

綜論

噴漆作業場所之勞工有害金屬危害暴露調查— 以某通風設備製造廠為例

賴嘉祥¹ 陳志勇² 楊崑苑² 顏廷羽¹

¹ 中臺科技大學環境與安全衛生工程系

² 勞動部勞動及職業安全衛生研究所

摘要

為了提升國人居住健康，目前已有多家塗料業者將其塗料產品進行綠建材標章之認證申請，但多數勞工所使用之產品表面噴漆屬溶劑型塗料，不易申請綠建材標章，且塗料因不同顏色所添加之顏料金屬成分含量與濃度無法可供管制，其有害金屬可能對勞工產生健康影響，故調查噴漆塗料中之有害金屬特徵濃度極為重要。

本研究選定某通風設備廠之金屬產品表面噴漆作業場所進行調查，其使用噴漆塗料以防鏽漆及面漆為主。作業環境測定利用個人採樣泵連接纖維素酯濾紙進行噴漆作業勞工之金屬暴露採樣，再以ICP/AES進行金屬定性與定量分析。勞工暴露之平均鉛濃度為 $0.298 \pm 0.154 \text{ mg/m}^3$ 超過八小時日時量平均容許濃度 0.05 mg/m^3 (PEL-TWA)，且勞工短時間之可呼吸性粉塵中鉛濃度為 $0.362 \pm 0.297 \text{ mg/m}^3$ ，亦超過鉛之短時間時量平均容許濃度 0.15 mg/m^3 (PEL-STEL)。鉛於胸腔性粉塵中濃度佔總粉塵之濃度約57.04%，而鉛於可呼吸性粉塵中的含量與總粉塵之含量之比值約16.37%，顯示約有57.04%之塗料粉塵的鉛可能會進入人體呼吸道。世界衛生組織之國際癌症研究機構(IARC)已將鉛列為疑似對人類致癌(IARC: group 2B)，動物實驗已被證實且指出鉛暴露對公鼠精子發育和移動是有抑制作用，雖人體實驗還未確定，但勞工在使用防鏽漆相關產品時應注意其防護。

關鍵字：塗料、噴漆、有害金屬、危害暴露

民國 104 年 11 月 10 日投稿，民國 105 年 2 月 2 日修改，民國 105 年 3 月 31 日接受。

通訊作者：賴嘉祥，中臺科技大學環境與安全衛生工程系，40601台中市北屯區廬子路666號，

電子郵件信箱：chlai2@ctust.edu.tw。

緒言

使用塗料之勞工是以房屋裝修、產品表面噴漆作業（例：家俱、金屬表面等）或汽車鍍金等作業，雖涉及之勞工行業不同，但作業環境空氣中主要的危害暴露都是塗料使用過程中的氣態與粒狀化學品。為了提升國人居住健康，目前已有多家塗料業者將其塗料產品進行綠建材標章之認證申請，但多數勞工所使用之產品表面噴漆屬溶劑型塗料，不易申請綠建材標章，且塗料因不同顏色所添加之顏料金屬成分含量與濃度較無法管制，而金屬鹽類添加的目的是在讓顏料有較高的遮蓋力、著色力、耐候性與耐熱性，過去皆已廣泛應用於油墨及塗料等產品。表1為經濟部統計處之工業產銷存動態調查資料顯示，民國99~103年塗料（含：溶劑型、水性、粉體及其他）與顏料（含：有機、無機及調製）之平均年產量為429,303公噸／年與99,942公噸／年，內、外銷量分別佔66.6%及45.8%[1]，表示塗料產品在國內需求量頗高，且參考塗料之應用資料可知[2]，工業塗料佔39%為最大應用，其次分別為建築塗料與特殊塗料之38.7%及22.3%。因此，除了製程勞工為重金屬暴露群外，使用者之健康暴露亦值得注意。

表1 經濟部統計處之工業產銷存動態調查之顏料與塗料之生產量資料

項目別	生產量		內銷量		直接外銷量	
	顏料 (公噸)	塗料 (公噸)	顏料 (公噸)	塗料 (公噸)	顏料 (公噸)	塗料 (公噸)
99年	109,810	430,389	48,728	285,018	60,087	126,985
100年	101,790	424,763	44,191	287,338	56,831	123,014
101年	97,649	410,512	43,473	279,493	53,807	121,477
102年	94,762	436,394	44,925	286,404	53,268	132,143
103年	95,698	444,459	47,516	290,671	51,564	132,635
年平均	99,942	429,303	45,767	285,785	55,111	127,251

資料來源:[1]

