

造船廠噴砂作業勞工重金屬有害物暴露
調查研究

**Exposure Assessment of Heavy Metals
for Shipyard Grit Blasting Workers**

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

造船廠噴砂作業勞工重金屬有害物暴露
調查研究

**Exposure Assessment of Heavy Metals
for Shipyard Grit Blasting Workers**

研究主持人：鄭淑芳、張富貴

計畫主辦單位：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

研究期間：中華民國 97 年 1 月 1 日至 97 年 12 月 31 日

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所
中華民國 98 年 3 月

摘要

噴砂作業是造船廠工人面對最骯髒且最危險的工作之一，由於船體工件鉅大且構造複雜，造船廠的噴砂作業是在獨立的噴砂室內進行，作業勞工使用供氣式防護頭罩，於船體工件中到處鑽游走動完成。目前對於造船廠噴砂作業之環境測定資料並不完整，因此，有必要對此作業環境展開職業衛生狀況之調查。

本研究針對造船廠噴砂作業之 22 名男性，進行連續 4 天的供氣式呼吸防護具內、外的空氣採樣及工作前、後之尿液樣本採樣。採集而得之空氣樣本除了測定總粉塵濃度外，並以 ICP/MS 測定重金屬之成分及濃度，尿液樣本亦以 ICP/MS 測定重金屬成分及濃度。

結果顯示，空氣粉塵樣本以 ICP/MS 進行 24 種金屬元素分析後，發現造船廠噴砂勞工，主要暴露之重金屬種類依濃度高低順序為鐵、鋅、鋁、錳、銅、總鉻等 6 個項目。平均來看，供氣式呼吸防護具內之空氣樣本總粉塵及重金屬濃度，皆無超出我國容許暴露標準，而船體內部的空氣樣本總粉塵濃度約為船體外部濃度的 9 倍，輸氣管面罩對於總粉塵之去除率約為 97.5%；尿液樣本重金屬濃度亦無超出美國 ACGIH 之建議標準。但造船廠噴砂勞工使用輸氣管面罩的時間普遍過長、應強化船體內部作業之噴砂勞工防護、確實執行勞工呼吸防護具使用之教育訓練等，是值得注意的議題。

關鍵詞：噴砂作業、重金屬、呼吸防護

Abstract

Grit blasting operation was one of the most dangerous tasks at shipyard. The block of a ship was huge and workers must wear respirators during grit blasting. The purpose of this study is to measure the exposure concentration of total dust and heavy metal for grit blasting workers and to evaluate the effects of wearing protective respirators.

The study was carried out in 22 male grit blasters at a shipyard. Personal air samples outside and inside mask were collected by using a pair of air sampling pumps with PVC filters. Urine samples of participants before and after work were collected. Airborne particulate and urine samples were analyzed for 24 metals with inductively coupled plasma spectrometry.

Results showed the main metals of total dust were Fe, Zn, Al, Mn, Cu and Cr. The concentrations of Fe, Zn, Al, Mn, Cu, Cr and total dust inside masks conformed to the permissible exposure limit. The concentration of total dust outside mask was eight times higher in grit blasting blocks than out of blocks. The total dust was reduced 97.5% by respirators. The heavy metal concentrations of urine samples did not exceed the proposal values of ACGIH biological exposure indices.

The present study suggests that the wearing time of respirators for shipyard grit blasting workers was too long. Grit blasting workers should check out the function of mask before the grit blasting operation and have regular training of industrial health to reduce the health risk in workplace.

Keywords: grit blasting operation, heavy metals, respiratory protection

目錄

摘要.....	i
Abstract.....	ii
目錄.....	iii
圖目錄.....	iv
表目錄.....	v
第一章 計畫概述.....	1
第一節 前言.....	1
第二節 目的.....	3
第二章 材料與方法.....	4
第一節 研究對象.....	4
第二節 研究設計.....	7
第三節 採樣方法.....	8
第四節 分析方法.....	9
第五節 呼吸防護具防護係數及去除率之計算.....	12
第六節 資料分析.....	12
第三章 結果.....	13
第一節 受測對象基本資料.....	13
第二節 空氣採樣部分.....	14
第三節 生物偵測部分.....	18
第四節 空氣採樣濃度與生物偵測結果之相關性.....	25
第四章 討論.....	26
第一節 空氣採樣部分.....	26
第二節 生物偵測部分.....	29
第三節 空氣採樣濃度與生物偵測結果之相關性.....	31
第五章 建議.....	33
誌謝.....	34
參考文獻.....	35

圖目錄

圖 1 噴砂工人進行噴砂作業前著裝情形，圖中工人以膠帶纏繞鞋子與褲管接合處.....	4
圖 2 噴砂工人佩戴之濾材式口罩。本研究使用 2 組主動式採樣器，1 組置於濾材式口罩外、供氣式防護頭罩內，1 組置於供氣式防護頭罩外，進行呼吸防護具內、外粉塵採樣.....	5
圖 3 噴砂工人佩戴之供氣式防護頭罩.....	5
圖 4 供氣式防護頭罩背面與輸氣管連接.....	6
圖 5 噴砂工人佩戴供氣式防護頭罩即將進入板材(BLOCK)內部進行噴砂	6
圖 6 噴砂工人進行作業前之搭架工作.....	6
圖 7 噴砂工人噴砂後之吹砂作業.....	7
圖 8 空氣樣本採集數量.....	14
圖 9 尿液樣本採集數量.....	19

表目錄

表 1 空氣樣本重金屬檢量線範圍、R 值及偵測極限.....	10
表 2 尿液樣本重金屬檢量線範圍、R 值及偵測極限.....	11
表 3 研究對象特性.....	13
表 4 噴砂工人作業時呼吸防護具內、外總粉塵濃度 (MG/M ³)	15
表 5 作業時間不同，噴砂工人作業時呼吸防護具內、外總粉塵濃度 (MG/M ³)	15
表 6 噴砂工人於船體內、外部作業時，呼吸防護具內、外總粉塵濃度(MG/M ³)	16
表 7 呼吸防護具內、外空氣樣本重金屬成分及濃度(MG/M ³)	17
表 8 呼吸防護具內、外總粉塵樣本各重金屬濃度之相關性 (N=38).....	17
表 9 噴砂工人現場作業時，呼吸防護具對於總粉塵之防護係數及去除率.....	18
表 10 噴砂工人尿液樣本重金屬濃度 (MG/G CR.)	19
表 11 噴砂工人第 1 日工作前、後尿中重金屬濃度 (MG/G CR.)	20
表 12 噴砂工人第 2 日工作前、後尿中重金屬濃度 (MG/G CR.)	21
表 13 噴砂工人第 3 日工作前、後尿中重金屬濃度 (MG/G CR.)	22
表 14 噴砂工人第 4 日工作前、後尿中重金屬濃度 (MG/G CR.)	22
表 15 噴砂工人連續 4 日工作前、後尿中重金屬濃度 (MG/G CR.)	23
表 16 噴砂工人工作前尿液樣本中各金屬濃度之相關係數 (N=51).....	24
表 17 噴砂工人工作後尿液樣本中各重金屬濃度間相關係數 (N=51).....	24
表 18 工作後尿液樣本重金屬濃度與呼吸防護具內、外總粉塵重金屬濃度之相關.....	25
表 19 與本研究有關之職業暴露重金屬有害物容許濃度標準或建議(MG/M ³)	28
表 20 與本研究有關之職業暴露重金屬有害物生物偵測建議指標.....	30
表 21 噴砂工人 1 星期最後 1 天工作後尿中總鉻濃度 (MG/L).....	30
表 22 噴砂工人每工作班增加之尿中總鉻濃度 (MG/L).....	30

第一章 計畫概述

第一節 前言

在工業界中，工件（workpiece）表面的除銹、剝漆、清潔、霧面處理等等，常常會使用到噴砂技術，因為它是一種經濟、有效的方法。噴砂的處理，如果採用密閉的方式進行，工件、研磨料（abrasive）與人員隔離，比較沒有安全衛生的危害問題；但如採用開放的方式進行，工件、研磨料與人員直接接觸，則作業人員的安全衛生維護就顯得相當重要了。造船廠的船體噴砂作業，工件與勞工在同一空間，且因工件大、非定形且常需移動，噴砂操作人員的安全衛生的保護更屬不易。

進行噴砂作業時，除了要有人員的操作外，需使用的工具或裝備尚包括了噴砂機、表面處理材料（或稱研磨料）及噴砂槍、噴嘴、噴砂布套、個人防護衣具等等噴砂零配件。目前將研磨料噴出之方法有 3 種，分別是使用壓縮空氣（compressed air）、水噴（hydroblast）及離心式葉輪（centrifugal impeller），其中最常用的方法為壓縮空氣，又稱直接壓力法[1]。直接壓力法是以壓縮空氣對填充研磨料之儲槽加壓，然後將研磨料運送至噴槍，以高壓噴出。造船廠的噴砂作業即是使用壓縮空氣將研磨料噴至工件表面處理的作業方式，由於工件大且形狀不一，且為避免新噴砂位置的氧化作用，後續之操作處理需一氣呵成，因此，延長了整個作業的時間。

噴砂作業使用之研磨料分為很多種，一般用於處理金屬表面之研磨料，包括矽砂（silica sand）、金屬球或砂礫（metal shot or grit）、煤或冶金的礦渣（coal and metallurgical slags）與合成的研磨料（synthetic abrasives）。造船廠室內噴砂作業之用砂為鋼珠（steel shot）及鋼礫（steel grit），其產品化學成分之規格約為 0.8~1.2%碳、>0.4%矽、0.6~1.2 錳、<0.05%磷、<0.05%硫等等。這些研磨料以空氣高壓噴出，衝擊工件後粉碎為更小的研磨料，在作業環境中亂

