度與重量、待測有機溶劑、溫度、測試時間與採集介質等。並要求計算(標準化)破出時間。ASTM F739-99a 及 ISO 6529:2001 標準方法，需提供穩定浸透速率及(標準化)破出時間；而 EN 374-3:2003 只要求浸透測試報告其(標準化)破出時間。標準方法之破出時間，其定義如下：

- 當有機溶劑從一端浸透至另一端後，所偵測到之浸透濃度的時間，稱為破出時間(breakthrough time, BT)；
- 達到預設之浸透速率(如 $J_s=0.1 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$)，所需要的破出時間，稱為標準化破出時間(normalized breakthrough time)；
- 利用累積浸透質量對時間作圖，如圖 2.3 所示，得到穩定狀態時的切線，對應於時間軸的交點，稱為延滯時間(lag time, t_l)。

目前破出時間的計算以前二種方法為主，其需決定於分析儀器的偵測極限(Detector Limit)。若分析儀器無法得到標準化破出時間，則需記錄其破出時間。因此，浸透試驗需要適當之分析儀器及技術，以獲得精確的浸透數據。

開放式迴路之浸透測試，當達到穩定狀況時，浸透速率會趨近於定值；此稱為穩定浸透速率 J_s ($\text{ML}^{-2}\text{T}^{-1}$)：

$$J_s = \frac{CQ}{A} \quad \text{Eq.2.3.1}$$

式中 C 為採集介質中有機溶劑浸透濃度(ML^{-3})； Q 為採集介質之流量(L^3T^{-1})； A 則為防護手套與有機溶劑之接觸面積(L^2)。

而密閉式迴路的浸透速率 J_s ($\text{ML}^{-2}\text{T}^{-1}$)計算如下：

$$J_s = \frac{(C_i - C_{i-1})V}{(T_i - T_{i-1})A} = \frac{\alpha}{A} \quad \text{Eq.2.3.2}$$

式中 C_i 指在時間 T_i 時的濃度(ML^{-3})； V 為採集介質總體積(L^3)； α 為圖 2.3 中，穩定之累積浸透質量的切線斜率。

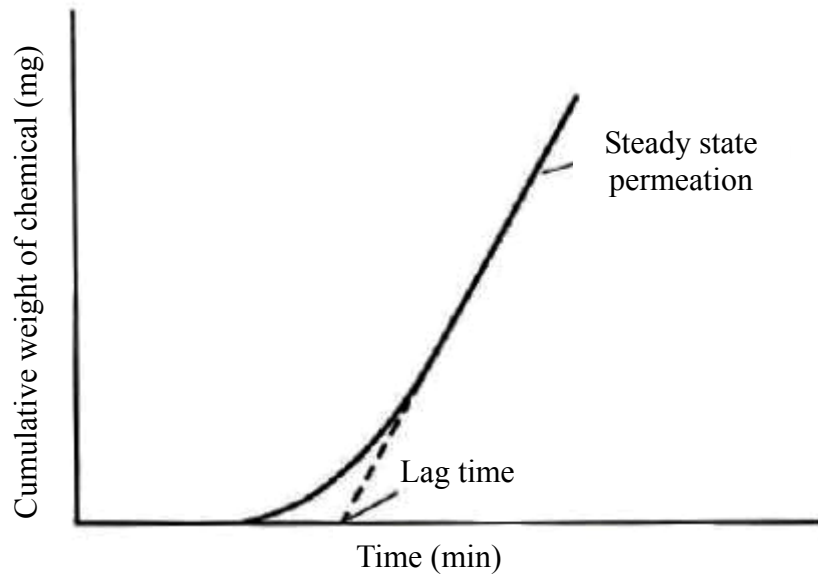


圖 2.3 有機溶劑累積浸透曲線



2.4 擴散係數及溶解度

有機溶劑浸透防護手套時，有機溶劑經由擴散作用，沿著厚度方向 Z 而浸透單位面積防護手套之質傳速率 J ($\text{ML}^{-2}\text{T}^{-1}$)，可用 Fick's first law 表示如下 (Chao et al. 2003; Vahdat and Sullivan 2001; Britton et al. 1989; Crank 1975)：

$$J = -D \frac{\partial C_Z}{\partial Z} \quad \text{Eq.2.4.1}$$

式中 D 為有機溶劑浸透防護手套之擴散係數 (L^2T^{-1})； C_Z 為有機溶劑在防護手套中之濃度 (ML^{-3})； Z 為手套內至外側表面之距離 (L)。

許多文獻指出擴散係數 D 不會因 C_Z 或 L 改變，可視為常數 (Chao et al. 2003; Vahdat 1991; Crank 1975)。只有有機溶劑之物化特性，如分子大小、形狀及結構等，會對擴散係數造成影響。

防護手套中有機溶劑濃度 C_Z ，則可利用 Fick's second law 表示如下：

$$\frac{\partial C_Z}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C_Z}{\partial Z^2} \quad \text{Eq.2.4.2}$$

依據實驗狀況所假設之邊界及初始條件如下 (Crank 1975)：

- 浸透發生前，手套中有機溶劑之濃度為零 ($t=0, \text{all } Z, C_Z=0$)；
- 有機溶劑開始接觸手套之表面時，其濃度 ($C_{Z=0}=C_0$) 為有機溶劑在手套之溶解度 S (ML^{-3})；
- 任何時間手套另一面之有機溶劑濃度為零 ($C_{Z=L}=0$)。

由 Eq.2.4.2 之解可得有機溶劑於防護手套中之浸透濃度 C_Z ：

$$C_z(Z,t) = C_0 \left(1 - \frac{Z}{L} \right) - 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{C_0}{n\pi} \exp \left(-D \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2 t \right) \sin \left(n\pi \frac{Z}{L} \right) \quad \text{Eq.2.4.3}$$

Crank (1975) 利用隔膜測試腔(diaphragm cell) 探討 VOC 蒸氣(vapor) 浸透聚合物薄膜之擴散係數 D ，聚合物薄膜置於兩腔室中間，有機溶劑置於下方腔室，並測量上方密閉腔室之壓力變化，依據 Eq.2.4.3 得到有機溶劑於手套中穩定狀態之擴散係數 D ：

$$D = \frac{L^2}{6t_l} \quad \text{Eq.2.4.4}$$

式中 t_l 為延滯時間， L 為防護手套之厚度(L)。

當有機溶劑浸透防護手套達到穩定狀況時，其浸透速率 J_s 依 Eq.2.4.1 可表示如下：

$$J_s = D \frac{C_{Z=0} - C_{Z=L}}{L} \quad \text{Eq.2.4.5}$$

依據 Crank (1975) 之假設，有機溶劑於手套表面之濃度 C_0 ，等於其溶解度 S ，且 $C_{Z=L}=0$ ；因此 Eq.2.4.5 可表示如下：

$$J_s = D \frac{S}{L} \quad \text{Eq.2.4.6}$$

由浸透實驗及 Eq.2.4.4 可以分別決定 J_s 及 D ；因此，溶解度 S 可利用 Eq.2.4.6 求得(Chao et al. 2006；Chao et al. 2003)。

$$S = J_s \frac{L}{D} \quad \text{Eq.2.4.7}$$

第三章 材料與方法

3.1 實驗材料

本研究選用腈橡膠(nitrile)與氯丁橡膠(neoprene)材質之防護手套，二種手套均為無支撐及無襯裡材質，在實驗前先檢查手套有無變色、破損，如有裂縫或小孔等瑕疵，將避免使用於實驗中，其特性列於表 3.1。防護手套截取測試所需之面積後，以去離子水洗淨擦乾，放置於恆溫恆濕箱內 24 小時。經電子天平稱重 3 次後(精確至 0.0001 g)，以厚薄計量測 5 點厚度(精確至 0.01 mm)，得到每一樣本之平均重量及厚度。浸透實驗結束後，立刻取下手套樣本，並擦乾、稱重及測量厚度變化。

實驗所使用之浸透有機溶劑為苯(Benzene)及 1,2-二氯乙烷(1,2-Dichloroethane, EDC)，皆為分析級試藥，其物化特性列於表 3.2。因為這兩種有機溶劑廣泛應用於工業，且腈橡膠及氯丁橡膠材料能提供適當之防護效果。試驗所產生之廢溶劑及廢液，經分類收集後，交由學校環安室回收處理。

表 3.1 防護手套之特性

Glove	Brand	Thickness (mm)	Specific gravity (g/cm ³)	Solubility parameter [†] (cal/cm ³) ^{1/2}
Nitrile	Best 737-11 (USA)	0.57±0.02	1.30±0.09	11.2
Neoprene	MAPA-414319 (USA)	0.95±0.04	1.52±0.05	10.1

[†] Data from Perkins and Tippit (1985)

表 3.2 實驗之有機溶劑物化特性

Solvent	Benzene	1,2-Dichloroethane
Formula	C ₆ H ₆	C ₂ H ₄ Cl ₂
Grade	GR	GR
Purity (%)	99%	99.5%
MW	78.1	98.97
MV	89.06	79.01
δ	9.2	10.0
Log K _{ow}	2.12	1.45
WS	1,780	8,690
SG	0.88	1.253
H	0.23	0.063
BP	80	83.5
MDL (µg/mL)	0.55	0.46
MDL (mg/L)	0.61	0.15

Properties are @ 25°C and abbreviations are as follows.

MW, molecular weight (g/mole); MV, molar volume (cm³); δ, solubility parameter ((cal/cm³)^{1/2}); K_{ow}, octanol-water partition coefficient (LaGrega et al. 1994); WS, water solubility in mg/L (LaGrega et al. 1994); SG, specific gravity in Kg/L; H, Henry's constant (LaGrega et al. 1994); BP, boiling point (°C); MDL, Method Detection Level in gas (µg/mL) and in liquid (mg/L).

3.2 實驗儀器設備

本研究所使用的儀器設備包括：

電子天平(AY220, Shimadzu, Japan)

厚薄計(SM-112, Teclock, Japan)

ASTM 測試腔(Pesce Laboratories, Kennett Square, PA, USA)

ISO 測試腔(Taiwan)

扭力扳手(No. 5063797, Onpin, USA)

浮子流量計(MS-6, MS-10, FJW-121714-F, Shin Yuan, Taiwan)

紅外線流量校正器(Gilibrator-2, Gilian®, USA)

蠕動幫浦(CZ-77912-00, Cole-Parmer, USA)

PTF 廣口瓶(100 ml)

磁石(Teflon Sealing Tape, Cowie, Britain)

注射針(Hamilton Microliter Syringes, 701N, Supelco, USA)

氣密式注射針(Valco Precision Sampling Syringes, Series A-2, Supelco, USA)

氣相層析儀與火焰離子偵測器(GC/FID, AutoSystem XL, Perkin Elmer, USA)

低溫培養箱 (Low Temperature Incubator, LE-509, YIH DER INSTRUMENTS CO., LTD, Taiwan)

3.3 開放式迴路

浸透測試腔用中性洗潔劑以超音波震盪清洗乾淨，放入烘箱中烘乾。裁好之防護手套以兩個鐵氟龍板固定於兩個腔室中間，以 20 磅扭力扳手組裝。實驗流程如圖 3.1 所示，以流量 25-500 mL/min 之氮氣作為採集介質 (ASTM F739-99a 標準方法建議流量 50-150 mL/min；EN 374-3: 2003 與 ISO 6529: 2001 標準方法則建議每分鐘 5 倍的體積置換率，500 mL/min)。用鐵氟龍管線連接氮氣鋼瓶與浸透腔，將浸透腔置於 $25\pm 1^\circ\text{C}$ 恆溫水槽中，氮氣以面積式浮子流量計控制，並於每次實驗前，使用紅外線流量校正器量測鋼瓶流出之流量。氮氣流經測試腔後，利用鐵氟龍管連接至 T 型取樣接頭。廢氣最後導入化學實驗抽風櫃，經局部排氣系統收集處理後排放。