參考過去相關塗料或顏料衍生產品之重金

屬研究可知，因塗料用途不同及等級不同，其所添加之重金屬鹽類不同，例如：鉻酸鉍、鉻酸鋅及鉻酸鋇等三種主要之鉻酸鹽塗料，其中以鉻酸鋅之使用量較多，鉻酸鉍是使用在水性塗料、鉻酸鋇是使用在油性塗料[3]，在英國之建築物中的剝落油漆已檢測出鉻[4]，且塗料中仍有其他可能存在銅、鉛及鋅等重金屬[5-6]。參考國際癌症研究署(International Agency for Research on Cancer, IARC)之危害性分類可知，鉛已列為疑似對人類致癌(IARC: group 2B)，動物實驗已被證實且指出鉛暴露對小鼠精子發育和移動是有抑制作用[7,8]，但人體實驗還未確定。鎳(Ni)列為疑似對人類致癌(IARC: group 2B)，可能導致肺癌與鼻腔癌。鎘(Cd)、砷(As)已被IARC列為確定人體致癌(Group 1)，Cd危害可能導致人類之肺癌及前列腺癌，As危害可能導致人類之肺癌。在勞工暴露方面，國外學者針對400位製漆工廠之勞工中隨機挑選50為勞工之尿液中分析出平均鉛濃度為240μg/l高於非工廠勞工之110μg/l，而勞工之尿液平均鉻濃度為200μg/l亦高於非勞工之6μg/l[9]。亦有研究探討塗料製造廠之勞工頭髮與健康之人員頭髮樣本進行重金屬成分分析，在製程勞工之頭髮中鉛、錳濃度明顯高於健康組人員且達統計顯著差異[10]。因此，塗料使用勞工因噴漆及研磨油漆表面時，所產生之粉塵中之重金屬會隨勞工之呼吸系統進入體內，而因長期作業導致重金屬累積而影響健康，但近期較少研究針對塗料使用之勞工進行有害金屬暴露危害調查，其可供參考資料有限。

有鑑於此，本研究藉由某通風設備廠噴漆作業為例，進行勞工之有害金屬之特徵濃度分析，以建立本國噴漆作業勞工之危害暴露基本資料，供後續之勞工職業病鑑定或勞工暴露危害預防策略擬定之參考。

研究方法

1. 研究地點與採樣規劃

本研究以台灣某通風設備廠之金屬產品表面防鏽與面漆之噴漆作業場所之勞工為調查對象，針對噴漆作業勞工可能暴露之危害物重金屬進行環境測定，勞工個人採樣分總粉塵與可呼吸性粉塵，採樣時間為6小時（各採集3組樣品）、勞工個人短時間暴露採樣時間為15分鐘（共採集3組樣品）。多層衝擊板且多用途之氣懸膠採樣器則設置約離於噴漆作業區域2公尺，採樣口高度約1.5公尺，其採樣時間為6小時（每階層各採集2組樣品）。本研究共分析33組樣本。

2. 實驗方法

採樣方法為可呼吸性粉塵參考勞動部勞動及職業安全衛生研究所公告之CLA4001建議方法，總粉塵測定則採用勞動部公告CLA4002建議方法，而金屬元素分析方法則參考CLA3011建議方法，其中「鉻」元素分析則參考美國國家職業安全衛生研究所(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)公告之NIOSH Method 7300，且我國之CLA3011方法亦是參考NIOSH Method 7300建立而成。此外，本研究為了解塗料中金屬之粒徑分佈，利用美國MSP Corporation所販售之多層衝擊板且多用途之氣懸膠採樣器(Micro-orifice Uniform Deposit Impactor, MOUDI™)。本研究所使用之型號為Moudi Model-110（11階），在設計流量30 l/min之操作下，所採集粒狀物之粒徑(cut points diameter)為> 18 μ m、10 μ m、5.6 μ m、3.2 μ m、1.8 μ m、1.0 μ m、0.56 μ m、0.32 μ m、

0.18 μ m、0.1 μ m及0.056 μ m。有關勞工健康之粉塵粒徑定義為胸腔性粉塵(Thoracic particles, PM aerodynamic diameter<10 μ m)，其可進入人體喉部下方的肺部，而可呼吸性粉塵(respirable particles)為50%切割粒徑(cut-size)為4 μ m，其顆粒可沉積在肺中的非纖毛氣體交換區域[11]。此外，超細顆粒粉塵(Ultrafine particles, UFPs)則為粒徑<0.1 μ m。