舞，而造船廠噴砂工人常常必須在工件中穿梭行走，有可能細小的研磨料穿過防護不當或穿戴不當的呼吸防護具，進入噴砂工人的身體內，造成了作業者健康的威脅。

噴砂作業除了研磨材中所含成分可能引起之健康危害外，也應特別注意，機械力造成從工件上所脫落的碎片（debris），如果碎片中含有有害重金屬成分，可能就會引起健康上的危害。Conroy 等人亦曾指出，從事橋樑鋼鐵噴砂之勞工，作業環境空氣中鉛濃度為 196 ~ 31,410 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、鉻濃度為 1 ~ 657 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、鎘濃度為 1-19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；鉛、鉻濃度分別為美國職業安全衛生署（OSHA, Occupational Safety and Hygiene Administration）容許濃度（PEL, Permissible Exposure Limit）的 219、3.1 倍[2,3]。

造船廠的主要工作為建造及維修船體，在進行船殼噴漆之前，必須先以噴砂的方式完成船殼之除銹、除舊漆及清潔工作。而船殼表面會含有一層無機鋅粉預塗底漆，其組成分為矽酸酯類、添加劑及鋅粉混合物，作為初步防銹之用。此項船殼之噴砂作業，由於工件鉅大且形狀不固定，通常是在專用的噴砂室內，使用壓縮空氣噴出研磨粒的人工作業方式，進行船殼鉅件之噴砂除銹、除漆、清潔等等。在造船廠噴砂室內操作噴砂作業的工人，除了吸入撞擊後的研磨粒碎粒，而可能導致健康危害外，從事船殼表面之剝漆作業，如果油漆中含有鉛、鉻、鎘、有機汞等重金屬，工人亦可能會暴露到，現場必須小心地進行控制。

像造船廠這類使用人工、在密閉的噴砂室內進行之噴砂過程中，研磨粒、研磨粒撞擊船殼後產生的細研磨粒、撞擊船殼脫落的舊漆等等微粒，會在密閉的噴砂室內到處飛揚，位於噴砂室內、需到處鑽游走動、操作噴砂的勞工必須要穿戴高規格、高水準的個人防護裝備，才可能有效隔絕有害物的暴露。如個人防護裝備功能不佳、設備不齊或穿戴錯誤，則勞工可能會暴露到高濃度的粉塵，造成一些嚴重的健康危害，例如氣道阻塞、肺功能下降、塵肺症、消化系統及神經系統的危害等[4-6]。

噴砂作業是造船廠工人面對最骯髒且最危險的工作之一，且目前對於造船廠噴砂作業之環境測定資料並不完整，因此，有必要對此作業環境展開職業衛生狀況之調查。本研究除了進行造船廠噴砂作業勞工的作業環境測定，用以瞭解造船廠噴砂作業勞工的作業環境空氣中重金屬有害物濃度外，亦進一步評估了現場勞工使用呼吸防護設備之重金屬有害物防護效能，是否達成有效保護現場作業勞工之目的。

第二節 目的

1. 瞭解造船廠噴砂工人作業環境個人總粉塵暴露濃度。
2. 瞭解造船廠噴砂工人作業環境粉塵之主要重金屬成分及濃度。
3. 瞭解造船廠噴砂作業工人，尿液主要重金屬之濃度情形。
4. 評估造船廠噴砂勞工呼吸防護具現場之防護效能。

第二章 材料與方法

第一節 研究對象

本研究之採樣地點在台灣南部某造船塗裝廠，研究對象為 22 名外包之男性噴砂工人，已於採樣前向採樣對象說明研究相關內容並取得噴砂工人之同意書，並進行研究對象的基本資料調查，包括基本資料、生活習慣及個人防護具使用情形等等項目。

造船廠噴砂工人進行噴砂作業的工作時間並非固定，視訂單需求機動調整。進行噴砂作業時，勞工會先穿上連身工作服或是外套，然後在袖口與褲管等部位，以膠帶纏繞，目的為防止粉塵進入，落在身體皮膚表面（圖 1）。勞工從事噴砂作業時，習慣上會佩戴 2 種呼吸防護具，1 種是防粉塵用濾材式口罩，佩戴於供氣式防護頭罩內部（圖 2）；另 1 種是供氣式防護頭罩（圖 3 至圖 5），佩戴於濾材式口罩外部。此外，噴砂工人除了噴砂作業外，其工作還包括了研磨、吹砂、掃砂、搭架等項目（圖 6、圖 7）。



圖1 噴砂工人進行噴砂作業前著裝情形，圖中工人以膠帶纏繞鞋子與褲管接合處



圖2 噴砂工人佩戴之濾材式口罩。本研究使用 2 組主動式採樣器，1 組置於濾材式口罩外、供氣式防護頭罩內，1 組置於供氣式防護頭罩外，進行呼吸防護具內、外粉塵採樣



圖3 噴砂工人佩戴之供氣式防護頭罩

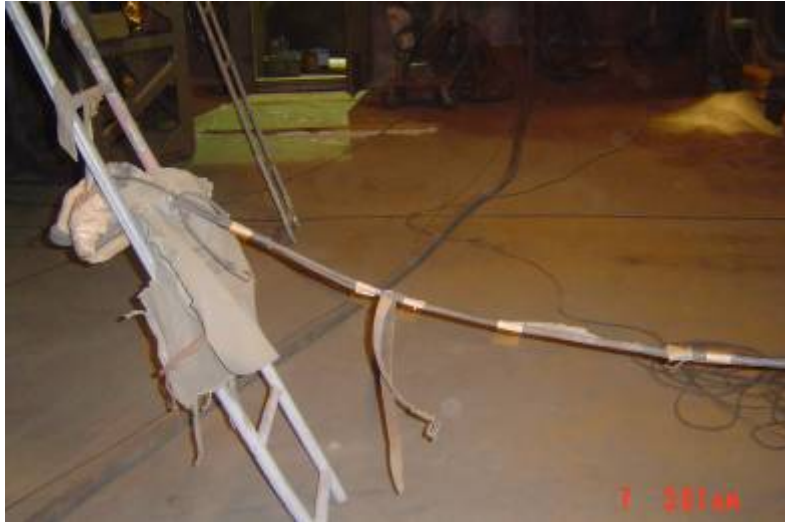


圖4 供氣式防護頭罩背面與輸氣管連接



圖5 噴砂工人佩戴供氣式防護頭罩即將進入板材(block)內部進行噴砂



圖6 噴砂工人進行作業前之搭架工作



圖7 噴砂工人噴砂後之吹砂作業

第二節 研究設計

除了對研究對象進行基本資料的調查外，本研究於研究對象從事噴砂作業時，亦進行作業環境空氣中總粉塵及重金屬有害物個人暴露測定，並收集工人工作前、後之尿液。

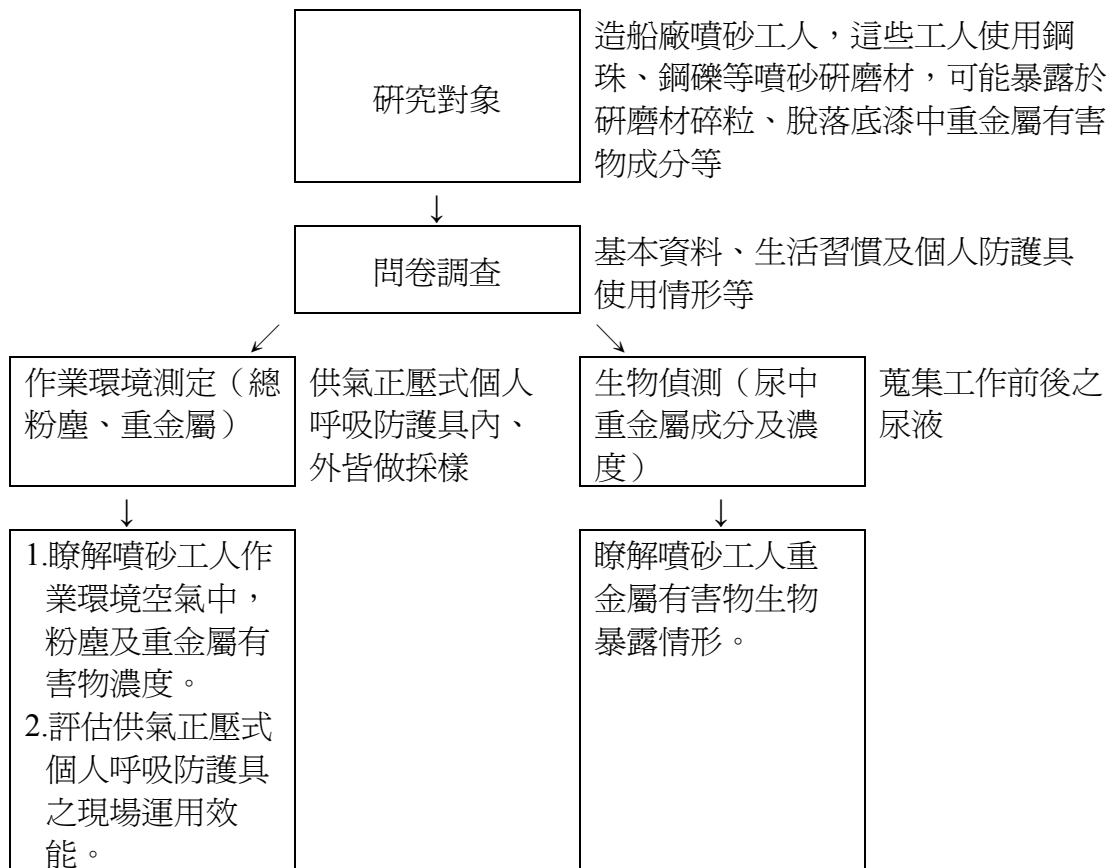
現場空氣粉塵樣本預先以 ICP/MS 進行其中重金屬項目之篩選及確認步驟後，結果顯示，在進行 24 種金屬元素（鋰、硼、鈉、鎂、鋁、鉀、鈣、總鉻、錳、鐵(II)、鐵(III)、鈷、鎳、銅、鋅、鎘、鋇、銀、鎘、銻、鉍、鉍、鉛、鈹等 24 種）分析後，現場空氣粉塵樣本中主要之重金屬項目為鐵(Fe)、鋅(Zn)、鋁(Al)、錳(Mn)、銅(Cu)、總鉻(Cr)等 6 種物質，因此，後續之環境採樣空氣粉塵樣本及尿液分析，就針對上述 6 種重金屬項目做分析探討。