將 75 mL 或 10 mL 的待測有機溶劑，分別倒入 ASTM 或 ISO 測試腔，當防護手套表面全部接觸到溶劑時，啟動計時器，並立刻將浸透測試腔入口密封，以避免溶劑揮發至空氣中。每隔 10 分鐘，使用氣密式注射針於 T 型取樣接頭取樣 50 μL 後，直接注入氣相層析儀分析樣本濃度；連續 4 個小時或持續採樣至樣本中，有機溶劑濃度達到穩定狀態。

氣相層析儀之分析管柱 (DB-5, J&W, USA) 內徑 0.53 mm，長度 30 m，溫度在 170°C 恆溫 3 分鐘。GC 注入口溫度 200°C ，偵測器溫度 250°C ，載流氣體氮氣的流速為 5 psi。樣本之檢量線 R^2 值均大於 0.995，並測定各溶劑之分析方法偵測極限 (參見表 3.2)。

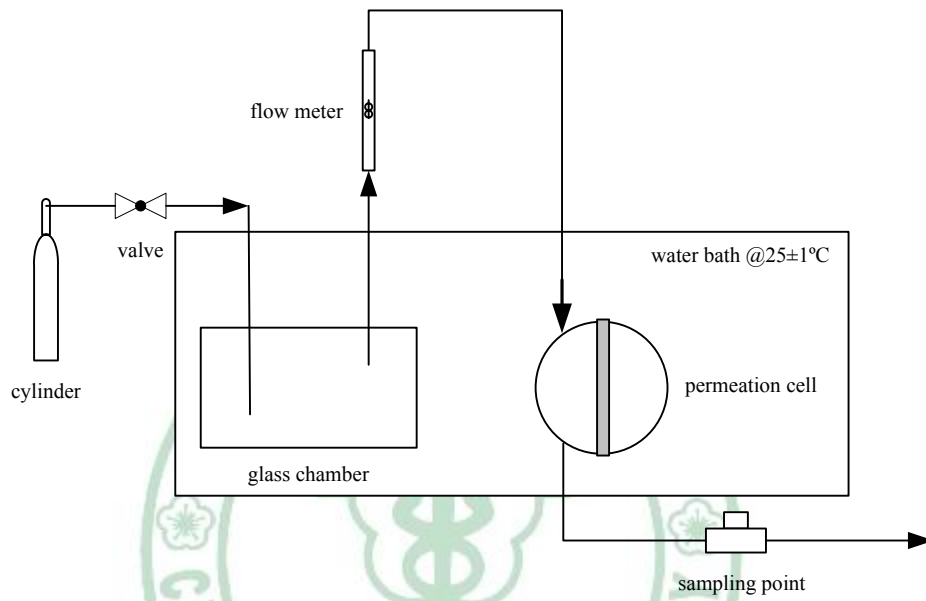


圖 3.1 開收式迴路浸透實驗流程

3.4 密閉式迴路

密閉式迴路之流程配製如圖 3.2 所示，浸透測試腔組裝完成後，倒入 275 mL 去離子水作為採集介質；在測試腔左端內放置圓形磁石，以 30-40 rpm 轉速攪拌採集介質。流通測試腔左側之去離子水，流出到鐵氟龍瓶中，經由磁石均勻攪拌後，再連接到面積式浮子流量計及 T 字型取樣接頭。採集介質最後再連接至蠕動幫浦，整個密閉循環系統均由鐵氟龍管線連接，流量分別控制在 40、50 及 60 mL/min，並置於 25 ± 1 °C 恆溫箱中。

每隔 10 分鐘使用氣密式注射針，取樣採集介質 1 μ L，直接注入氣相層析儀分析樣本濃度；持續採樣至採集介質樣本中，有機溶劑濃度達到穩定狀態。氣相層析儀之分析管柱(DB-5, J&W, USA)內徑 0.53 mm，長度 30 m，溫度在 110°C 恆溫 3 分鐘，注入口溫度 200°C，偵測器溫度 250°C，載流氣體氮氣的流速為 5 psi。樣本之檢量線 R^2 值亦大於 0.995，並測定各溶劑之分析方法偵測極限(參見表 3.2)。

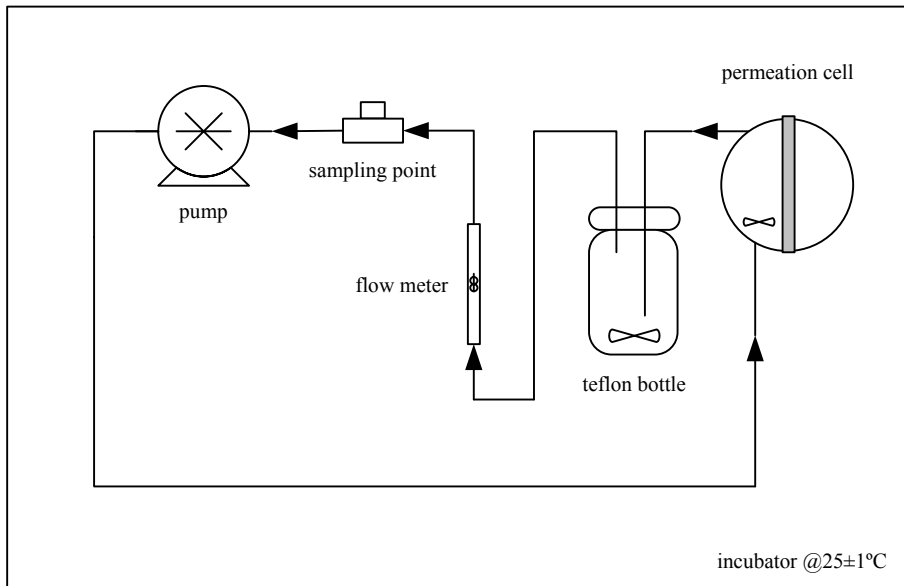


圖 3.2 密閉式迴路浸透實驗流程

第四章 結果與討論

4.1 ASTM 與 EN 浸透測試結果

浸透實驗結束後檢視防護手套，發現兩種手套外觀無明顯破損、穿透(penetration)現象，但手套有些微拉長變形，且 nitrile 及 neoprene 手套厚度分別平均增加約 18%與 21%。如 Eq.2.4.6 所示，穩定浸透速率(J_s)與厚度(L)呈反比，即使同一批出廠之同型號手套，其穩定浸透速率亦因手套厚度而有所差異(Berardinelli and Moyer 1988)。有機溶劑浸透防護手套之擴散係數及溶解度，一般均視為常數。因此，本研究將有機溶劑對防護手套之浸透性，以浸透係數(permeability coefficient, P)表示，其為穩定浸透速率與手套厚度之乘積。

$$P = DS = J_s L \quad \text{Eq.4.1.1}$$

表 4.1 為利用開放式 ASTM 測試腔，得到 Benzene 及 EDC 分別浸透 nitrile 與 neoprene 手套之浸透係數；結果顯示浸透係數隨著採集介質氮氣流量的增加而增加，直到浸透係數達到穩定值。圖 4.1 及 4.2 為浸透係數隨採集介質流量之變化，結果發現 Benzene/nitrile 在流量大於 75 mL/min 時，可得其穩定浸透係數約 44 $\mu\text{g}/\text{cm}/\text{min}$ ；以單因子變異數分析檢定穩定狀況之浸透係數，無統計上顯著差異($p=0.958$)。EDC/neoprene 則在流量大於 125 mL/min 時，可得到穩定浸透係數約 78 $\mu\text{g}/\text{cm}/\text{min}$ ($p=0.722$)。若以 t-test 檢定穩定前後所測得之浸透係數，Benzene/nitrile 及 EDC/neoprene 皆達統計上顯著差異($p=0.001$)。

採集介質在低流量時，浸透手套之有機溶劑可能未完全混合於氮氣中，因此經採樣後所測得之浸透係數較小；當流量增加，則 benzene 及 EDC 與氮氣均勻混合，而可得到穩定之浸透係數。

Mellström (1991b)利用氮氣作為採集介質，以流量分別為 120 及 500 mL/min，比較 1 吋 ASTM F739 浸透腔之測試結果。Mellström 發現 Toluene/dermapren、Toluene/fairprene 及 TCE/dermapren 在流量 500 mL/min，所測得之穩定浸透速率皆高於流量 120 mL/min 之測值。Mäkelä et al. (2003)依據 ASTM F739-99a 及 EN 374-3: 1994 標準方法，分別使用流量 52 與 474 mL/min 之氮氣採集介質，測試 70% isopropyl alcohol 對 5 種不同外科手套之浸透性，結果顯示 474 mL/min 所測得之穩定浸透速率均高於 52 mL/min。本研究與 Mellström (1991b)及 Mäkelä et al. (2003)之結果，有相同的趨勢。

ASTM F739 建議採集介質之流量為 50-150 mL/min；而 ISO 6529 及 EN 374-3 則規定每分鐘流量為 5 倍的體積置換率，亦即約 500 mL/min。有機溶劑浸透過手套後，應均勻混合於採集介質中，才能符合浸透測試的原理(Henry and Stull 2003)。文獻指出當測試的防護手套與有機溶劑具高浸透速率時，應提高採集介質之流量(Anna et al. 1998)。圖 4.1 及 4.2 結果顯示，標準測試方法應規範合適之採集介質流量，以得到正確之浸透速率。以本研究所使用之氮氣而言，在 51-mm 之 ASTM F739 測試腔，適當的流量為 150 mL/min 以上；但不需達到 500 mL/min，即可得到穩定之浸透數據。

表 4.1 採用開放式迴路所測得之浸透係數

Flow rate (mL/min)	$P=J_s*L$ ($\mu\text{g}/\text{cm}/\text{min}$)			
	<i>Benzene/nitrile</i>		<i>1,2-Dichloroethane/neoprene</i>	
	ASTM 2" cell	ISO 1" cell	ASTM 2" cell	ISO 1" cell
25	23.64 ± 0.78	38.65 ± 2.52	27.44 ± 0.75	59.40 ± 2.06
50	33.32 ± 1.30	53.05 ± 2.59	54.51 ± 5.76	75.20 ± 4.37
75	44.42 ± 1.99	54.07 ± 4.72	63.20 ± 6.12	89.64 ± 1.52
100	42.91 ± 3.74	52.63 ± 5.39	69.86 ± 2.92	92.59 ± 1.78
125	43.00 ± 3.17		77.04 ± 5.35	
150	43.08 ± 2.92	53.53 ± 1.99	77.10 ± 2.98	91.12 ± 5.05
175	44.69 ± 2.33		76.28 ± 0.79	
200	44.21 ± 2.15		76.49 ± 0.85	
225	44.54 ± 2.11		79.58 ± 7.67	
500	45.73 ± 3.07	52.41 ± 1.06	80.80 ± 6.16	90.42 ± 4.80