作業環境測定項目包括：測定研究對象個人呼吸防護裝置內外之總粉塵濃度，並分析粉塵中鐵(Fe)、鋅(Zn)、鋁(Al)、錳(Mn)、銅(Cu)、總鉻(Cr)等 6 種重金屬有害物之濃度，用以瞭解噴砂工人作業環境空氣中，粉塵及重金屬有害物濃度，也可評估造船廠噴砂工人使用之供氣正壓式個人呼吸防護具之現場運用效能。

生物偵測部分，收集研究對象上、下班之尿液，配合環境測定分析之重金

屬項目，分析尿中鐵(Fe)、鋅(Zn)、鋁(Al)、錳(Mn)、銅(Cu)、總鉻(Cr)等 6 種重金屬有害物主要成分，用以瞭解噴砂工人重金屬有害物生物暴露情形。

研究架構如下：



第三節 採樣方法

1. 環境空氣中總粉塵個人暴露採樣

研究對象於工作時，佩戴 2 組主動式採樣器，採樣介質為直徑 37 mm 之 PVC 濾紙，個人採樣幫浦為 Gilian 之 GilAir5，呼吸防護具內、外之採樣流速分別為 1.0 及 0.6 L/min (圖 2)。空氣樣本中的總粉塵採樣方法，參考我國勞工委員會總粉塵之採樣分析建議方法 (CLA 4002) [7]。

採樣介質於噴砂作業開始前佩戴於受測者之個人防護衣具內、外，至作業結束時取下密封，並記錄採樣時間、編號，連續採樣 1 週。因廠方採行星期六及星期日週休二日制度，如星期五進行噴砂作業，將無法即時完成後續之噴漆

等作業，所以，本研究連續採樣 4 個工作天。樣本帶回實驗室後於 1 星期內完成分析。

2. 尿液採樣

尿液樣本於上班前及下班後每人每次至少收集中段尿液 20 cc 以上，於工作現場收集後，置入冰桶，隨即送回實驗室-20°C 冰箱中保存備驗。

第四節 分析方法

1. 環境分析

(1) 總粉塵濃度

採樣前後的個人採樣 PVC 濾紙，皆於秤重前 24 小時放入電子乾燥箱調理溫度及溼度，秤重過程均以靜電去除裝置去除靜電。每一片樣本濾紙秤重兩次，其差異不得大於標準片的 3 倍標準差。秤重後將濾紙放入塑膠培養皿，以石蠟膜密封塑膠皿的周圍，儲存於電子乾燥箱，待分析時取出。測定之 QA/QC 如下：

- A. 樣本秤重前先使用空白濾紙為標準片，重複測量 20 次，計算其標準差。
 - B. 採樣前後濾紙放入電子乾燥箱調理溫度及溼度，並保持濾紙採集面朝上。
 - C. 每批樣品採樣前需準備樣本數的 10% 作為採樣運送空白裝置，至少 2 個以上之空白介質作為現場空白樣品。
 - D. 樣前後校正幫浦採樣流率，若差異達 5% 以上，則所採樣品視同無效。
- 作業環境總粉塵濃度計算方式如下：

$$C = [(W_2 - W_1) - (B_2 - B_1)] * 10^3 / V$$

C : 空氣中有害物濃度(mg/m³)

V : 採集氣體體積(L)

W₁ : 採樣前濾紙重量(mg)

W₂ : 採樣後濾紙(含樣品)重量(mg)

B₁：採樣前現場空白濾紙平均重量(mg)

B₂：採樣後現場空白濾紙平均重量(mg)

(2)重金屬濃度

個人採樣空氣樣本總粉塵重金屬成分之分析方法參考謝發表之方法[8]。將空氣採樣之濾紙折成扇形放入 50 mL 離心管，加入 10 mL 6.9% HNO₃，再置入超音波震盪器(Super Sonorex RK 1028H, Bandelin Electronic)中，在水浴溫度 45°C 下震盪 15 分鐘，取出溶液以 0.45 μm 孔徑濾紙 (Millipore Millex-HV, Hydrophilic PVDF 0.45μm) 進行過濾，將溶液注入 100 mL 之定量瓶，使用滴管吸取去離子水清洗離心管並倒入針筒，注射至定量瓶內，利用滴管定量至定量瓶刻度，注入感應耦合電漿質譜儀 (Inductively Coupled Plasma Massspectrometry, Agilent 7500c ICP-MS) 進行分析。將 1000 mg/L 多元素金屬標準溶液以 0.69% 硝酸稀釋，配製 11 瓶不同濃度標準溶液，濃度範圍為 0.5 μg/L ~ 500 μg/L (表 1)。測定之 QA/QC 為進行回收率試驗、準確性及精確性之測定、每十個樣本做一次標準品查核、做實驗室空白試驗、偵測極限之確認。

表1 空氣樣本重金屬檢量線範圍、r 值及偵測極限

元素	檢量線範圍(μg/L)	r 值	偵測極限(μg/L)
鐵(Fe)	0.5~500	0.9994	0.131
鋅(Zn)	0.5~500	0.9998	0.092
鋁(Al)	0.5~500	0.9992	0.157
錳(Mn)	0.5~500	0.9994	0.007
銅(Cu)	0.5~500	0.9994	0.026
總鉻(Cr)	0.5~500	0.9993	0.016

◎依檢量線最低點濃度 (Conc.) 配製 7 個樣本、進行分析，求得 7 個樣本之平均訊號值 (M_{count}) 及標準差 (S_{count}) 後，計算出各重金屬的方法偵測極限 (Method detection limit, MDL) = $(3S_{\text{count}}/M_{\text{count}}) \times \text{Conc.}$ 。

2. 尿液分析

(1) 重金屬濃度

尿液樣本於-20°C 冰箱取出，於室溫下回溫後，將樣本充分混合，以 0.45 μm 的針頭過濾器過濾，所得之濾液以 1.3% HNO₃ 稀釋 10 倍，即可注入感應耦合電漿質譜儀進行鐵(Fe)、鋅(Zn)、鋁(Al)、錳(Mn)、銅(Cu)、總鉻(Cr) 等 6 種重金屬有害物之分析。將 1000 mg/L 多元素金屬標準溶液以 0.13% 硝酸稀釋，配製 11 瓶不同濃度標準溶液，濃度範圍為 0.5 μg/L~500 μg/L，測定之 QA/QC 為進行回收率試驗、準確性及精確性之測定、每 10 個樣本做 1 次標準品查核、做實驗室空白試驗、偵測極限之確認（表 2）。

表2 尿液樣本重金屬檢量線範圍、r 值及偵測極限

元素	檢量線範圍(μg/L)	r 值	偵測極限(μg/L)
鐵(Fe)	0.5~500	0.9994	0.055
鋅(Zn)	0.5~500	0.9997	0.206
鋁(Al)	0.5~500	0.9998	0.245
錳(Mn)	0.5~500	0.9996	0.013
銅(Cu)	0.5~500	0.9983	0.013
總鉻(Cr)	0.5~500	0.9997	0.012

◎依檢量線最低點濃度 (Conc.) 配製 7 個樣本、進行分析，求得 7 個樣本之平均訊號值 (M_{count}) 及標準差 (S_{count}) 後，計算出各重金屬的方法偵測極限 (Method detection limit, MDL) = $(3S_{\text{count}}/M_{\text{count}}) \times \text{Conc.}$ 。

(2) 尿中肌酸酐之測定

以 Jaffe' method 測定尿液中肌酸酐濃度[9]。步驟為取 0.2 mL 之尿液，加入 3 mL working reagent (creatinine base reagent : picric acid = 2 : 1，體積比)，混合均勻，在 37°C 下放置 15 分鐘後，以分光光度計在波長為 520 nm 下分析。如果尿液樣本之肌酸酐濃度介於 30-300 mg/dL 之外（太濃或太淡的尿液樣本不宜

使用，此標準為世界衛生組織之建議）[10]，此樣本則捨棄不用。

第五節 呼吸防護具防護係數及去除率之計算

1. 防護係數 = C_o/C_i

C_o ：呼吸防護具外濃度

C_i ：呼吸防護具內濃度

2. 去除率 (%) = $(C_o - C_i) \times 100\% / C_o$ 。

第六節 資料分析

1. 以 paired t test 進行呼吸防護具內外總粉塵濃度、4 日平均工作前後尿液重金屬濃度之比較。
2. 分別以 Wilcoxon sign rank test 進行第 1 日、第 2 日、第 3 日與第 4 日，工作前後尿液重金屬濃度之比較。
3. 以 student's t test 比較船體內外作業時，總粉塵濃度之差異。
4. 各項資料利用電腦統計套裝軟體 SPSS 12.0 計算，設定顯著水準為 0.05。

第三章 結果

第一節 受測對象基本資料

本研究之研究對象為 22 人，均為男性，其特性如表 3 所示。受測對象平均年齡為 36.4±9.4 歲，平均工作年資為 5.7±3.8 年，分別有 68.2%、86.4%的人，有喝酒及抽菸的習慣。所有受測對象均表示進行噴砂作業時，有感覺會吸入粉塵，有 13.6%的人表示不能接受目前現場使用之呼吸防護具。在教育程度方面，以國中、高中(職)居多，約 36%的人在吃飯前不會洗手。

表3 研究對象特性

項目	情形
年齡 (歲)	36.4±9.4 ^a
工作年資 (年)	5.7±3.8
性別(人(%))	
男	22(100)
女	0
喝酒習慣(人(%))	
是	15 (68.2)
否	7 (31.8)
抽菸習慣(人(%))	
是	19 (86.4)
否	3 (13.6)
作業時是否覺得會吸入粉塵(人(%))	
是	22 (100)
否	0
自覺呼吸防護具之防護效果(人(%))	
不能接受	3 (13.6)
普通	15 (68.2)
良好	4 (18.2)

^amean±SD

本研究的採樣規劃為連續採樣 4 天，不過，由於工人配合意願不高或請假未上班，研究對象之採樣次數從 1 到 4 次。

第二節 空氣採樣部分

本研究之研究對象為 22 人，連續採樣 4 天，對每位受測者同時進行呼吸防護具內、外的個人環境測定採樣，原則上應採集有呼吸防護具內、外的個人環境測定採樣空氣樣本各 88 個。但是，由於受測者配合意願不高、未上班、採樣設備脫落或濾材破出等原因，本研究共收集呼吸防護具外有效樣本 40 個、呼吸防護具內有效樣本 48 個，呼吸防護具內外同時採集到有效之空氣樣本共 38 組（如圖 8）。由於本研究進一步想要探討在相同條件下，呼吸防護具內、外空氣濃度的差異程度，因此，空氣濃度結果的數據整理，皆以 38 組呼吸防護具內、外樣本之結果呈現。

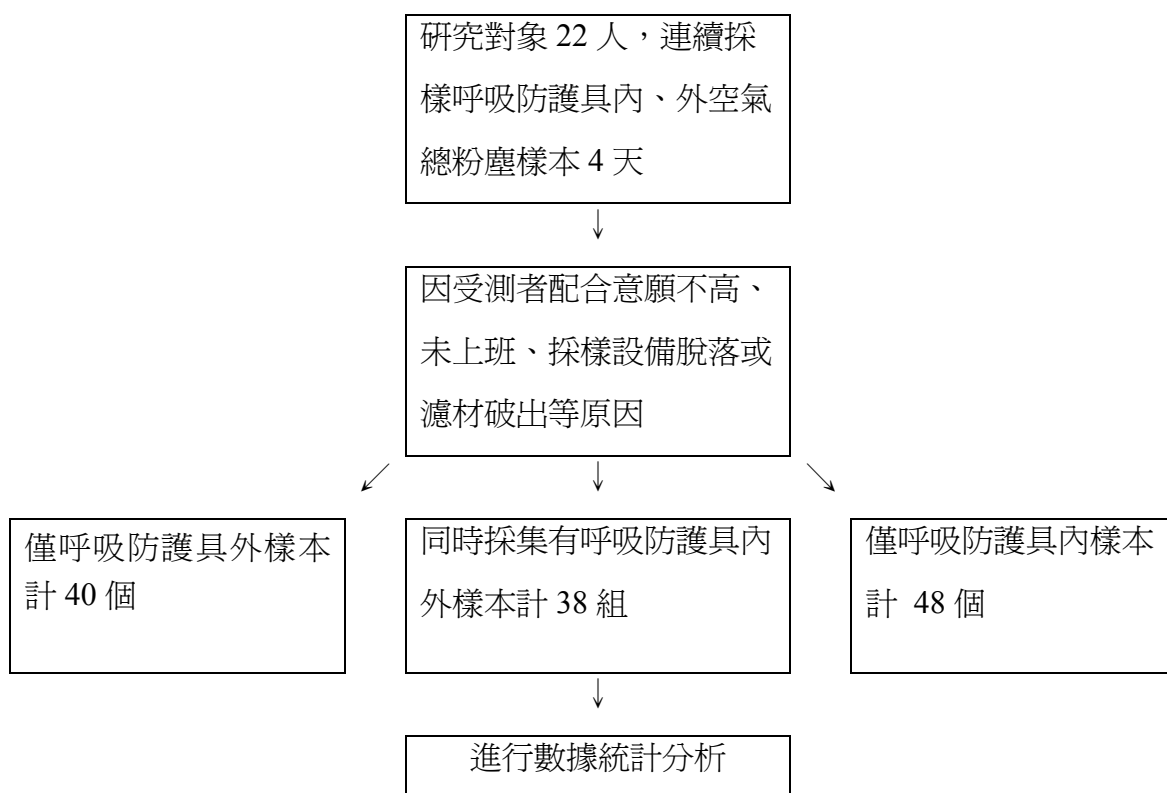


圖8 空氣樣本採集數量

1.空氣總粉塵濃度

噴砂工人作業時呼吸防護具內、外總粉塵濃度平均值，分別為 $162.6 \pm$

38.0 及 $4.6 \pm 1.6 \text{ mg/m}^3$ (如表 4) , 呼吸防護具外總粉塵濃度約為呼吸防護具內濃度之 35 倍。防護具外總粉塵濃度明顯高於防護具內樣本(paired t test , $p < 0.001$)。

表4 噴砂工人作業時呼吸防護具內、外總粉塵濃度 (mg/m^3)

樣本數	呼吸防護具外	呼吸防護具內	p value ^b
38	162.6 ± 38.0^a (3.4~933.8)	4.6 ± 1.6 (0.2-43.9)	<0.001

^amean±SE (min~max)

^bpaired t test

2.作業時間不同之總粉塵濃度

本研究空氣採樣平均採樣時間為 $90.8 \pm 5.0 \text{ min}$, 範圍從 43 min~177 min。欲調查噴砂作業時間長短, 對於呼吸防護具內、外總粉塵濃度之影響, 將採樣時間分為 <1 小時、1 小時~2 小時、>2 小時 3 組來進行探討, 其結果如表 5。結果顯示不論防護具外或內總粉塵濃度, 不會受到作業時間長短的影響(one-way ANOVA test, 防護具外 $p = 0.871$ 、防護具內 $p = 0.775$)。

表5 作業時間不同, 噴砂工人作業時呼吸防護具內、外總粉塵濃度 (mg/m^3)

採樣時間	呼吸防護具外	呼吸防護具內	p value ^b
<1 小時 (n=5)	159.8 ± 112.8 (5.3-606.2)	3.5 ± 1.3 (0.4-7.7)	<0.001
1~2 小時 (n=29)	171.1 ± 46.3 (3.4-933.8)	4.3 ± 1.9 (0.2-43.9)	<0.001
>2 小時 (n=4)	103.9 ± 35.1 (54.9-205.6)	7.8 ± 7.2 (0.4-29.3)	<0.001
p value ^c	0.871	0.775	

^amean±SE (min~max)

^bpaired t test

^cone-way ANOVA test

3.作業區域不同之總粉塵濃度

噴砂工人在船體內部進行作業時, 呼吸防護具外總粉塵濃度為 291.7 ± 63.6

mg/m³；呼吸防護具內總粉塵濃度為 5.5 ± 2.8 mg/m³（表 6）。在船體外部進行作業時，呼吸防護具外總粉塵濃度為 33.5 ± 5.4 mg/m³；呼吸防護具內總粉塵濃度為 3.7 ± 1.5 mg/m³。噴砂工人在船體內部進行作業時，防護具外總粉塵濃度明顯高於船體外部作業之樣本 (student t test, $p = 0.001$)，防護具內總粉塵濃度則無差異。

表6 噴砂工人於船體內、外部作業時，呼吸防護具內、外總粉塵濃度(mg/m³)

	船體內部 (n=19)	船體外部 (n=19)	<i>p</i> value ^b
呼吸防護具外	291.7 ± 63.6 ^a	33.5 ± 5.4	0.001
呼吸防護具內	5.5 ± 2.8	3.7 ± 1.5	0.589

^amean±SE

^bstudent t test

4.空氣總粉塵重金屬成分及濃度

空氣樣本經感應耦合電漿質譜儀分析，發現造船廠噴砂工人使用砂材之重金屬主要成分為鐵、鋅、鋁、錳、銅、總鉻。呼吸防護具外空氣樣本，其鐵、鋅、鋁、錳、銅、總鉻之檢出率，為 100%(38/38)、100%(38/38)、100%(38/38)、100%(38/38)、74%(26/38)、100%(38/38)，濃度分別為 6.61991 mg/m³、2.90249 mg/m³、0.09335 mg/m³、0.08544 mg/m³、0.01217 mg/m³、0.00972 mg/m³；呼吸防護具內空氣樣本，鐵、鋅、鋁、錳、銅、總鉻之檢出率為 100%(38/38)、86.8%(33/38)、42.1%(16/38)、94.7%(36/38)、5.3%(2/38)、86.8%(33/38)，其濃度分別為 0.14917 mg/m³、0.05180 mg/m³、0.00145 mg/m³、0.00123 mg/m³、0.00013 mg/m³、0.00055 mg/m³ (表 7)。

表7 呼吸防護具內、外空氣樣本重金屬成分及濃度(mg/m³)

	鐵	鋅	鋁	錳	銅	總鉻
呼吸防護具外 (n=38)						
最高值	27.83072	15.67269	0.41888	0.37823	0.11825	0.10710
最低值	0.14653	0.06530	0.00283	0.00162	0.00002	0.00162
平均數	6.61991	2.90249	0.09335	0.08544	0.01217	0.00972
呼吸防護具內 (n=38)						
最高值	1.98818	0.65000	0.02328	0.01906	0.00240	0.00159
最低值	0.00106	0.00033	0.00001	<0.00001	0.00001	0.00004
平均數	0.14917	0.05180	0.00145	0.00123	0.00013	0.00055

◎低於檢量下線時，樣本濃度平均值以 1/2*LOD 計算。

5. 呼吸防護具內、外空氣總粉塵樣本中各重金屬濃度之相關性

呼吸防護具內總粉塵樣本之重金屬組成份，與呼吸防護具外之樣本，無統計上之相關性存在 (表 8)。

表8 呼吸防護具內、外總粉塵樣本各重金屬濃度之相關性 (n=38)

	呼吸防護具內總粉塵金屬濃度					
	鐵	鋅	鋁	錳	銅	總鉻
呼吸防護具外總粉塵金屬濃度	r=-0.162 p=0.331	r=-0.155 p=0.354	r=-0.150 p=0.370	r=-0.132 p=0.429	r=-0.084 p=0.617	r=-0.204 p=0.219

6. 輸氣管面罩之呼吸防護具防護效能

以同時採集到呼吸防護具內外的 38 組空氣總粉塵濃度，來探討噴砂作業勞工之呼吸防護具現場防護效能。表 9 顯示噴砂工人作業時，呼吸防護具對於總粉塵之現場防護效能。若以防護係數表示，呼吸防護具對於總粉塵之防護係數為 51.8 (中位數)，範圍從 23.3-205.8 (第 25 百分位數-第 75 百分位數)；以去除率來表示，呼吸防護具對於總粉塵之去除率為 97.5 (中位數)，範圍從 88.8-99.6 (第 25 百分位數-第 75 百分位數)。不同佩戴時間的防護係數及去除率無統計上差異 (one-way ANOVA test，防護係數 $p = 0.892$ ；去除率 $p =$