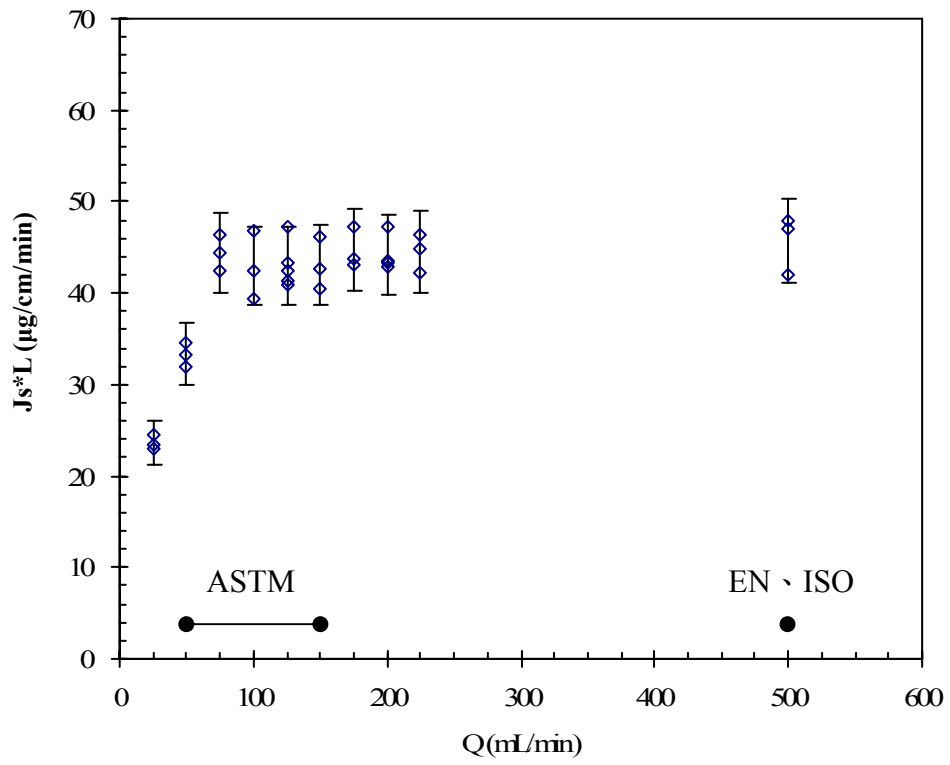


圖 4.1 Benzene/nitrile 於 ASTM 測試腔於開放式迴路之浸透係數

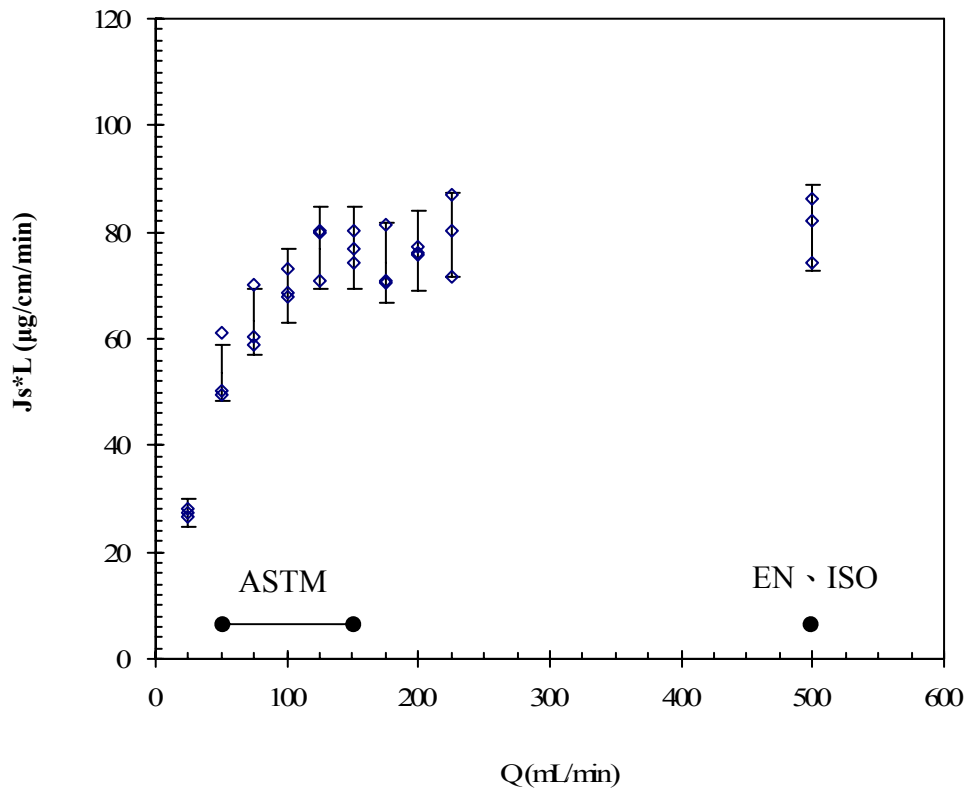


圖 4.2 EDC/neoprene 於 ASTM 測試腔於開放式迴路之浸透係數

4.2 ISO 測試腔結果

如表 4.1 所示，Benzene 及 EDC 利用 ISO 測試腔，浸透 nitrile 與 neoprene 手套的結果，和 ASTM F739 有相似之趨勢；當氮氣流量分別大於 50 及 75 mL/min 時，可得到 Benzene/nitrile 與 EDC/neoprene 之穩定浸透係數約 53 和 91 $\mu\text{g}/\text{cm}/\text{min}$ 。ISO 6529: 2001 標準方法規定採集介質流量為 5 倍體積置換率，ISO 測試腔採集介質端之體積為 17.2 cm^3 ，故建議之流量為 86 mL/min。如圖 4.3 及 4.4 所示，在流量 86 mL/min 時，浸透係數即已達穩定狀況。

同時檢視圖 4.1、4.2、4.3 及 4.4，可發現 Benzene 浸透達到穩定狀況之氮氣流量均低於 EDC。Benzene 及 EDC 的飽和蒸氣壓分別為 75 及 61 mm-Hg (@20°C)，因此當待測物具低揮發與高浸透速率之特性時，採集介質需較高流量，以得到穩定之浸透係數。

依溶解度參數理論(solubility parameter theory)，如果聚合物與有機溶劑的溶解度參數(δ)愈接近，則浸透的可能性增加(Chao et al. 2006; 徐雅萍 2005)；因此手套與有機溶劑之溶解度參數的差值 $|\Delta\delta|$ 愈小，其浸透係數愈大。本研究之 Benzene、EDC、nitrile 及 neoprene 的溶解度參數詳列於表 3.1 與 3.2，因 EDC/neoprene 之 $|\Delta\delta|=0.1$ 小於 Benzene/nitrile 的 $|\Delta\delta|=2$ ；所以在 ASTM 及 ISO 浸透腔，EDC/neoprene 所得到之穩定浸透係數均大於 Benzene/nitrile。

如表 4.1 所示，在相同實驗條件下，ISO 測試腔所測得之浸透係數均高於 ASTM 測試腔。由於 ISO 測試腔採直立式設計，與水平式 ASTM 測試腔不同。進行 ISO 浸透腔測試時，有機溶劑置於手套上方，受重力影響，有可能增加有機溶劑浸透手套之速率；因而導致 ISO 測試腔所測

得之浸透係數，較 ASTM 測試腔結果高約 15-20%，且兩者具統計上之顯著差異($p < 0.001$)。以質傳機制而言，有機溶劑在 ASTM 測試腔的水平浸透行為，較符合勞工實際穿戴防護手套之狀況。



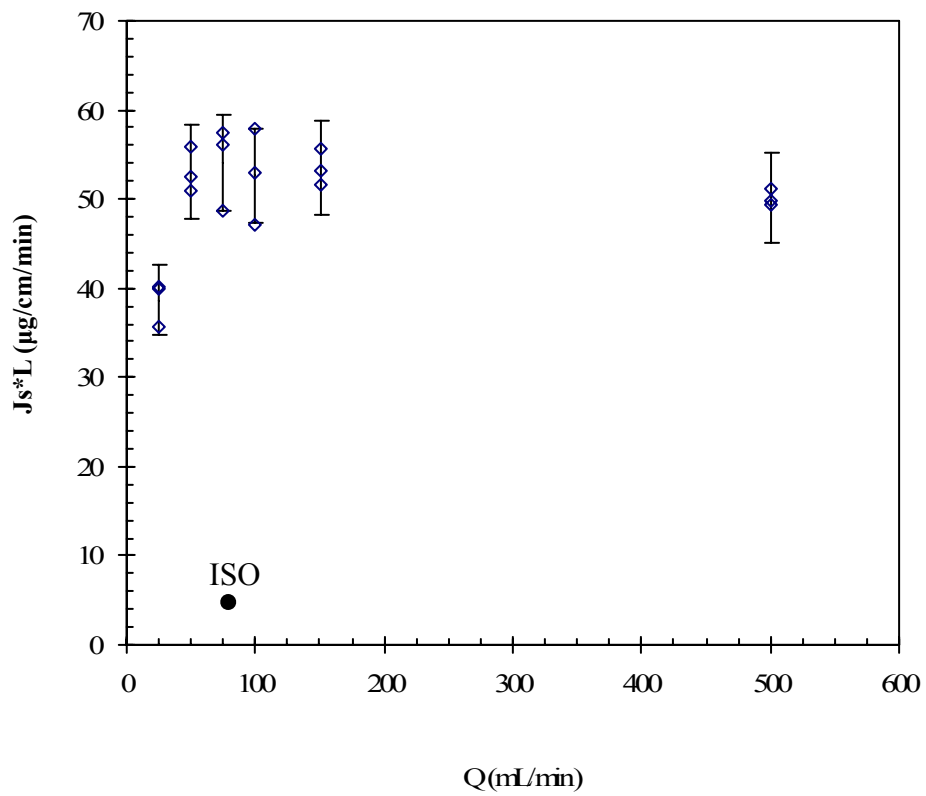


圖 4.3 Benzene/nitrile 於 ISO 測試腔於開放式迴路之浸透係數

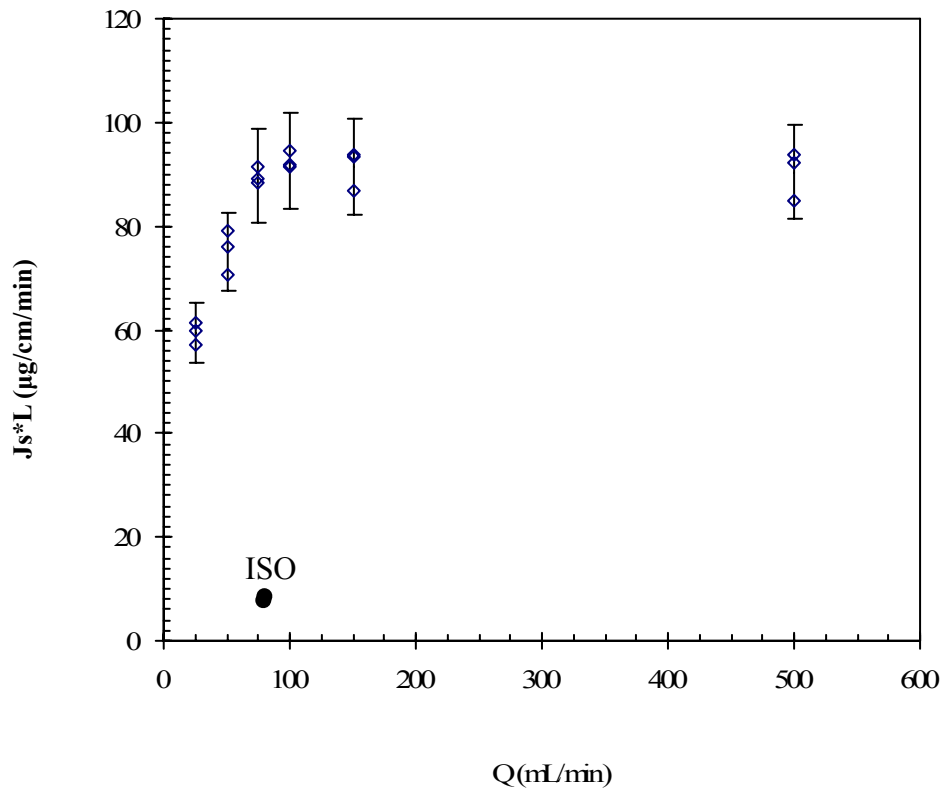


圖 4.4 EDC/neoprene 於 ISO 測試腔於開放式迴路之浸透係數

4.3 破出時間

測試開始後每 10 分鐘採樣一次，直到浸透速率 J_s 達穩定狀況。進行開放式迴路測試時，不論使用 ASTM 或 ISO 浸透腔，Benzene/nitrile 或 EDC/neoprene 所測得之破出時間均介於 20-30 分鐘。