0.865)。

表9 噴砂工人現場作業時，呼吸防護具對於總粉塵之防護係數及去除率

採樣時間	樣本數	防護係數 ^b	去除率 ^c
<1 小時	5	13.8 ^a (5.54~835.7)	92.7 (69.3~97.2)
1~2 小時	29	48.2 (10.5~335.1)	97.9 (90.1~99.7)
>2 小時	4	107.9 (5.73~162.2)	97.7 (76.0~99.3)
合計	38	51.8 (23.3~205.8)	97.5 (88.8~99.6)

^aMedian (25th-75th percentiles; Q₂₅-Q₇₅)

^b防護係數= C_o/C_i。C_o代表呼吸防護具外濃度；C_i代表呼吸防護具內濃度

^c去除率(%) = (C_o-C_i)/C_o×100%

第三節 生物偵測部分

本研究之研究對象為 22 人，連續採樣 4 天，對每位受測者進行工作前及工作後的尿液採樣，原則上應採集有工作前及工作後的尿液樣本各 88 個。但是，由於受測者配合意願不高、未上班等原因，本研究收集噴砂工人工作前尿液樣本 60 個、工作後尿液樣本 56 個，共 51 組工作前、後尿液樣本，如圖 9。由於本研究進一步想要探討在相同條件下，工作前、後尿液樣本重金屬濃度的差異程度，因此，尿液樣本重金屬濃度結果的數據整理，皆以 51 組工作前、後尿液樣本之結果呈現。

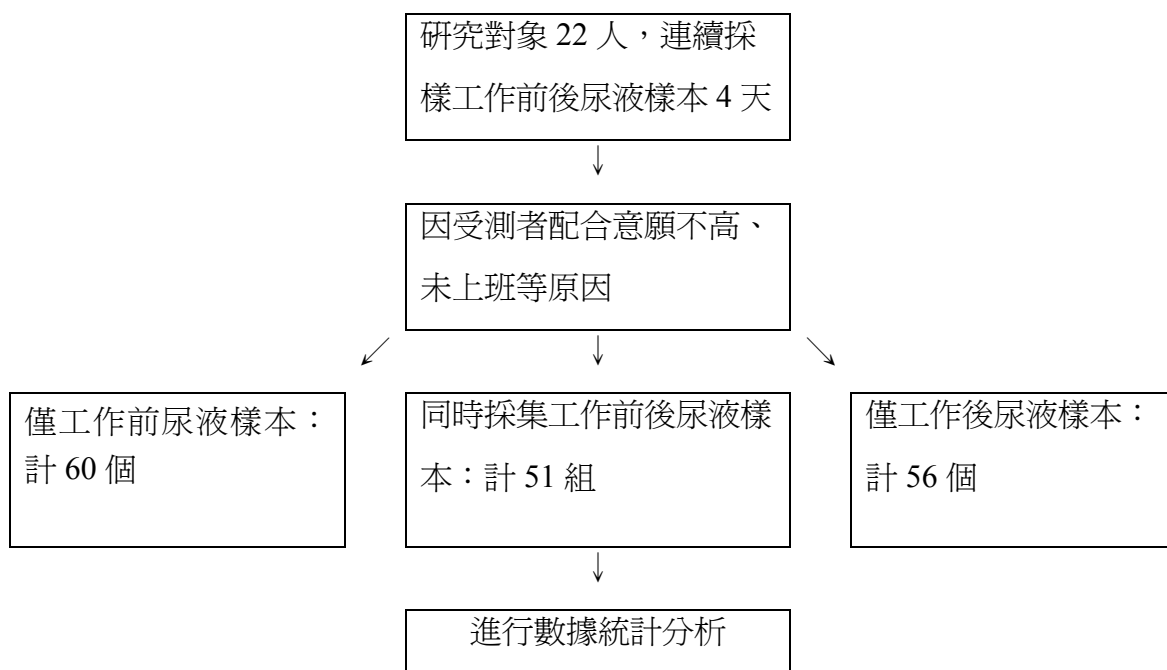


圖9 尿液樣本採集數量

1.噴砂工人尿液重金屬濃度

若不分工作前、後尿液樣本，來計算工人尿中鐵、鋅、鋁、錳、銅、總鉻平均濃度。造船噴砂工人尿中鐵濃度為 679.1 $\mu\text{g/g cr.}$ ，範圍從 115.8~3166.6 $\mu\text{g/g cr.}$ ；尿中鋅濃度為 538.3 $\mu\text{g/g cr.}$ ，範圍從 74.5~1768.2 $\mu\text{g/g cr.}$ ；尿中鋁濃度為 40.2 $\mu\text{g/g cr.}$ ，範圍從 0.1~275.5 $\mu\text{g/g cr.}$ ；尿中錳濃度為 3.6 $\mu\text{g/g cr.}$ ，範圍從 <0.1~20.4 $\mu\text{g/g cr.}$ ；尿中銅濃度為 2.7 $\mu\text{g/g cr.}$ ，範圍從 <0.1~31.4 $\mu\text{g/g cr.}$ ；尿中總鉻濃度為 2.6 $\mu\text{g/g cr.}$ ，範圍從 <0.1~25.4 $\mu\text{g/g cr.}$ (表 10)。

表10 噴砂工人尿液樣本重金屬濃度 ($\mu\text{g/g cr.}$)

		鐵	鋅	鋁	錳	銅	總鉻
合計	最高值	3166.6	1768.2	275.5	20.4	31.4	25.4
	最低值	115.8	74.5	0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	平均值	679.1	538.3	40.2	3.6	2.7	2.6
	樣本數	102	102	102	102	102	102

2.工作前、後尿液重金屬濃度變化

造船噴砂工人第 1 日工作前後，尿中重金屬濃度變化如表 11。工作前尿中鐵濃度為 $731.8 \pm 187.2 \mu\text{g/g cr.}$ ，工作後為 $767.1 \pm 123.4 \mu\text{g/g cr.}$ ，變化值為 $35.3 \pm 221.8 \mu\text{g/g cr.}$ ($p = 0.876$)。工作前鋅濃度為 $649.4 \pm 78.3 \mu\text{g/g cr.}$ ，工作後為 $546.9 \pm 51.9 \mu\text{g/g cr.}$ ，變化值為 $-102.5 \pm 82.4 \mu\text{g/g cr.}$ ($p = 0.234$)。工作前尿中鉛濃度為 $38.1 \pm 7.5 \mu\text{g/g cr.}$ ，工作後為 $51.4 \pm 8.0 \mu\text{g/g cr.}$ ，變化值為 $13.3 \pm 12.0 \mu\text{g/g cr.}$ ，未達統計上顯著差異 ($p = 0.282$)。工作前尿中錳濃度為 $3.7 \pm 1.3 \mu\text{g/g cr.}$ ，工作後為 $2.2 \pm 1.1 \mu\text{g/g cr.}$ ，變化值為 $-1.5 \pm 1.8 \mu\text{g/g cr.}$ ($p = 0.420$)。工作前銅濃度為 $3.1 \pm 0.9 \mu\text{g/g cr.}$ ，工作後為 $3.2 \pm 1.1 \mu\text{g/g cr.}$ ，變化值為 $0.1 \pm 1.4 \mu\text{g/g cr.}$ ($p = 0.966$)。工作前總鉻濃度為 $2.6 \pm 0.8 \mu\text{g/g cr.}$ ，工作後為 0.8 ± 0.4 ，變化值為 $-1.4 \pm 1.1 \mu\text{g/g cr.}$ ($p = 0.201$)。

表11 噴砂工人第 1 日工作前、後尿中重金屬濃度 ($\mu\text{g/g cr.}$)

	樣本數	工作前	工作後	工作後-工作前	p 值 ^b
鐵	15	731.8 ± 187.2^a	767.1 ± 123.4	35.3 ± 221.8	0.876
鋅	15	649.4 ± 78.3	546.9 ± 51.9	-102.5 ± 82.4	0.234
鉛	15	38.1 ± 7.5	51.4 ± 8.0	13.3 ± 12.0	0.282
錳	15	3.7 ± 1.3	2.2 ± 1.1	-1.5 ± 1.8	0.420
銅	15	3.1 ± 0.9	3.2 ± 1.1	0.1 ± 1.4	0.966
總鉻	15	2.6 ± 0.8	0.8 ± 0.4	-1.4 ± 1.1	0.201

^a Mean \pm S.E

^b 使用 Wilcoxon sign rank test

造船噴砂工人第 2 日工作前後，尿中重金屬濃度變化如表 12。工作前尿中鐵濃度為 $591.9 \pm 74.3 \mu\text{g/g cr.}$ ，工作後為 $964.6 \pm 170.7 \mu\text{g/g cr.}$ ，變化值為 $372.7 \pm 191.1 \mu\text{g/g cr.}$ ($p = 0.077$)。工作前鋅濃度為 $600.1 \pm 46.3 \mu\text{g/g cr.}$ ，工作後為 $549.0 \pm 114.3 \mu\text{g/g cr.}$ ，變化值為 $-51.1 \pm 88.5 \mu\text{g/g cr.}$ ($p = 0.576$)。工作前尿中鉛濃度為 $57.4 \pm 20.1 \mu\text{g/g cr.}$ ，工作後為 $45.4 \pm 8.47 \mu\text{g/g cr.}$ ，變化值為 -12.0 ± 14.8

µg/g cr. ($p = 0.433$)。工作前尿中錳濃度為 0.9 ± 0.5 µg/g cr.，工作後為 2.9 ± 1.8 µg/g cr.，變化值為 -1.6 ± 1.6 ($p = 0.312$)。工作前銅濃度為 2.7 ± 1.5 µg/g cr.，工作後為 1.0 ± 0.6 µg/g cr.，變化值為 -1.6 ± 1.6 µg/g cr. ($p = 0.324$)。工作前總鉻濃度為 0.3 ± 0.3 µg/g cr.，工作後為 1.6 ± 1.1 µg/g cr.，變化值為 -1.3 ± 1.2 µg/g cr. ($p = 0.309$)。

表12 噴砂工人第2日工作前、後尿中重金屬濃度 (µg/g cr.)

	樣本數	工作前	工作後	工作後-工作前	p 值 ^b
鐵	12	591.9 ± 74.3 ^a	964.6 ± 170.7	372.7 ± 191.1	0.077
鋅	12	600.1 ± 46.3	549.0 ± 114.3	-51.1 ± 88.5	0.576
鋁	12	57.4 ± 20.1	45.4 ± 8.5	-12.0 ± 14.8	0.433
錳	12	0.9 ± 0.5	2.9 ± 1.8	2.1 ± 1.9	0.312
銅	12	2.7 ± 1.5	1.0 ± 0.6	-1.6 ± 1.6	0.324
總鉻	12	0.3 ± 0.3	1.6 ± 1.1	1.3 ± 1.2	0.309

^a Mean \pm S.E

^b 使用 Wilcoxon sign rank test

造船噴砂工人第3日工作前後，尿中重金屬濃度變化如表13。工作前尿中鐵濃度為 447.8 ± 104.9 µg/g cr.，工作後為 403.4 ± 59.6 µg/g cr.，變化值為 -44.4 ± 128.0 µg/g cr. ($p = 0.734$)。工作前鋅濃度為 411.2 ± 50.5 µg/g cr.，工作後為 387.3 ± 59.4 µg/g cr.，變化值為 -23.9 ± 48.4 µg/g cr. ($p = 0.629$)。工作前尿中鋁濃度為 20.9 ± 5.9 µg/g cr.，工作後為 25.0 ± 5.4 µg/g cr.，變化值為 4.1 ± 7.3 µg/g cr. ($p = 0.586$)。工作前尿中錳濃度為 8.0 ± 1.1 µg/g cr.，工作後為 6.8 ± 1.3 µg/g cr.，變化值為 -1.1 ± 1.4 µg/g cr. ($p = 0.436$)。工作前銅濃度為 3.4 ± 0.7 µg/g cr.，工作後為 4.7 ± 2.2 µg/g cr.，變化值為 1.4 ± 2.0 µg/g cr. ($p = 0.498$)。工作前尿中總鉻濃度為 6.4 ± 0.5 µg/g cr.，工作後為 6.7 ± 1.7 µg/g cr.，變化值為 0.4 ± 1.8 µg/g cr. ($p = 0.841$)。

表13 噴砂工人第3日工作前、後尿中重金屬濃度 (µg/g cr.)

	樣本數	工作前	工作後	工作後-工作前	p 值 ^b
鐵	14	447.8 ± 104.9 ^a	403.4 ± 59.6	-44.4±128.0	0.734
鋅	14	411.2 ± 50.5	387.3±59.4	-23.9±48.4	0.629
鋁	14	20.9 ± 5.9	25.0 ± 5.4	4.1±7.3	0.586
錳	14	8.0 ± 1.1	6.8± 1.3	-1.1±1.4	0.436
銅	14	3.4 ± 0.7	4.7 ± 2.2	1.4±2.0	0.498
總鉻	14	6.4 ± 0.5	6.7 ± 1.7	0.4±1.8	0.841

^a Mean ± S.E

^b 使用 Wilcoxon sign rank test

造船噴砂工人第4日工作前後，尿中重金屬濃度變化如表14。工作前尿中鐵濃度為 574.3 ± 87.4 µg/g cr.，工作後為 761.7 ± 194.4 µg/g cr.，變化值為 187.4±197.3 µg/g cr. ($p = 0.360$)。工作前鋅濃度為 520.3 ± 47.0 µg/g cr.，工作後為 553.8±94.5 µg/g cr.，變化值為 33.5±77.4 µg/g cr. ($p = 0.672$)。工作前尿中鋁濃度為 30.2 ± 5.1 µg/g cr.，工作後為 40.1 ± 9.1 µg/g cr.，變化值為 9.9±9.3 µg/g cr. ($p = 0.306$)。工作前尿中錳濃度為 3.2 ± 1.1 µg/g cr.，工作後為 2.3 ± 0.8 µg/g cr.，變化值為-0.9±1.1 µg/g cr. ($p = 0.455$)。工作前銅濃度為 1.8 ± 0.5 µg/g cr.，工作後為 0.8 ± 0.4 µg/g cr.，變化值為-0.9±0.5 µg/g cr. ($p = 0.096$)。工作前總鉻濃度為 2.9 ± 1.0 µg/g cr.，工作後為 1.5 ± 0.6 µg/g cr.，變化值為-1.5±0.8 µg/g cr. ($p = 0.071$)。

表14 噴砂工人第4日工作前、後尿中重金屬濃度 (µg/g cr.)

	樣本數	工作前	工作後	工作後-工作前	p 值 ^b
鐵	10	574.3 ± 87.4 ^a	761.7 ± 194.4	187.4±197.3	0.360
鋅	10	520.3 ± 47.0	553.8±94.5	33.5±77.4	0.672
鋁	10	30.2 ± 5.1	40.1 ± 9.1	9.9±9.3	0.306
錳	10	3.2 ± 1.1	2.3 ± 0.8	-0.9±1.1	0.455
銅	10	1.8 ± 0.5	0.8 ± 0.4	-0.9±0.5	0.096
總鉻	10	2.9 ± 1.0	1.5 ± 0.6	-1.5±0.8	0.071

^a Mean ± S.E

^b 使用 Wilcoxon sign rank test

若以 4 日平均來看工作前、後尿中重金屬濃度變化情形，結果如表 15。工作前尿中鐵濃度為 $612.7 \pm 67.4 \mu\text{g/g cr.}$ ，工作後為 $745.5 \pm 79.5 \mu\text{g/g cr.}$ ，變化值為 $-132.8 \pm 101.8 \mu\text{g/g cr.}$ ($p = 0.198$)，工作後增加的樣本比率 57%(29/51)。工作前鋅濃度為 $552.8 \pm 33.2 \mu\text{g/g cr.}$ ，工作後為 $523.8 \pm 42.6 \mu\text{g/g cr.}$ ，變化值為 $-30.0 \pm 39.5 \mu\text{g/g cr.}$ ($p = 0.467$)，工作後增加的樣本比率 51%(26/51)。工作前尿中鋁濃度為 $37.7 \pm 5.7 \mu\text{g/g cr.}$ ，工作後為 $42.7 \pm 4.2 \mu\text{g/g cr.}$ ，變化值為 $5.0 \pm 5.9 \mu\text{g/g cr.}$ ($p = 0.400$)，工作後增加的樣本比率 67%(34/51)。工作前尿中錳濃度為 $3.9 \pm 0.7 \mu\text{g/g cr.}$ ，工作後為 $3.4 \pm 0.7 \mu\text{g/g cr.}$ ，變化值為 $-0.5 \pm 0.9 \mu\text{g/g cr.}$ ($p = 0.576$)，工作後增加的樣本比率 51%(26/51)。工作前銅濃度為 $2.8 \pm 0.5 \mu\text{g/g cr.}$ ，工作後為 $2.5 \pm 0.7 \mu\text{g/g cr.}$ ，變化值為 $-0.3 \pm 0.8 \mu\text{g/g cr.}$ ($p = 0.745$)，工作後增加的樣本比率 41%(21/51)。工作前尿中鉻濃度為 $2.8 \pm 0.5 \mu\text{g/g cr.}$ ，工作後為 $2.5 \pm 0.7 \mu\text{g/g cr.}$ ，變化值為 $-0.3 \pm 0.7 \mu\text{g/g cr.}$ ($p = 0.644$)，工作後增加的樣本比率 49%(25/51)。

表15 噴砂工人連續 4 日工作前、後尿中重金屬濃度 ($\mu\text{g/g cr.}$)

	樣本數	工作前	工作後	工作後-工作前	p 值 ^b
鐵	51	612.7 ± 67.4^a	745.5 ± 79.5	-132.8 ± 101.8	0.198
鋅	51	552.8 ± 33.2	523.8 ± 42.6	-30.0 ± 39.5	0.467
鋁	51	37.7 ± 5.7	42.7 ± 4.2	5.0 ± 5.9	0.400
錳	51	3.9 ± 0.7	3.4 ± 0.7	-0.5 ± 0.9	0.576
銅	51	2.8 ± 0.5	2.5 ± 0.7	-0.3 ± 0.8	0.745
總鉻	51	2.8 ± 0.5	2.5 ± 0.7	-0.3 ± 0.7	0.644

^a Mean \pm S.E

^b Paired t-test

3. 尿液樣本中各重金屬濃度之相關性

工作前尿液樣本各種金屬濃度之相關性如表 16。有統計上顯著相關之重金

屬元素，包括錳與鋅($r = -0.340$)、總鉻與鋅($r = -0.404$)、總鉻與鋁($r = -0.362$)、總鉻與錳($r = 0.932$)。

表16 噴砂工人工作前尿液樣本中各金屬濃度之相關係數 (n=51)

	鐵	鋅	鋁	錳	銅	總鉻
鐵	1	$r = 0.185$ $p = 0.193$	$r = 0.217$ $p = 0.126$	$r = 0.189$ $p = 0.184$	$r = -0.193$ $p = 0.174$	$r = -0.110$ $p = 0.441$
鋅		1	$r = 0.199$ $p = 0.162$	$r = -0.340^{**}$ $p = 0.015$	$r = 0.105$ $p = 0.463$	$r = -0.404^{**}$ $p = 0.003$
鋁			1	$r = -0.203$ $p = 0.153$	$r = -0.086$ $p = 0.550$	$r = -0.362^{**}$ $p = 0.009$
錳				1	$r = 0.034$ $p = 0.810$	$r = 0.932^{**}$ $p < 0.001$
銅					1	$r = 0.054$ $p = 0.704$
總鉻						1