標準測試方法亦規範標準化破出時間，其定義當有機溶劑浸透速率 (J) 達一定值時，所需之時間即為該次測試的標準化破出時間。如表 1.1 所示，ASTM 及 ISO 於開放式浸透迴路之標準化破出時間，分別為 J 達到 0.1 或 1 $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$ 所需時間。利用 Eq.2.3.1 可求得不同流量下相對應之浸透濃度；例如在流量 125 mL/min 時， $J=0.1$ 及 1 $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$ 之浸透濃度分別為 0.0163 與 0.163 mg/L。如表 3.2 所示，本研究在開放式迴路測試中，Benzene 的方法偵測極限(MDL)最低，約 0.04 mg/L，但其高於 $J_s=0.1$ 所對應之濃度 0.0163 mg/L。

如圖 4.5 所示，Benzene 在破出時間 30 min 時，所測得之濃度為 13.18 mg/L；如果以直接內插方法，在 20-30 min 內決定 $J=1 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$ 的標準化破出時間，此為不適當之方式。必需注意的是，標準化破出時間為 EN 374-3 標準方法，所規定之唯一測試報告結果。

本研究在開放式迴路中，採集介質氮氣之有機溶劑背景濃度為零；因此，有機溶劑浸透手套為採集介質中，有機溶劑濃度增加之唯一質傳機制。若採集介質在測試腔左側內均勻混合，以測試腔左側為控制體積，所建立之質量平衡式為：

$$V_c \left(\frac{dC}{dt} \right) = -AD \frac{\partial C_z(Z,t)}{\partial Z} \Big|_{Z=L} - QC \quad \text{Eq.4.3.1}$$

式中 V_c 為採集介質之腔室體積，對於 ISO 6529 及 ASTM F739 測試腔，其分別為 17.2 及 100 mL。

因 Eq.4.3.1 之初始條件為 $C(0)=0$ ，可得到有機溶劑混合於採集介質中之濃度 C 如下式：

$$C = \frac{AD}{V_c} \left[\int^t \left(\frac{S}{L} + \sum_{n=1}^{\infty} 2 \frac{S}{L} \exp \left(-D \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2 t \right) \right) \exp \left(\frac{Q}{V_c} t \right) dt \right] \exp \left(-\frac{Q}{V_c} t \right) \quad \text{Eq.4.3.2}$$

將浸透實驗數據，分別利用 Eq.2.4.4 及 Eq.2.4.7，可決定有機溶劑在手套之擴散係數 D 與溶解度 S ；代入 Eq.4.3.2，利用 Maple 電腦軟體 (Waterloo Maple Inc, Waterloo, Ontario, Canada)，可得到有機溶劑在採集介質中的濃度(徐雅萍 2005; 吳明傑 2002)。圖 4.5 為 Benzene 及 EDC 在 ASTM 與 ISO 測試腔，所得到之浸透實驗數據及模擬濃度曲線；結果顯示利用 Eq.4.3.2，能適當地模擬浸透實驗結果，特別是達到穩定狀況後之濃度變化。

如圖 4.5 所示，實驗初始所測得之有機溶劑濃度明顯低於模擬結果，可能原因為浸透發生後，防護手套開始膨脹而厚度增加，造成實驗數據小於模擬結果。利用 Eq.4.3.2 之模擬結果，將會低估有機溶劑浸透手套之破出時間，而此可以達到保護勞工之目的。若是受限於儀器之偵測極限，未能確切決定浸透之(標準化)破出時間，則可應用 D 及 S 於質傳模式，模擬浸透測試的結果。因此，標準方法之測試報告中，可增加擴散係數及溶解度，以提升浸透測試數據之應用性。

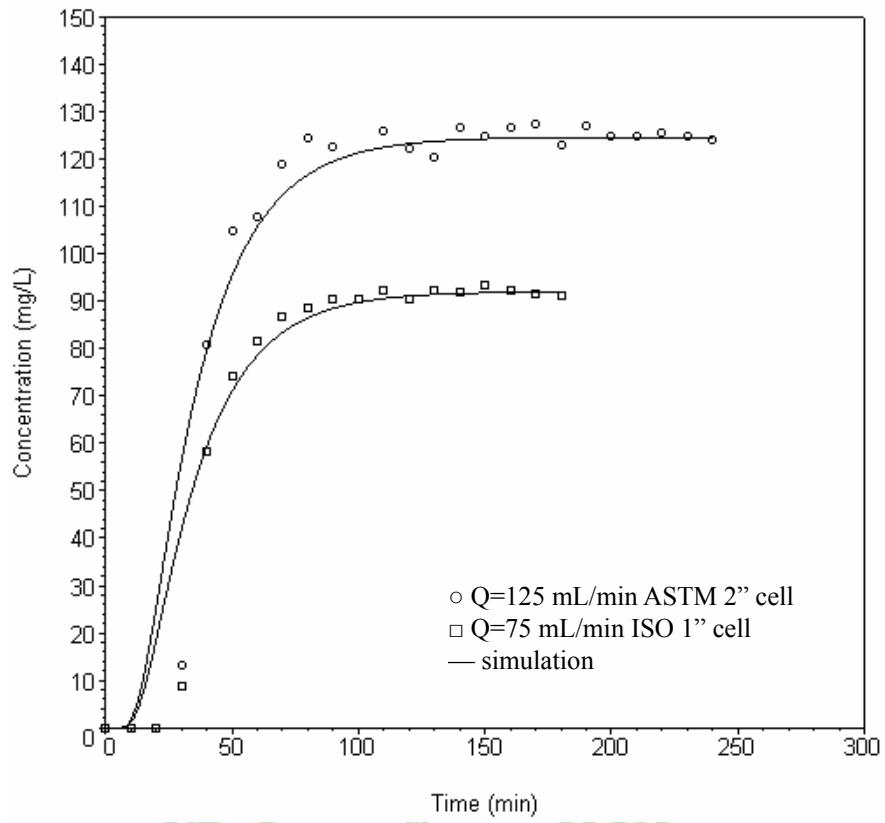


圖 4.5 模擬開放式迴路之 Benzene/nitrile 浸透測試

4.4 密閉式迴路浸透實驗

進行密閉式浸透測試前，利用吸附空白實驗，瞭解 PFA 瓶對 Benzene 水溶液吸附之影響；將已知濃度之 Benzene 水溶液，注入密閉 PFA 瓶中，圖 4.6 為 PFA 瓶內 Benzene 之濃度變化。將時間區分為 2 小時前、2-5 小時及 5 小時後，共三個階段，利用 Kruskal-Wallis test 統計檢定，三階段 Benzene 水溶液之濃度變化，並無顯著差異($p=0.245$)，因此 PFA 瓶對 Benzene 水溶液之吸附影響可以忽略。

圖 4.7 為利用 ASTM F739 測試腔，進行 Benzene 對 nitrile 之密閉式迴路浸透測試，分別於流量 40、50 及 60 mL/min，所測得之採集介質水中 Benzene 的濃度，測試時採集介質水溶液中，所測得之 Benzene 最大濃度為 520 mg/L，其小於 Benzene 在水中的溶解度 1,780 mg/L。表 4.2 為利用 ASTM 測試腔，進行 Benzene/nitrile 密閉式迴路測試之結果，發現浸透係數隨著採集介質水流量而增加。受到蠕動幫浦之流量限制，實驗僅進行 40、50 及 60 mL/min 三種流量，其遠低於氮氣採集介質之測試範圍。如表 1.1 所示，三種標準方法皆未指定密閉式迴路中，採集介質之流量，僅要求採集介質須均勻混合。ISO 6529 標準方法亦建議，使用密閉式迴路進行測試時，在採集介質流經之測試腔，需放置磁石且攪拌速率為 6 rpm。

如圖 3.2 所示，本研究在測試腔一端內，放置圓柱形磁石，以每分鐘 30-40 轉速攪拌採集介質水溶液。透過染色劑之測試，觀察水溶液流經測試腔，其攪拌後的流線，發現在採集介質腔上方未能均勻混合；這可能是造成密閉式迴路所測得之浸透係數，小於開放式迴路的原因。若採集介質無法充足的攪拌均勻，則液體不適合作為 ASTM F739 浸透試驗之採集介質。

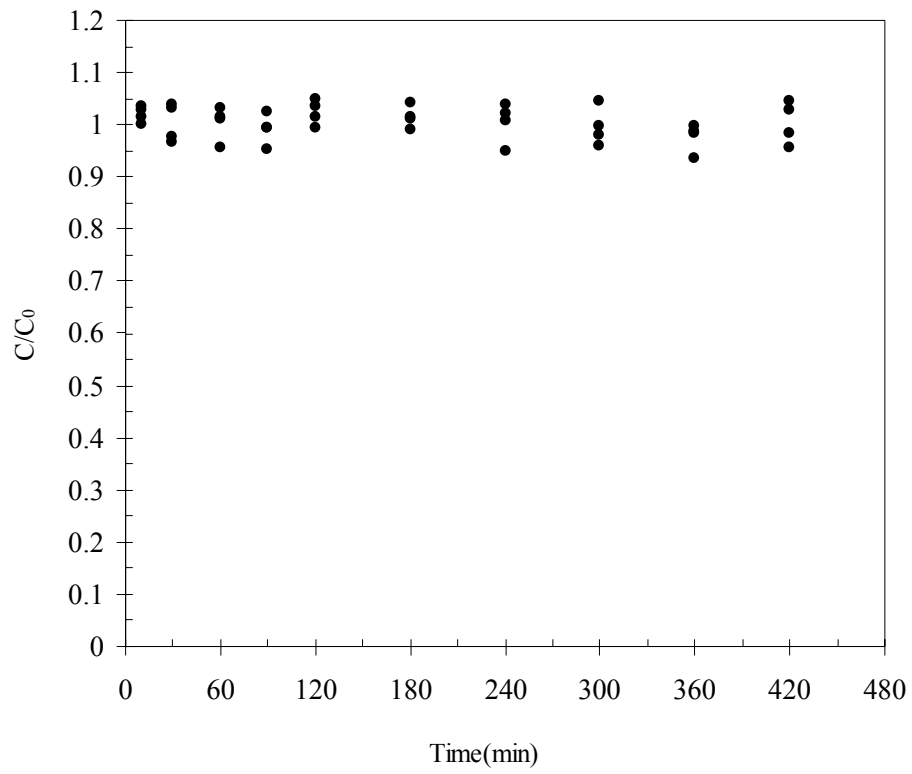


圖 4.6 吸附空白實驗之 Benzene 濃度隨時間變化圖

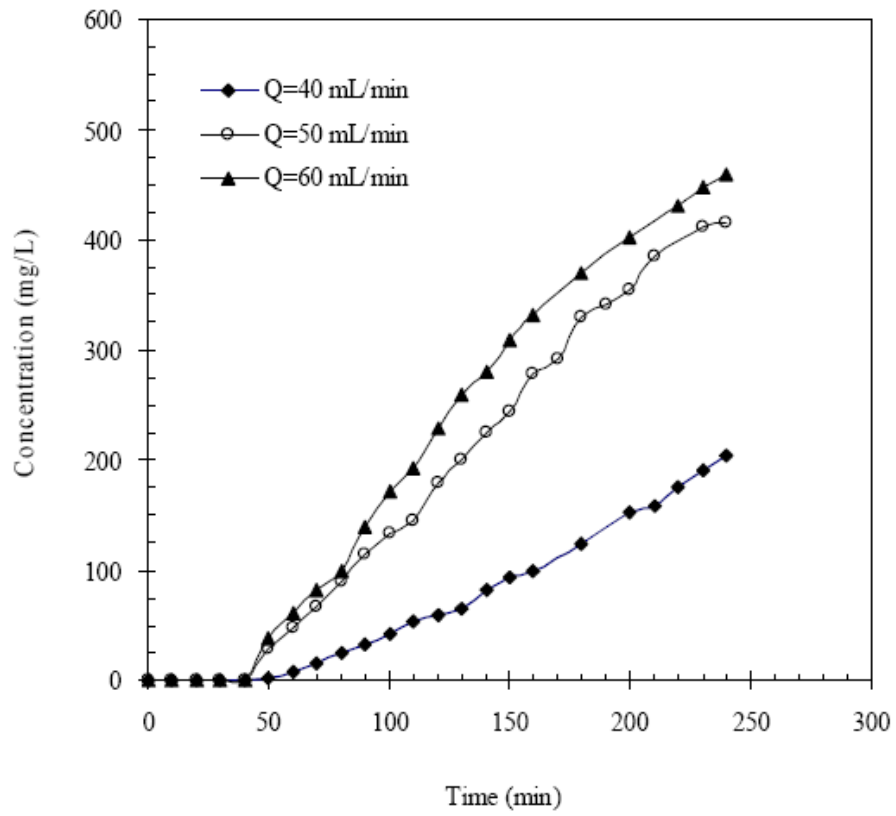


圖 4.7 利用 ASTM 測試腔於密閉式迴路之 Benzene 濃度

表 4.2 Benzene/nitrile 利用 ASTM 測試腔於密閉式迴路試驗結果

Flow rate (mL/min)	$P=J_s*L$ ($\mu\text{g}/\text{cm}/\text{min}$)
40	0.72 ± 0.40
50	1.89 ± 0.24
60	2.45 ± 0.33