** $p < 0.05$

工作後尿液樣本各種金屬濃度之相關性如表 17。有統計上顯著相關之金屬，包括鋅與鐵($r = 0.318$)、鋁與鐵($r = 0.317$)、鋁與鋅($r = 0.450$)、銅與錳($r = 0.349$)、總鉻與鋅($r = -0.304$)、總鉻與錳($r = 0.728$)、總鉻與銅($r = 0.333$)。

表17 噴砂工人工作後尿液樣本中各重金屬濃度間相關係數 (n=51)

	鐵	鋅	鋁	錳	銅	總鉻
鐵	1	$r = 0.318^{**}$ $p = 0.023$	$r = 0.317^{**}$ $p = 0.023$	$r = 0.229$ $p = 0.105$	$r = 0.019$ $p = 0.897$	$r = -0.022$ $p = 0.880$
鋅		1	$r = 0.450^{**}$ $p = 0.001$	$r = -0.198$ $p = 0.163$	$r = 0.175$ $p = 0.220$	$r = -0.304^{**}$ $p = 0.030$
鋁			1	$r = -0.110$ $p = 0.442$	$r = -0.174$ $p = 0.223$	$r = -0.181$ $p = 0.203$
錳				1	$r = 0.349^{**}$ $p = 0.012$	$r = 0.728^{**}$ $p < 0.001$
銅					1	$r = 0.333^{**}$ $p = 0.017$
總鉻						1

** $p < 0.05$

第四節 空氣採樣濃度與生物偵測結果之相關性

工作後尿液樣本重金屬濃度與呼吸防護具內、外總粉塵樣本重金屬濃度之相關性如表 18。結果顯示尿中鐵濃度與呼吸防護具外總粉塵鐵濃度的相關係數為 0.302，呈現邊緣性的相關($p = 0.073$)，其它重金屬則無相關性。

表18 工作後尿液樣本重金屬濃度與呼吸防護具內、外總粉塵重金屬濃度之相關

	工作後尿中重金屬濃度					
	鐵	鋅	鋁	錳	銅	總鉻
呼吸防護具外總粉塵金屬濃度	$r = 0.302^*$ $p = 0.073$	$r = -0.145$ $p = 0.398$	$r = -0.060$ $p = 0.726$	$r = 0.080$ $p = 0.643$	$r = -0.086$ $p = 0.617$	$r = -0.109$ $p = 0.526$
呼吸防護具內總粉塵金屬濃度	$r = -0.147$ $p = 0.392$	$r = 0.023$ $p = 0.893$	$r = -0.060$ $p = 0.729$	$r = -0.037$ $p = 0.833$	$r = -0.022$ $p = 0.899$	$r = 0.140$ $p = 0.416$

*Pearson correlation , $0.05 < p < 0.10$

第四章 討論

在船體內部進行噴砂作業之勞工，有時會在狹窄空間攀爬穿梭，或須以躺臥翻轉姿勢進行噴砂，常造成呼吸防護具內外之採樣濾紙匣脫落，導致樣本的遺失；另外，由於造船廠噴砂作業勞工，在工作時習慣上會同時佩戴 2 組呼吸防護具（輸氣管呼吸防護具、防粉塵用濾材式口罩），本研究採集呼吸防護具內之空氣樣本時，只能採集到輸氣管呼吸防護具內、防粉塵用濾材式口罩外的位置空氣，而非噴砂作業勞工實際吸入體內的空氣（防粉塵用濾材式口罩內），這些都是本研究現場採樣之限制。

第一節 空氣採樣部分

1. 空氣總粉塵濃度

我國勞工委員會對於厭惡性總粉塵容許暴露濃度為 10 mg/m^3 [11]。平均來看（表 4），造船廠噴砂作業勞工輸氣管面罩內的空氣樣本總粉塵濃度（ 4.6 mg/m^3 ）低於我國職業暴露標準。

但仍有 8%（3/38）輸氣管面罩內的空氣樣本超過我國標準，此可能與勞工個人佩戴呼吸防護具之行爲、噴砂作業姿勢、呼吸防護具破損、輸氣管供氣速率等有關，例如在船體內部作業，勞工有時會以躺臥方式進行噴砂，影響呼吸防護具之防護效能。

由於本研究只有採集輸氣管面罩內的空氣濃度，而非勞工實際呼吸之空氣濃度，如考慮現場勞工的穿戴習慣（在輸氣管面罩內，勞工會再自行佩戴預防粉塵暴露之濾材式呼吸防護具），估計勞工之實際粉塵暴露量會低於我國法規標準，此可由勞工尿液重金屬總鉻濃度低於 ACGIH 建議標準來間接證實（請見討論之生物偵測部分），但仍應注意防護具之使用保養、更新維護、正確穿戴、教育訓練等問題。

2.作業時間不同之總粉塵濃度

本研究的結果顯示，造船廠噴砂作業勞工的職業暴露總粉塵濃度，並不會隨著作業時間的長短差異而有不同（表 5）。此可能與造船廠噴砂室內設有大型通風排氣設備、集塵裝置等因素有關，藉由這些設備的運作，使噴砂室內的粉塵濃度並不會隨著噴砂作業時間的增長，而有明顯的變化；另外，勞工進行噴砂作業的這段時間，輸氣管面罩的防護效果亦無明顯變化，因此，本研究所得之呼吸防護具內、外總粉塵濃度，並不會受到作業時間長短之影響而有差異。

我國粉塵危害預防標準第 24 條規定「雇主使勞工戴用輸氣管面罩之連續作業時間，每次不得超過 1 小時」[12]。本研究調查發現造船廠噴砂作業，作業時間超過 1 小時的比率高達 87%（33/38），可能由於船體之表面積大、結構複雜、空間設備有限、防護具的穿脫不方便等因素，勞工每次的噴砂作業時間，很容易便超過 1 小時，建議相關單位要特別注意並加以改善，以確實保障作業勞工健康。

3.作業區域不同之總粉塵濃度

本研究的結果顯示，噴砂工人在船體內部進行作業時，呼吸防護具外總粉塵濃度平均為 291.7 mg/m³；在船體外部進行作業時，呼吸防護具外總粉塵濃度平均為 33.5 mg/m³（表 6）。由此可知，船體內部進行作業時總粉塵濃度約為船体外部的 9 倍，此可能係由於噴砂室內之大型通風排氣設備、集塵裝置等，其運作效力無法及於船體內部環境之緣故。所幸，船體內部、外部作業勞工之呼吸防護具內總粉塵濃度，並無呈現明顯差異，顯示輸氣管面罩的防護發揮了應有的功效。但是，船體內部作業之環境危害較外部作業嚴重的問題，仍是應該予以正視，如果無法進行環境控制，對於噴砂工人從事船體內部作業時，個人呼吸防護具使用保養、更新維護、正確穿戴、教育訓練等問題，應特別予以加強、確實執行。

4.空氣總粉塵重金屬成分及濃度

空氣粉塵樣本以 ICP/MS 進行 24 種金屬元素分析，結果指出造船廠噴砂勞工，主要暴露之重金屬為鐵、鋅、鋁、錳、銅、總鉻等 6 個項目。平均來看，在作業環境的部分（呼吸防護具外），以鐵的濃度最高(6.61991 mg/m³)、鋅次之(2.90249 mg/m³)；在供氣式防護頭罩內的部分（呼吸防護具內），亦以鐵的濃度最高 0.14917 mg/m³、鋅次之(0.05180 mg/m³)（表 7），就我國現有的職業暴露重金屬之容許濃度標準來看，皆無超出容許暴露標準（與本研究有關之職業暴露重金屬有害物容許濃度標準或建議整理如表 19）。

表19 與本研究有關之職業暴露重金屬有害物容許濃度標準或建議(mg/m³)

重金屬項目	我國容許濃度標準	ACGIH 建議暴露限值
氧化鐵	10（煙煙）	5（可呼吸性）
氧化鋅	5（煙煙）	2（可呼吸性）
鋁金屬及不溶性化合物	-	1（可呼吸性）
錳及其無機化合物（以錳計）	5（高）	0.2
銅，粉塵和霧滴(以銅計)	1	1
鉻金屬(以鉻計)	1	0.5（鉻金屬及其三價化合物）

5.呼吸防護具內、外空氣總粉塵樣本中各重金屬濃度之相關性

本研究的結果顯示，呼吸防護具總粉塵樣本之重金屬組成份，與呼吸防護具外之樣本，無統計上之相關性存在（表 8）。也就是說，呼吸防護具外的空氣中各種重金屬，並不是以等比例移動的方式，被吸入呼吸防護具內；換句話說，造船廠噴砂作業工人使用之供氣式呼吸防護具，在噴砂作業的條件下，對於各種重金屬的防護效能是不一致的。造成這種結果的原因，推測可能是砂材與工件經過不同距離、不同角度撞擊破碎後，產生粒徑大小不一的非均化粉塵，因此，進入各作業勞工呼吸防護具內的重金屬濃度與呼吸防護具外的重金

屬濃度無關。

6. 輸氣管面罩之呼吸防護具防護效能

本研究的結果顯示，造船廠噴砂作業勞工之輸氣管面罩對於總粉塵之防護係數中位數為 51.8、去除率中位數為 97.5%（表 9），具有不錯的防護效果。美國國家職業安全衛生研究所（NIOSH）對於常流量寬鬆面體之輸氣管面罩指定防護係數為 25[13]，造船廠噴砂作業勞工使用輸氣管面罩時，大部分符合此標準，但仍有少部分低於此標準。

第二節 生物偵測部分

1. 噴砂工人尿液重金屬濃度

本研究的結果顯示，造船噴砂工人尿中鐵、鋅、鋁、錳、銅、總鉻濃度平均值，分別為 699.7、546.9、43.1、4.2、2.5、3.0 $\mu\text{g/g cr.}$ （表 10）。由於我國並無訂定相關之職場生物指標容許濃度，因此，無從判斷造船廠噴砂工人職業暴露重金屬至體內量之多寡。