第五章 結論與建議

5.1 結論

本研究結果顯示，有機溶劑浸透防護手套之測試，其開放式迴路得到的浸透係數，會隨著採集介質的流量而改變，並達到統計上之顯著差異。ASTM F739 所要求之採集介質流量 50-150 mL/min，會低估有機溶劑對防護手套之浸透性；同時，EN 374-3 與 ISO 6529 要求之流量 500 mL/min，雖可得到穩定的浸透係數，但可能會降低(標準化)破出時間之正確性，且使用高流量採集介質較不經濟。若使用氮氣作為開放式迴路之採集介質，本研究建議 ASTM 測試腔之流量需達 150 mL/min 以上；而 ISO 測試腔依其標準方法所要求之流量(86 mL/min)，即可得到穩定的浸透係數。

ISO 6529: 2001 標準方法所建議之直立式浸透腔，實驗時將有機溶劑置於防護手套上方，因受重力影響而導致其測得之浸透性，高於 ASTM 測試腔的結果，且達統計上之顯著差異。因此，兩種不同型式之浸透腔所測得之測試結果，應謹慎用於防護手套之浸透性評估。

ASTM 及 ISO 浸透腔所測得之破出時間，在本研究並無顯著之差異，其主要受 GC/FID 偵測極限及採樣頻率之影響。本研究建議利用浸透試驗，得到有機溶劑在手套之擴散係數 D 及溶解度 S ，以質傳模式模擬浸透測試結果，亦可得到標準方法測試報告，所要求之破出時間與穩定浸透速率。

本研究利用 ASTM 測試腔，比較 Benzene/nitrile 在開放式與密閉式迴路之測試結果，兩者所得到之浸透係數相差約 18-60 倍；其原因可能是水溶液採集介質，流經 ASTM 浸透腔內，未能完全攪拌混合。因此，

以水溶液作為密閉式迴路之採集介質，可能不適合用於有機溶劑浸透測試。

5.2 未來研究方向

- 未來可針對其他不同性質的物質，如低揮發、油類、固體等，嘗試進行抗浸透性之評估測試。
- 建立一套電腦模擬程式，輸入受測手套厚度及浸透化學物等基本資料，以及浸透實驗之採集介質分析濃度，則可模擬浸透濃度曲線，以評估防護衣物之抗浸透性。



參考文獻

徐雅萍：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，2005 碩士論文。

吳明傑：有機溶劑防護手套浸透之擴散係數模式，中國醫藥大學環境醫學研究所，2002 碩士論文。

American Society for Testing and Materials (1999). "Standard test method for resistance of protective clothing materials to permeation by liquids or gases under conditions of continuous contact (ASTM F739-99a)." West Conshohocken, PA.

Anna, D.H., Zellers, E.T., and Sulewski, R. (1998). "ASTM F739 method for testing the permeation resistance of protective clothing materials: critical analysis with proposed changes in procedure and test-cell design." *American Industrial Hygiene Association Journal*, 59(8), 547-556.

Berardinelli, S.P., Mickelsen, R.L., and Roder, M.M. (1983). "Chemical protective clothing: a comparison of chemical permeation test cells and direct-reading instruments." *American Industrial Hygiene Association Journal*, 44(12), 886-889.

Berardinelli, S.P., and Moyer, E.S. (1988). "Chemical protective clothing breakthrough time: comparison of several test systems." *American Industrial Hygiene Association Journal*, 49(3), 89-94.

Britton, L.N., Ashman, R.B., Aminabhavi, T.M., and Cassidy, P.E. (1989). "Permeation and diffusion of environmental pollutants through flexible polymers." *Journal of Applied Polymer Science*, 38(2), 227-236.

- Bromwich, D. (1998). "The validation of a permeation cell for testing chemical protective clothing." *American Industrial Hygiene Association Journal*, 59(12), 842-851.
- Chao, K.P., Lee, P.H., and Wu, M.J. (2003). "Organic solvents permeation through protective nitrile gloves." *Journal of Hazardous Materials*, 99(2), 191-201.
- Chao, K.P., Wang, V.H., and Lee, P.H. (2004). "Modeling organic solvents permeation through protective gloves." *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 1(2), 57-61.
- Chao, K.P., Lai, J.S., Lin, H.C., and Hsu, Y.P. (2006). "Comparison of permeability determined by permeation cell and immersion methods for organic solvents through protective gloves." *Polymer Testing*, 25(7), 975-984.
- Crank, J. (1975). *"The Mathematics of Diffusion."* Oxford Clarendon Press.
- European Committee for Standardization (2003). "European standard EN374-3: 2003. Protective gloves against chemicals and micro-organisms - Part 3: Determination of resistance to permeation by chemicals (EN 374-3: 2003)." Brussels: CEN.
- Henry, N.W. III and Schlatter, C.N. (1981). "The development of a standard method for evaluating chemical protective clothing to permeation by hazardous liquids." *American Industrial Hygiene Association Journal*, 42(5), 202-207.
- Henry, N.W. III and Stull, J.O. (2003). "Test methods and standard" In *Chemical Protective Clothing* (Edited by Anna, D.H.), The AIHA Press, Fairfax, VA.

International Organization for Standardization (2001). “Protective clothing - protection against chemicals - determination of resistance of protective clothing materials to permeation by liquids and gases (ISO 6529: 2001).” Genève, Switzerland.

LaGrega, M.D., Buckingham, P.L., and Evans, J.C. (1994). “*Hazardous Waste Management*.” McGraw-Hill Inc., New York, NY.

Leinster, P., Bonsall, J. L., Evans, M.J., Lloyd, G.A., Miller, B., and Rackham, M. (1986). “The development of a standard test method for determining permeation of liquid chemicals through protective clothing materials.” *Annals of Occupational Hygiene*, 30(4), 381-395.

Mäkelä, E.A., Vainiotalo, S., and Peltonen, K. (2003). “Permeation of 70% isopropyl alcohol through surgical gloves: comparison of the standard methods ASTM F739 and EN 374.” *Annals of Occupational Hygiene*, 47(4), 305-312.

Mellström, G.A., Landersjö, L., and Boman, A.S. (1989). “Permeation of neoprene protective gloves by acetone: comparison of three different permeation cells in an open-loop system.” *American Industrial Hygiene Association Journal*, 50(10), 554-559.

Mellström, G.A. (1991a). “Comparison of chemical permeation data obtained with ASTM and ISO permeation test cells—I. the ASTM standard test procedure.” *Annals of Occupational Hygiene*, 35(2), 153-166.

Mellström, G.A. (1991b). “Comparison of chemical permeation data obtained with ASTM and ISO permeation test cells—II. the ISO/DIS standard test procedure.” *Annals of Occupational Hygiene*, 35(2), 167-180.

- Perkins, J.L., and Tippit, D. (1985). "Use of three-dimensional solubility parameter to predict glove permeation." *American Industrial Hygiene Association Journal*, 46(8), 455-459.
- Sansone, E.B, and Tewari, Y.B. (1978). "The permeability of laboratory gloves to selected solvents." *American Industrial Hygiene Association Journal*, 39(2), 169-174.
- Schwoppe, A.D., Goydan, R., Reid, R.C., and Krishnamurthy, S. (1988). "State-of-the-art review of permeation testing and the interpretation of its results." *American Industrial Hygiene Association Journal*, 49(11), 557-565.
- US Bureau of Labor Statistics (1999). "*Annual Survey*." Washington DC.
- Vahdat, N. (1991). "Estimation of diffusion coefficient for solute-polymer systems." *Journal of Applied Polymer Science*, 42(12), 3165-3171.
- Vahdat, N., and Sullivan, V.D. (2001). "Estimation of permeation rate of chemicals through elastometric materials." *Journal of Applied Polymer Science*, 79(7), 1265-1272.
- Weeks, R.W., and Dean, B.J. (1977). "Permeation of methanolic aromatic amine solutions through commercially available glove materials." *American Industrial Hygiene Association Journal*, 38(21), 721-725.

附錄一

符號對照表

A ：手套接觸到有機溶劑之面積(L^2)

BT ：破出時間(T)

C ：採集介質中化學物質浸透濃度(ML^{-3})

C_i ：在時間 T_i 時採集介質中化學物質浸透濃度(ML^{-3})

C_z ：化學物質在防護手套中之濃度(ML^{-3})

D ：化學物質浸透防護手套之擴散係數(L^2T^{-1})

J_s ：穩定浸透速率($ML^{-2}T^{-1}$)

L ：防護手套厚度(L)

P ：浸透係數($ML^{-1}T^{-1}$)

Q ：採集介質流量(L^3T^{-1})

S ：化學物質浸透防護手套之溶解度(ML^{-3})

T_i ：採集介質中化學物質濃度 C_i 時的時間(T)

t_l ：延滯時間(T)

V ：採集介質總體積(L^3)

V_c ：採集介質腔之體積(100 mL)

Z ：防護手套內至外側之厚度(L)

α ：化學物質濃度隨時間變化曲線，在直線部分的斜率($ML^{-3}T^{-1}$)

δ ：溶解度參數($(ML^{-1}T^{-2})^{1/2}$)

$|\Delta\delta|$ ：化學物質與防護手套之溶解度參數差($(ML^{-1}T^{-2})^{1/2}$)

附錄二

有機溶劑檢量線

圖 A Benzene 檢量線(開放式迴路)

圖 B EDC 檢量線(開放式迴路)

圖 C Benzene 檢量線(密閉式迴路)



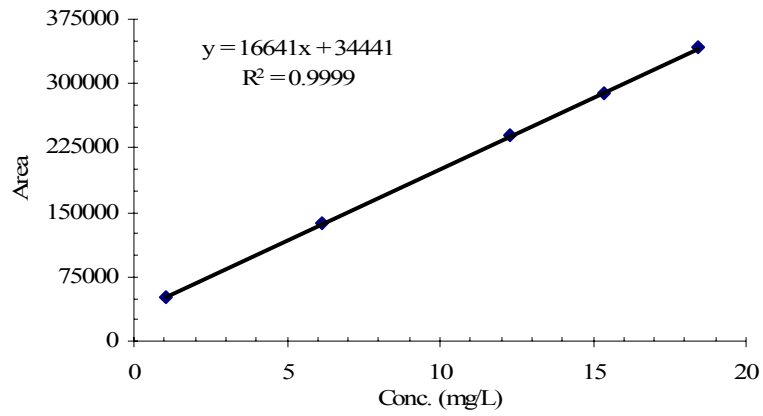


圖 A Benzene 檢量線(開放式迴路)