參考美國 ACGIH 之生物偵測建議指標資訊[10]，目前該單位對於鐵、鋅、鋁、錳、銅等重金屬之生物指標尚未有建議值，但尿中總鉻的部分，則是建議了 1 星期最後 1 天工作後（End of shift at end of workweek）及每工作班的增加量（Increase during shift）2 種標準，建議濃度分別為 25 $\mu\text{g/L}$ 及 10 $\mu\text{g/L}$ （如表 20）。本研依據此標準計算了造船廠噴砂工人尿中總鉻之平均濃度（如表 21 及表 22），結果顯示，造船廠噴砂工人 1 星期最後 1 天工作後及每工作班的增加量，尿中總鉻濃度皆無超過建議值。

表20 與本研究有關之職業暴露重金屬有害物生物偵測建議指標

重金屬項目	ACGIH 建議指標
鐵	—
鋅	—
鋁	—
錳	—
銅	—
鉻(VI)，水溶性煙煙 尿中總鉻 1 星期最後 1 天工作後(End of shift at end of workweek) 每工作班的增加量(Increase during shift)	25 µg/L 10 µg/L

表21 噴砂工人 1 星期最後 1 天工作後尿中總鉻濃度 (µg/L)

	樣本數	工作後
總鉻	10	0.17 ± 0.01 ^a

^aMean ± S.E

表22 噴砂工人每工作班增加之尿中總鉻濃度 (µg/L)

總鉻	樣本數	工作前	工作後	工作後-工作前	p 值 ^b
第一日	15	2.98 ± 0.92 ^a	1.35 ± 0.70	-1.63±1.37	0.254
第二日	12	0.67 ± 0.61	1.91 ± 1.27	1.24±1.48	0.419
第三日	14	8.11 ± 0.35	10.2 ± 3.43	2.11 ± 3.48	0.556
第四日	10	1.55 ± 0.99	0.07±0.01	-1.48±1.00	0.171
合計	51	2.56± 0.55	3.66 ± 1.14	-0.10±1.11	0.928

^aMean ± S.E

^bPaired t-test

2.工作前、後尿液重金屬濃度變化

本研究的結果顯示，造船廠噴砂工人工作前、後尿中重金屬濃度，並無統

計上明顯的差異（表 11 至表 15），表示噴砂工人工作前、後尿中重金屬濃度並無明顯改變，此可能與輸氣管呼吸防護具的高防護效果有關。有些重金屬項目工作前尿中濃度比工作後尿中濃度高，可能與個人特質（如抽煙、喝酒、飲食、工作後洗手等習慣）、尿中重金屬的累積效應及半衰期等因素有關。

3.尿液樣本中各重金屬濃度之相關性

本研究的結果顯示，造船廠噴砂工人工作前之尿中重金屬，相關性強的項目有：錳與鋅($r=-0.340$)、總鉻與鋅($r=-0.404$)、總鉻與鋁($r=-0.362$)、總鉻與錳($r=0.932$)（表 16）；工作後之尿中重金屬，相關性強的項目有：鋅與鐵($r=0.318$)、鋁與鐵($r=0.317$)、鋁與鋅($r=0.450$)、銅與錳($r=0.349$)、總鉻與鋅($r=-0.304$)、總鉻與錳($r=0.728$)、總鉻與銅($r=0.333$)（表 17）。

可以發現，造船廠噴砂工人工作前尿中重金屬相關之項目與工作後尿中重金屬相關之項目不是很相同，也就是說，造船廠噴砂工人工作前、後尿中重金屬項目之組成不同，噴砂工人完成 1 個工作班後，空氣中重金屬成分並不是依比例地反應在尿中重金屬濃度上，而工作之餘時間的代謝，也不是依尿中重金屬濃度之比例進行。另外，本研究的結果也可以發現，造船廠噴砂工人尿中重金屬相關的項目，明顯比空氣中重金屬相關的項目少。這些差異可能與個人特質（如抽煙、喝酒、飲食、工作後洗手等習慣）、空氣中粉塵粒徑分布及其成分組成、2 組呼吸防護具的效能（造船廠噴砂工人習慣使用輸氣管呼吸防護具及防粉塵用濾材式口罩 2 種呼吸防護具）有關。

第三節 空氣採樣濃度與生物偵測結果之相關性

在調查重金屬暴露時，常利用生物偵測方式，測量血中重金屬濃度作為評估的指標。然而，血液檢體屬於侵入性的方式，取樣較為不易，本研究收集工

人連續工作 4 日之尿液，觀察工作前後尿液重金屬濃度，嘗試以尿液樣本作爲暴露重金屬之生物檢體。

造船廠噴砂工人工作後尿中重金屬濃度，與呼吸防護具內、外空氣樣本重金屬濃度之相關性分析，結果顯示尿中鐵濃度與呼吸防護具外總粉塵鐵濃度呈現低度的邊緣性相關($r=0.302$; $p=0.073$)，其它重金屬則無相關性；呼吸防護具內粉塵樣本重金屬濃度則與尿中重金屬濃度無相關性（表 18）。此可能與造船廠噴砂工人的作業習慣有關，因造船廠噴砂室中粉塵濃度高，作業者除了在頭部外面佩戴廠方提供之輸氣管呼吸防護具外，還會在內部自行佩戴 1 組防粉塵用濾材式口罩，而本研究在呼吸防護具內採樣的部位，是在輸氣管呼吸防護具內、防粉塵用濾材式口罩外的位置，此部分空氣與勞工實際的吸入氣體組成有異，因此，造成本研究空氣樣本與尿液樣本重金屬濃度的低相關結果。另外，根據現場觀察，工人噴砂後，身體表面會沾附粉塵，常不洗手直接飲食，重金屬也有可能經此途徑進入人體。

第五章 建議

1. 確實執行勞工呼吸防護具使用之教育訓練：造船廠噴砂作業之進行，無可避免地是需要使用到呼吸防護具，如僅使用法規規定的輸氣管面罩呼吸防護具，仍有 8% (3/38) 的人可能吸入高於總粉塵法規標準的空氣。因此，對於造船廠噴砂作業尤其需注意呼吸防護具之使用保養、更新維護、正確穿戴、教育訓練等問題。所幸，此作業勞工習慣上在輸氣管面罩內，會另行佩戴防粉塵之濾材式呼吸防護具，使勞工的有害物暴露濃度降低。
2. 廠方應修正管理模式，使噴砂作業勞工使用輸氣管面罩時間縮短：造船廠噴砂作業由於船體之表面積大、結構複雜、空間設備有限、防護具的穿脫不方便等因素，現場勞工每次工作時間除了補噴作業之外，皆超過使用輸氣管面罩之連續作業時間，每次不得超過 1 小時的法規標準，建議相關單位要特別注意並加以改善，以確實保障作業勞工健康。
3. 強化船體內部作業之噴砂勞工防護：由本研究的結果可知，船體內部進行作業時總粉塵濃度約為船体外部的 9 倍，所以在船體內部進行噴砂作業之危險性更高，個人呼吸防護具使用保養、更新維護、正確穿戴、教育訓練等問題，更應特別予以加強、確實執行。

誌謝

本研究計畫參與人員除本所分析檢驗組鄭副研究員淑芳、義守大學健康管理學系張助理教授富貴外，另包括本所分析檢驗組王助理研究員守堅、李助理研究員世詮、義守大學健康管理學系鄧依涵等人，謹此敬表謝忱。

參考文獻

- [1]William AB. Recognition of health hazards in industry. Second edition. John Wiley & Sons, INC.
- [2]Conroy LM, Lindsay RM, Sullivan PM. Lead, chromium, and cadmium emission factors during abrasive blasting operations by bridge painters. *Am Ind Hyg Assoc J* 1995; 56(3): 266-71.
- [3]Conroy LM, Menezes-Lindsay RM, Sullivan PM, Cali S, Forst L. Lead, chromium, and cadmium exposure during abrasive blasting. *Arch Environ Health* 1996; 51(2): 95-9.
- [4]Balmes J, Becklake M, Blanc P, Henneberger P, Kreiss K, Mapp C, Milton D, Schwartz D, Toren K, Viegi G. Environmental and Occupational Health Assembly, American Thoracic Society. American Thoracic Society Statement: Occupational contribution to the burden of airway disease. *Am J Respir Crit Care Med* 2003; 167(5): 787-97.
- [5]Churg A. The uptake of mineral particles by pulmonary epithelial cells. *Am J Respir Crit Care Med* 1996; 154(4 Pt 1): 1124-40.
- [6]Oxman AD, Muir DC, Shannon HS, Stock SR, Hnizdo E, Lange HJ. Occupational dust exposure and chronic obstructive pulmonary disease. A systematic overview of the evidence. *Am Rev Respir Dis* 1993; 148(1): 38-48.
- [7]行政院勞工委員會：勞工作業環境空氣中有害物標準分析方法建議方法通則篇，1995 年 12 月。
- [8]謝俊明：粉塵中重金屬分析方法改進－超音波萃取技術研究。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所研究報告，2003 年 12 月。
- [9]Tausky HH. A micro-colorimetric determination of creatine in urine by the Jaffet's reaction. *J Biol Chem* 1954; 208: 853-61.
- [10]American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). 2008 TLVs and BEIs.
- [11]行政院勞工委員會：勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準，2003 年 12 月。
- [12]行政院勞工委員會：粉塵危害預防標準，2003 年 12 月。

[13]Bollinger NJ, Schutz RH. Niosh guide to industrial respiratory protection. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (niosh) Publication No. 87-116. 1987

造船廠噴砂作業勞工重金屬有害物暴露調查研究

著（編、譯）者：鄭淑芳、張富貴

出版機關：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

221 台北縣汐止市橫科路 407 巷 99 號

電話：02-26607600 <http://www.iosh.gov.tw/>

出版年月：中華民國 98 年 3 月

版（刷）次：初版 1 刷

定價：100 元

展售處：

五南文化廣場

台中市中區中山路 6 號

電話：04-22260330

國家書店松江門市

台北市松江路 209 號 1 樓

電話：02-25180207

- 本書同時登載於本所網站之「出版中心」，網址為 <http://www.iosh.gov.tw/>。
- 本所保留所有權利。欲利用本書全部或部分內容者，須徵求行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所同意或書面授權。

【版權所有，翻印必究】

GPN: 1009800573