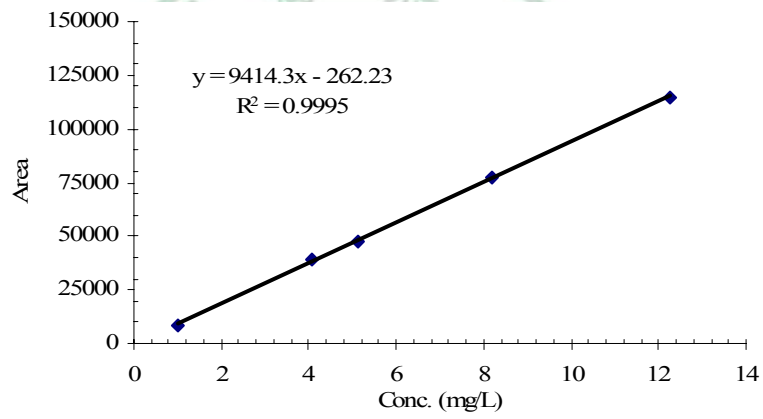


圖 B EDC 檢量線(開放式迴路)

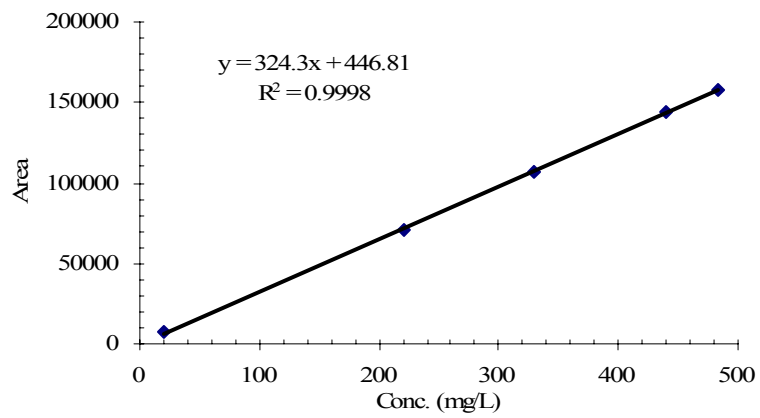


圖 C Benzene 檢量線(密閉式迴路)

附錄三

有機溶劑之浸透濃度



ASTM 測試腔(開放式迴路)

表 A Benzene/nitrile 之浸透濃度

表 B EDC/neoprene 之浸透濃度

ISO 測試腔(開收式迴路)

表 C Benzene/nitrile 之浸透濃度

表 D EDC/neoprene 之浸透濃度

ASTM 測試腔(密閉式迴路)

表 E Benzene/nitrile 之浸透濃度

表 A-1 Benzene/nitrile 之浸透濃度(25 mL/min)

Flow rate: 25 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	76.39	30	62.82	30	20.06
40	248.52	40	255.86	40	218.94
50	318.35	50	261.09	50	295.38
60	319.28	60	299.74	60	302.30
70	309.08	70	303.83	70	326.36
80	307.20	80	352.64	80	310.70
100	345.56	100	364.86	90	342.54
120	321.04	110	347.40	100	310.97
130	360.55	130	349.55	110	313.47
140	358.96	140	352.30	130	344.07
150	327.53	150	347.75	140	320.94
160	347.66	160	353.74	150	363.07
170	338.69	170	344.23	160	335.32
180	355.07	180	359.10	170	297.78
190	365.39	190	323.93	190	324.35
200	346.34	210	324.15	200	329.58
210	318.70	220	351.78	210	353.33
220	321.84	230	340.63	220	310.66
230	354.35	240	341.88	230	300.70
240	329.19			240	327.68

表 A-2 Benzene/nitrile 之浸透濃度(50 mL/min)

Flow rate: 50 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	63.54	30	0	30	54.62
40	154.63	40	88.02	34	132.32
50	186.10	50	166.33	40	170.43
60	193.09	60	194.46	50	214.66
70	212.54	70	213.37	60	214.87
80	209.61	80	224.68	70	245.96
90	207.39	90	225.15	80	217.42
100	213.23	100	221.36	90	252.83
110	208.95	110	228.98	100	243.57
130	235.95	130	228.90	110	232.48
140	233.30	150	228.68	120	258.56
150	219.95	170	226.61	130	219.55
160	227.59	180	232.42	140	251.35
170	218.88	190	229.85	150	245.09
180	222.72	230	230.28	170	219.60
190	222.59			180	238.19
200	225.24			190	214.44
210	224.52			210	244.47
220	232.72			220	224.06
230	212.51			240	213.63
240	214.27				

表 A-3 Benzene/nitrile 之浸透濃度(75 mL/min)

Flow rate: 75 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	0	30	0	30	0
40	129.74	40	91.82	40	85.93
50	191.99	50	155.32	50	147.01
60	196.84	60	186.79	60	173.57
70	209.37	70	208.56	70	191.76
90	198.77	80	214.91	80	194.41
100	188.66	90	224.69	90	203.93
120	204.82	100	220.04	100	185.67
130	196.25	110	218.29	120	190.90
150	207.56	120	210.74	130	192.95
180	211.14	130	202.56	140	211.18
190	204.42	150	203.36	150	193.08
200	210.71	160	191.22	160	192.96
210	212.74	170	197.18	180	222.94
230	201.59	180	191.25	190	221.77
		190	196.46	200	210.42
		200	191.80	220	217.27
		210	197.30	230	211.86
		220	198.58	240	205.68
		230	196.45		
		240	196.09		

表 A-4 Benzene/nitrile 之浸透濃度(100 mL/min)

Flow rate: 100 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	0	30	2.55	30	0
40	103.52	40	67.20	40	53.62
50	129.32	50	99.68	50	98.54
60	147.17	60	112.55	60	113.35
70	146.71	70	116.28	70	124.39
80	148.39	80	114.92	80	123.70
90	149.58	90	123.01	90	134.47
100	145.30	100	137.01	100	126.24
110	140.68	110	134.21	110	135.12
120	141.59	130	138.98	130	149.43
130	143.84	140	133.72	150	149.30
140	143.31	160	139.09	160	145.77
150	143.03	170	142.52	180	161.67
160	140.96	190	133.58	190	145.81
170	141.16	200	137.29	200	151.51
180	138.60	220	137.05	210	159.75
190	150.43	230	142.01	220	154.19
200	137.38	240	130.76	230	159.19
220	145.56			240	154.57
230	150.91				
240	149.24				

表 A-5 Benzene/nitrile 之浸透濃度(125 mL/min)

Flow rate: 125 (mL/min)									
First run		Second run		Third run		Fourth run		Fifth run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0	20	0	20	0
30	14.28	30	0	30	22.53	30	0	30	13.18
40	76.60	40	41.47	40	85.99	40	51.24	40	80.87
50	102.43	50	95.42	50	105.77	50	93.45	50	104.74
60	109.93	60	108.76	60	116.25	60	95.61	60	107.58
70	114.05	70	103.10	70	109.46	70	111.72	70	118.76
80	118.09	90	122.15	80	114.12	80	119.91	80	124.27
90	116.38	100	113.42	90	116.73	90	120.23	90	122.46
100	117.91	110	108.69	100	123.19	100	120.09	110	125.66
110	124.26	120	113.14	110	110.60	110	122.81	120	122.29
120	117.95	130	113.96	120	119.98	120	125.84	130	120.41
130	116.31	140	110.22	130	116.32	130	121.63	140	126.71
140	123.75	150	116.13	140	115.77	140	128.86	150	124.90
150	119.39	160	112.99	150	118.06	150	120.23	160	126.63
160	127.69	170	115.50	160	120.72	160	129.58	170	127.32
170	123.67	180	119.16	170	117.93	180	132.18	180	122.84
180	124.70	190	125.26	180	122.00	190	121.92	190	127.04
190	124.34	200	120.55	200	125.65	210	122.89	200	124.83
		210	120.24	210	115.14	230	123.47	210	125.65
		220	124.38			240	119.96	220	127.51
		230	117.71					230	122.57
		240	118.46					240	121.03

表 A-6 Benzene/nitrile 之浸透濃度(150 mL/min)

Flow rate: 150 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	0	30	0	30	0
40	35.95	40	0	40	64.68
50	69.04	50	0	50	100.14
60	71.14	60	56.63	60	99.16
70	90.97	70	72.51	70	103.94
80	95.11	80	75.24	80	105.06
90	90.97	90	81.23	90	100.37
100	93.22	100	79.46	100	108.87
110	92.43	110	80.01	110	100.96
120	96.11	120	81.89	120	103.79
130	94.00	130	83.53	130	103.62
140	95.33	140	83.38	140	102.72
150	96.72	150	87.18	150	101.44
160	91.98	160	91.97	160	101.32
170	92.47	170	88.81	170	99.65
180	89.26	180	91.95	180	99.19
190	88.35	190	87.51	190	98.48
200	90.28	200	86.21	200	100.01
210	89.93	210	88.12	210	100.46
220	87.54	230	85.43	220	102.63
230	88.66	240	87.84	230	99.61
240	88.83			240	96.92

表 A-7 Benzene/nitrile 之浸透濃度(175 mL/min)

Flow rate: 175 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	4.16	30	0	30	0
40	62.91	40	0	40	43.39
50	72.22	50	43.69	50	77.61
60	78.15	60	64.36	60	85.84
70	79.94	70	71.38	70	89.65
80	85.49	80	76.80	80	89.71
100	87.18	90	81.01	90	90.13
110	84.90	100	83.27	100	91.72
120	84.16	110	81.29	110	94.10
130	90.34	120	80.67	120	91.87
140	87.60	130	81.21	130	92.68
150	86.24	140	82.31	140	91.95
170	90.52	150	83.84	150	92.91
180	87.28	160	84.47	160	96.08
190	90.00	170	81.98	170	92.48
200	90.78	180	83.25	180	95.06
210	88.54	190	84.55	190	91.38
220	89.20	200	81.75	210	88.07
		210	82.33	220	94.37
		220	82.31	240	92.74
		230	79.85		
		240	83.70		

表 A-8 Benzene/nitrile 之浸透濃度(200 mL/min)

Flow rate: 200 (mL/min)							
First run		Second run		Third run		Fourth run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0	20	0
30	0	30	1.21	30	28.03	30	0
40	40.52	40	46.20	40	69.81	40	49.54
50	68.59	50	63.10	50	72.79	50	66.70
60	68.68	60	64.15	60	82.20	60	73.49
70	75.96	80	73.99	70	86.45	70	76.10
80	73.12	90	76.48	90	81.93	80	77.25
90	78.23	100	75.74	100	86.94	90	77.75
100	75.94	110	76.16	110	81.47	100	79.92
110	76.59	120	75.74	140	86.37	110	78.08
120	76.15	130	75.65	150	85.22	120	75.77
130	76.06	140	77.46	160	84.16	130	79.91
140	77.93	160	78.17	170	83.23	140	75.97
150	80.66	170	74.48	180	83.70	150	71.40
160	78.66	190	75.80	190	86.29	170	73.39
170	74.87	200	75.50	200	80.69	180	75.36
190	76.22	210	77.62	210	82.33	190	76.21
200	75.91	220	79.45	220	83.20	200	75.54
210	78.09	240	79.68	230	83.46	210	74.52
220	79.97			240	85.02	220	73.90
240	80.21					230	78.49
						240	74.17

表 A-9 Benzene/nitrile 之浸透濃度(225 mL/min)

Flow rate: 225 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	3.02	30	0	30	13.76
40	39.12	40	35.86	40	44.35
50	54.76	50	54.42	50	62.45
60	60.37	60	61.93	60	63.10
70	64.78	70	68.11	70	62.07
80	64.78	80	65.68	80	62.37
100	67.66	110	67.29	100	63.81
110	66.08	120	67.98	110	69.02
120	63.27	130	71.15	120	67.97
130	66.76	140	71.10	130	69.88
150	67.83	150	71.34	140	68.77
160	64.46	160	71.27	150	70.29
170	68.75	170	70.89	160	71.98
180	66.97	180	72.10	170	73.69
190	66.50	190	70.12	180	68.36
200	65.44	200	72.19	190	71.65
210	65.83	210	71.33	200	70.26
220	70.51	220	73.13	210	69.56
240	69.16	230	72.26	230	73.03
		240	73.76	240	68.08

表 A-10 Benzene/nitrile 之浸透濃度(500 mL/min)

Flow rate: 500 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
25	6.45	30	15.72	30	14.32
30	20.79	40	28.33	40	30.73
40	33.33	50	32.97	50	33.08
50	36.57	60	31.91	60	34.69
70	36.94	70	33.64	70	35.33
110	36.50	80	34.78	80	35.81
120	36.47	90	34.29	90	35.85
130	35.79	100	34.76	100	35.08
140	34.87	110	34.57	110	35.36
160	35.97	120	35.29	120	35.25
170	35.79	130	35.11	130	35.32
180	34.86	140	33.80	140	35.23
190	34.54	150	34.39	160	35.59
200	34.78	160	33.49	170	35.60
210	34.71	170	34.46	180	35.86
220	35.24	180	34.05	190	35.83
230	35.80	190	33.03	200	34.76
240	35.19	200	35.48	210	35.68
		210	34.83	220	34.42
		220	35.65	240	35.07
		230	34.30		
		240	33.64		

表 B-1 EDC/neoprene 之浸透濃度(25 mL/min)

Flow rate: 25 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	38.11	30	69.98	30	36.88
40	192.78	40	249.48	40	187.08
50	226.39	50	307.95	50	287.07
60	273.82	60	300.38	70	297.32
70	276.35	70	367.35	80	310.78
80	286.58	80	357.33	90	290.08
90	279.30	90	378.88	100	317.56
100	284.50	100	371.03	110	329.10
110	291.47	110	318.67	120	309.84
120	285.98	120	304.80	130	293.79
130	297.32	130	305.45	140	320.11
140	296.52	140	311.44	150	327.00
150	302.26	150	314.10	160	295.12
160	278.67	160	328.16	170	324.99
170	277.22	170	322.20	180	344.17
180	290.66	180	307.85	200	324.89
190	284.13	200	293.80	220	307.41
200	313.67	210	305.71		
210	310.06	220	315.24		
220	282.86	240	313.16		
240	304.50				

表 B-2 EDC/neoprene 之浸透濃度(50 mL/min)

Flow rate: 50 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	36.35	30	22.49	30	7.22
40	171.05	40	149.32	40	117.77
50	254.00	50	213.57	50	195.68
60	311.92	60	234.35	60	233.44
70	282.05	70	259.44	70	247.25
80	327.72	80	252.70	80	264.01
90	347.33	90	266.16	90	269.42
100	338.26	100	292.41	100	277.39
120	324.82	110	271.64	110	264.17
130	316.10	120	283.86	120	265.33
140	353.92	130	269.03	130	278.74
150	322.67	140	259.48	140	265.52
160	306.36	150	273.67	160	276.80
180	311.29	160	274.03	170	281.47
210	353.05	170	267.13	180	257.84
220	355.58	180	267.48	190	254.75
230	324.03	190	265.88	200	270.55
240	365.13	200	262.11	210	271.56
		210	275.31	220	269.29
		230	275.82	230	272.25
		240	273.55	240	286.31

表 B-3 EDC/neoprene 之浸透濃度(75 mL/min)

Flow rate: 75 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	35.20	30	45.59	30	0
35	89.03	35	97.33	40	110.60
40	143.38	40	140.78	50	173.79
50	187.65	50	198.46	60	202.66
60	200.26	60	213.33	70	203.60
70	196.60	70	230.16	80	214.34
80	223.69	80	228.04	90	220.98
90	239.93	90	239.88	110	221.62
100	231.83	100	245.35	120	215.17
110	230.96	110	238.54	130	224.11
140	262.02	120	231.02	140	219.83
160	249.48	130	233.43	150	215.52
170	242.92	140	237.25	160	207.88
180	240.44	150	223.40	170	207.43
200	262.19	170	218.14	180	213.12
210	262.48	180	221.08	190	224.83
220	256.08	190	217.47	210	219.06
230	265.38	200	213.44	220	210.13
240	257.40	210	213.43	230	209.52
		220	212.49	240	215.13
		230	221.88		
		240	213.33		

表 B-4 EDC/neoprene 之浸透濃度(100 mL/min)

Flow rate: 100 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	25.32	30	22.04	30	21.45
40	98.82	40	98.36	40	90.66
50	141.57	50	133.59	50	128.23
60	168.65	60	150.08	60	144.00
70	169.68	70	167.11	70	156.99
80	172.89	80	167.01	80	158.51
90	191.69	90	172.76	90	157.39
100	191.66	100	174.03	100	165.29
110	199.08	110	172.64	110	162.30
120	189.89	130	180.34	120	169.01
130	190.91	140	179.50	130	176.88
140	190.35	150	185.09	140	170.61
150	188.76	160	182.94	150	168.71
160	191.03	170	185.09	160	171.04
170	184.43	180	189.53	180	198.24
180	193.38	190	186.55	190	169.31
190	193.56	200	178.52	200	200.79
200	189.77	210	187.88	210	191.71
210	195.42	220	182.66	220	194.45
220	197.28	230	182.96	240	210.63
230	194.74	240	179.79		
240	190.06				

表 B-5 EDC/neoprene 之浸透濃度(125 mL/min)

Flow rate: 125 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
25	48.19	25	51.84	30	31.15
30	80.06	30	87.81	40	85.47
40	135.41	40	130.05	50	113.13
50	147.37	50	156.45	60	123.49
60	159.75	60	152.71	70	120.40
70	169.72	70	158.24	80	134.35
80	162.93	80	165.00	100	135.23
100	169.23	90	172.80	110	151.82
110	165.25	100	169.16	130	146.92
120	179.86	110	168.34	140	153.49
130	180.50	120	168.41	150	155.97
140	168.24	130	173.31	160	156.09
150	175.17	140	173.63	170	159.11
160	170.45	150	174.55	180	158.66
170	169.33	160	179.61	190	153.08
180	169.32	170	181.16	200	155.68
190	182.70	180	183.15	210	156.01
200	180.44	190	173.18	220	159.99
210	182.80	200	185.01	230	151.48
220	173.25	210	174.74	240	156.65
240	183.99	220	183.61		
		230	178.72		

表 B-6 EDC/neoprene 之浸透濃度(150 mL/min)

Flow rate: 150 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	40.38	30	9.04	30	40.09
40	87.18	40	65.76	40	91.70
50	104.01	50	101.40	50	116.94
60	130.88	60	119.91	60	117.37
70	141.83	70	124.64	70	132.90
80	133.38	80	128.64	80	135.54
90	134.96	90	127.50	90	134.08
100	141.78	100	136.00	100	144.06
110	142.25	110	136.00	110	136.24
120	148.61	120	136.28	120	135.78
130	152.85	130	129.47	130	140.60
140	154.95	140	134.92	140	146.35
150	141.75	150	140.51	160	140.06
160	149.67	160	133.59	170	130.80
170	143.26	170	143.00	180	129.45
180	154.44	180	135.00	190	135.57
220	147.93	190	127.10	200	132.58
230	137.37	200	129.65	210	135.79
240	141.79	210	131.58	220	133.59
		220	133.38	230	146.97
		240	134.94	240	144.63

表 B-7 EDC/neoprene 之浸透濃度(175 mL/min)

Flow rate: 175 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	7.12	30	16.71	30	31.69
40	55.95	40	57.80	40	70.51
50	83.80	50	84.13	50	90.76
60	91.34	60	93.95	60	101.11
70	107.70	70	100.26	70	105.08
80	106.80	80	104.20	80	109.39
90	130.26	90	103.02	90	109.51
100	125.12	100	110.23	100	109.74
110	128.30	110	108.97	110	110.53
120	134.32	120	107.29	120	111.79
130	128.71	130	104.45	130	111.04
140	123.26	140	107.02	140	111.22
150	120.98	150	105.16	150	112.33
160	122.17	160	104.29	160	110.89
170	124.08	170	109.21	170	110.11
180	122.44	180	107.19	180	112.70
190	119.86	190	104.06	190	112.90
200	118.98	200	103.66	200	111.78
210	121.93	210	106.72	210	114.71
220	131.80	220	107.92	220	109.26
230	129.07	230	105.38	230	111.71
		240	104.63	240	109.71

表 B-8 EDC/neoprene 之浸透濃度(200 mL/min)

Flow rate: 200 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	8.40	30	22.06	30	24.67
40	44.45	35	42.93	40	55.99
50	69.13	40	60.18	50	75.35
60	85.55	50	79.68	60	83.12
70	87.77	60	89.66	70	94.27
80	96.25	70	94.64	100	96.73
90	99.96	80	98.87	110	99.22
100	97.15	90	101.95	120	95.94
110	100.13	100	101.67	130	100.56
120	99.25	110	104.73	150	103.63
130	102.58	120	103.20	160	99.98
140	101.16	130	103.37	170	107.43
150	105.04	140	105.25	180	103.60
160	104.14	150	105.74	190	104.42
170	102.97	160	103.28	200	106.44
180	104.07	170	107.31	220	104.40
190	99.98	180	102.03	230	103.13
200	101.62	190	102.53	240	101.39
210	102.02	200	104.97		
220	101.36	210	103.83		
		220	103.30		
		230	102.68		
		240	103.75		

表 B-9 EDC/neoprene 之浸透濃度(225 mL/min)

Flow rate: 225 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	14.63	30	15	30	23.38
40	49.38	40	54.13	40	36.92
50	68.99	50	75.53	50	51.64
60	74.70	60	88.85	60	76.26
70	77.23	70	90.03	70	81.70
80	83.30	80	97.96	90	90.00
90	88.78	90	100.49	100	83.48
100	87.04	100	100.65	110	88.70
110	85.10	110	102.70	120	84.53
120	86.04	120	98.68	130	88.83
130	87.98	130	102.73	140	85.91
140	86.68	140	101.18	150	88.99
150	85.13	150	102.41	160	87.14
160	90.75	160	103.24	170	87.41
170	92.29	170	103.53	190	89.04
180	92.59	180	103.52	200	93.12
200	92.09	190	102.97	210	91.77
210	96.16	220	101.73	220	90.42
220	96.23	230	100.60	230	88.85
230	92.24	240	99.17	240	91.02
240	89.75				

表 B-10 EDC/neoprene 之浸透濃度(500 mL/min)

Flow rate: 500 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	13.22	30	0	30	13.27
40	26.20	40	21.93	40	27.75
50	31.54	50	31.32	50	37.31
60	36.35	60	35.24	60	39.87
70	36.79	70	38.18	70	42.37
80	37.69	80	40.83	80	45.22
90	37.92	90	41.39	90	44.60
100	38.55	100	42.49	100	42.67
110	38.98	120	44.62	110	43.85
120	38.16	130	44.73	120	43.67
130	38.91	140	43.73	130	43.96
140	40.10	150	44.83	140	44.43
150	37.49	160	46.78	160	45.62
160	37.22	170	44.92	170	44.61
170	37.43	180	46.85	180	47.00
180	40.57	190	45.80	190	45.70
190	41.46	200	45.45	200	46.66
200	38.74	210	44.53	210	46.85
210	38.65	220	44.90	220	46.15
220	40.77	230	45.24	230	45.57
230	39.20	240	43.53	240	45.72
240	40.20				

表 C-1 Benzene/nitrile 之浸透濃度(25 mL/min)

Flow rate: 25 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	19.68	30	5.95	30	45.78
40	116.07	40	101.33	40	122.99
50	158.27	50	123.23	50	151.05
60	170.38	60	155.11	60	172.54
70	185.18	70	155.89	70	179.43
80	187.08	80	167.26	80	183.84
90	191.02	90	175.73	90	187.29
100	196.48	100	170.68	110	191.48
110	196.96	110	184.91	120	191.34
120	194.87	120	165.50	130	187.23
130	200.01	130	176.98	140	191.34
140	204.44	140	165.93	150	195.24
150	201.12	150	174.32	160	193.20
160	202.59	160	170.12	170	193.46
170	202.69	170	182.19		
		180	183.78		

表 C-2 Benzene/nitrile 之浸透濃度(50 mL/min)

Flow rate: 50 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	0	30	36.62	30	68.57
40	0	40	86.93	40	107.43
50	119.25	50	103.95	50	120.64
60	119.64	60	111.33	60	131.10
70	122.54	70	115.72	70	130.67
80	126.47	80	112.41	80	136.07
90	127.73	90	118.51	90	134.65
100	126.93	100	122.00	100	132.17
110	129.12	120	124.24	120	133.44
120	128.56	130	120.46	130	136.18
130	126.58	140	123.09	140	140.25
140	126.50	150	122.11	150	140.11
150	129.08	160	119.71	160	136.82
160	129.02	170	123.79	170	138.99
		180	121.52		

表 C-3 Benzene/nitrile 之浸透濃度(75 mL/min)

Flow rate: 75 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	13.26	30	8.90	30	26.29
35	40.08	40	58.24	40	65.43
40	51.94	50	74.25	50	78.14
50	69.31	60	81.47	60	83.74
60	75.24	70	86.87	70	88.06
70	74.49	80	88.45	80	88.59
80	75.79	90	90.35	90	95.08
90	77.80	100	90.51	100	96.78
100	77.76	110	92.15	110	92.51
110	77.83	120	90.45	120	91.84
120	81.20	130	92.29	140	93.53
130	81.81	140	92.02	150	94.02
		150	93.31	160	93.64
		160	92.09	170	95.87
		170	91.61	180	95.58
		180	91.00		

表 C-4 Benzene/nitrile 之浸透濃度(100 mL/min)

Flow rate: 100 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	13.29	30	0	30	15.14
40	41.42	40	28.64	40	48.78
50	53.47	50	51.90	50	61.53
60	59.39	60	62.21	60	64.40
70	58.68	70	62.73	70	67.30
80	55.45	80	65.64	80	67.74
90	57.04	90	64.95	90	68.29
100	56.18	100	67.77	100	68.98
110	57.19	110	67.94	110	69.71
120	57.44	120	68.75	120	69.29
130	57.38	130	69.39	130	68.90
140	58.78			140	68.08
150	58.86			150	69.41
160	59.15			160	70.33
170	57.02			170	67.48
180	59.48			180	69.65

表 C-5 Benzene/nitrile 之浸透濃度(150 mL/min)

Flow rate: 150 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	13.76	30	0	30	0
40	33.95	40	14.13	40	22.89
50	40.95	50	32.31	50	34.07
60	43.74	60	39.18	60	39.61
70	42.81	70	42.91	70	42.28
80	43.34	80	44.33	80	42.04
90	44.57	90	43.94	90	42.84
100	43.73	100	46.35	100	41.35
110	44.05	110	46.75	110	42.77
		120	44.55	120	41.96
		130	45.96	130	41.15
		140	43.59		
		150	46.14		

表 C-6 Benzene/nitrile 之浸透濃度(500 mL/min)

Flow rate: 500 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	3.39	30	2.98	30	0
40	9.92	40	8.91	40	7.03
50	11.01	50	10.62	50	10.08
60	12.63	60	12.08	60	11.22
70	11.99	70	12.07	70	12.28
80	12.62	80	12.07	80	12.78
90	12.69	90	12.32	90	12.50
100	12.84	100	12.16	100	12.47
110	12.69	110	12.29	110	12.13
120	12.80	120	12.27	120	12.17
140	12.97	130	12.10	130	12.35

表 D-1 EDC/neoprene 之浸透濃度(25 mL/min)

Flow rate: 25 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	13.01	30	0	30	15.99
40	107.82	40	85.64	40	103.04
50	155.97	50	148.62	50	151.65
60	175.36	60	183.13	60	164.01
70	193.58	70	189.35	70	182.52
80	202.39	80	199.24	80	197.88
90	198.83	90	199.94	90	208.19
100	211.07	100	207.01	100	209.64
110	211.16	120	215.70	110	212.83
120	212.42	130	217.37	120	221.78
130	214.48	140	219.66	140	224.30
140	225.14	150	227.64	150	221.80
150	226.54	160	219.76	160	211.48
160	217.88	170	238.74	180	203.00
170	220.38	180	220.01		
180	224.76	190	231.07		
190	225.33	200	240.46		
		210	219.57		

表 D-2 EDC/neoprene 之浸透濃度(50 mL/min)

Flow rate: 50 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	0	30	9.30	30	5.92
40	44.76	40	62.50	40	54.39
50	82.21	50	95.20	50	95.28
60	99.54	60	110.20	60	106.89
70	114.35	70	123.40	70	117.43
80	114.75	80	125.34	80	124.60
90	124.54	90	136.65	90	127.67
100	127.92	100	137.00	100	130.78
120	139.27	110	133.28	110	137.36
140	139.28	120	129.96	120	134.89
150	134.55	130	126.94	130	129.75
160	140.01	140	130.58	140	136.35
170	136.68	150	140.39	150	134.72
180	139.75	160	144.50	160	134.79
		170	144.34		
		180	142.97		
		190	145.41		
		210	146.03		
		220	147.23		

表 D-3 EDC/neoprene 之浸透濃度(75 mL/min)

Flow rate: 75 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	16.63	30	31.46	30	4.53
40	53.61	40	76.27	40	45.46
50	70.69	50	91.00	50	74.50
60	88.47	60	96.45	60	86.84
70	96.62	70	108.01	70	98.27
80	103.78	80	108.27	80	104.00
90	102.61	90	107.79	90	108.45
100	108.52	100	110.82	100	110.33
110	107.70	110	110.06	110	104.77
130	110.92	120	111.65	120	112.08
140	107.86	130	111.71	130	106.32
150	112.08	150	115.78	150	108.08
160	116.24	160	111.28	160	108.45
170	114.35	170	115.09	170	110.43
180	115.25	180	119.88	180	110.79
190	114.48	190	114.23	190	110.86
200	115.08				

表 D-4 EDC/neoprene 之浸透濃度(100 mL/min)

Flow rate: 100 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	15.03	30	23.13	30	11.01
40	46.07	40	54.70	40	40.92
50	61.28	50	71.85	50	58.13
60	71.84	60	80.87	60	68.32
70	77.91	70	85.93	70	74.21
80	75.17	80	84.14	80	75.44
90	83.33	90	87.74	90	79.01
100	85.13	100	88.85	100	79.36
110	82.89	110	90.43	110	80.07
120	84.88	120	85.72	120	87.00
130	88.74	130	90.81	130	86.40
140	91.42	140	90.12	140	83.95
160	89.28	150	93.09	150	85.63
170	90.74	160	91.73	160	85.30
180	88.32	170	90.13	170	85.07
				180	85.58

表 D-5 EDC/neoprene 之浸透濃度(150 mL/min)

Flow rate: 150 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	12.08	30	9.71	30	3.86
40	35.69	40	29.44	40	22.65
50	45.59	50	40.60	50	35.62
60	57.55	60	44.14	60	43.02
70	56.55	70	47.85	70	47.29
80	58.35	80	48.85	80	49.03
90	63.13	90	48.67	90	52.93
100	61.94	100	48.91	100	53.17
110	62.09	110	50.15	110	54.29
120	58.33	120	50.07	120	55.74
130	60.44	130	51.51	130	54.73
140	61.67	140	49.63	140	53.85
150	59.23	150	49.07	150	58.05
160	59.33	160	52.59	160	56.83
170	61.15	170	49.69	170	58.16
180	60.60	180	51.30	180	56.33
				190	56.13
				200	57.12

表 D-6 EDC/neoprene 之浸透濃度(500 mL/min)

Flow rate: 500 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	4.60	30	3.76	30	1.66
40	11.36	40	9.39	40	7.27
50	12.86	50	12.38	50	10.82
60	17.18	60	15.08	60	13.01
70	18.56	70	13.97	70	14.80
80	20.93	90	17.12	80	15.39
90	21.66	100	16.45	90	16.32
110	20.73	110	16.65	100	16.35
120	20.14	130	18.33	110	17.08
130	20.71	150	18.05	130	16.12
140	20.80	160	17.81	140	15.90
150	20.06	170	16.60	150	16.37
160	19.34	180	17.28	160	16.02
170	19.63	190	17.45	170	16.72
180	19.29			180	16.66
190	20.01			190	15.86

表 E-1 Benzene/nitrile 之浸透濃度(40 mL/min)

Flow rate: 40 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	0	30	0	30	0
40	0	40	0	40	0
45	7.90	50	2.22	50	0
50	9.37	60	7.85	60	0
60	11.31	70	16.02	70	25.15
70	18.57	80	25.54	80	46.88
80	22.77	90	32.84	90	61.90
90	28.26	100	41.51	100	72.58
100	47.79	110	53.05	110	95.07
110	76.78	120	58.56	130	109.41
120	97.61	130	65.42	160	162.03
130	106.21	140	82.17	170	176.25
140	128.10	150	94.28	220	251.78
150	138.63	160	99.51	240	284.18
160	150.47	180	123.22		
170	178.90	200	151.47		
190	195.04	210	158.78		
200	205.10	220	174.73		
210	206.23				

表 E-2 Benzene/nitrile 之浸透濃度(50 mL/min)

Flow rate: 50 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	0	30	0	30	0
40	0	40	0	40	1.83
50	35.61	50	29.29	50	20.15
60	67.29	60	38.69	60	37.59
70	95.42	70	76.89	70	61.98
80	119.08	80	100.51	80	86.62
90	147.41	90	114.23	90	109.26
100	179.28	100	134.25	130	194.95
110	200.76	110	144.89	140	211.91
120	225.50	120	179.54	160	278.65
130	273.75	130	200.42	170	299.77
140	294.60	140	223.97	180	315.44
150	330.87	150	243.39	190	333.57
160	351.18	160	278.30	200	350.69
170	372.86	170	291.89	210	376.83
180	411.29	180	329.78	230	397.92
190	415.28	190	341.88		
200	448.02	200	355.01		
220	503.83	210	385.56		
230	519.43	230	412.00		
		240	415.01		

表 E-3 Benzene/nitrile 之浸透濃度(60 mL/min)

Flow rate: 60 (mL/min)					
First run		Second run		Third run	
Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)	Time (min)	Conc. (mg/L)
0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0
30	0	30	0	30	0
40	0	40	0	40	7.60
50	37.37	50	38.78	50	161.13
60	60.62	60	70.80	60	256.32
70	81.98	80	122.19	80	327.19
80	94.62	90	158.90	90	469.98
90	138.73	100	219.11	100	560.30
100	170.50	110	287.15	140	795.54
110	192.85	140	363.00	155	894.77
120	228.43	150	425.83	170	990.96
130	259.81	165	445.22	180	1093.10
140	280.06	170	494.06	230	1370.34
150	309.49	180	540.28		
160	331.95	220	623.12		
180	370.09	230	663.92		
200	391.30	240	717.89		
220	411.32				
230	446.89				