採樣介質為使用纖維素酯濾紙(SKC, Low BGD, w/Support Pad, 0.8 μ m, 37mm)，採樣之濾紙經微波消化後，再以感應耦合電漿原子發射光譜分析儀(Inductively Coupled Plasma with Atomic Emission Spectroscopy, ICP-AES)進行重金屬之定性與定量分析。微波消化試條件為微波消化設定功率1,200W(溫度設定200 $^{\circ}$ C；升溫時間6.5min)→溫度200 $^{\circ}$ C(持續10min)→冷卻(20min)。待消化液冷卻後，將溶液倒入25ml定量瓶，加入稀釋酸溶液定量至25ml。感應耦合電漿源子發射光譜儀(ICP/AES)型號為HORIBA Jobin Yvon ULTIMA 2000；清洗樣品管線時間為10秒（用5%MERCK硝酸）；樣品輸送時間為30sec，穩定時間3sec；氬氣壓力設定為：7kg/cm²。

3. 濃度及方法偵測極限(Method Detection Limit, MDL)計算方法

(1)金屬元素暴露濃度計算

$$C = \frac{(C_s V_s - C_b V_b)}{V}$$

其中：

C：空氣中有害物濃度(mg/m³)；V：採集氣體體積(m³)；C_s：樣本濃度(mg/l)；C_b：平均介質空白樣本濃度(mg/l)；V_s：樣本溶液體積(l)；V_b：介質空白樣本溶液體積(l)

(2)方法偵測極限(Method Detection Limit, MDL)

- A. 準備稀釋用酸，稀釋用酸中不得有待測物或干擾物之干擾（即待測物或干擾物之濃度應低於MDL）。
- B. 於稀釋用酸中添加待測物配製成7個待測樣品，使其濃度為預估MDL之1至5倍。
- C. 分析7個待測樣品（分析步驟與檢測方法中待測物之分析步驟完全一樣），並將測得之結果依檢測方法規定之計算方法求得濃度。
- D. 如下計算7次測定值之標準偏差(Standard Deviation, SD)：

$$SD = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / n - 1}$$

其中： X_i = 待測樣品之個別測定值； \bar{X} = 待測樣品測定值之平均值
 n = 測定次數（7次）；計算方法偵測極限：MDL=3×SD

結果與討論

1. 噴漆作業現場環境現況分析

本研究於台灣某通風設備廠噴漆作業場所進行採樣，作業環境測定時間為6小時，噴漆作業為通風設備廠之物件進行表面噴漆及防銹漆之噴漆作業（圖1）。本研究之勞工使用之防鏽漆為工程用紅丹漆，而面漆使用鮮麗漆，其塗料稀釋劑為甲苯，而甲苯與塗料之稀釋比例為2：1，其中甲苯為非高純度之溶劑，其雜質在本研究中並未分析及討論其影響。勞工進行噴漆作業時間為09:00－16:00（約6小時），但勞工噴漆作業為非連續作業，主要因勞工噴漆過程中須將噴漆後之設備歸位，並以起重機

吊掛欲噴漆之設備進入噴漆區及噴漆作業期間之勞工短暫休息時間等因素，而中斷噴漆作業。現場為一半開方式空間，長為8.673m、寬8.749m、高4.886m，作業時有使用2台電風扇（圖2），噴漆區域後面有設置兩座抽氣式水廉循環機，屬自然通風加機械通風。本研究基於勞工健康考量，以常態之作業樣態進行檢測，無考量通風設備對噴漆作業粒徑之影響。



圖1 通風設備產品之防鏽噴漆作業現況

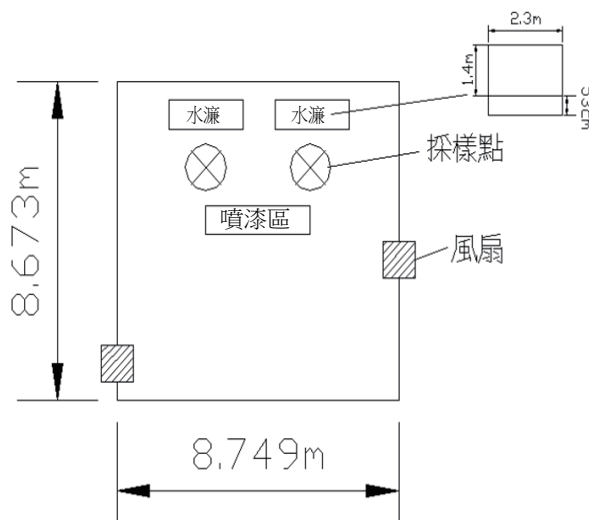


圖2 噴漆作業場所之平面圖

2. 噴漆作業場所之塗料粉塵中重金屬濃度分析

表2為噴漆作業採樣之總粉塵中金屬元素

濃度以鐵濃度 $121.09 \pm 14.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 最高，其次為鉛、鋁及鉻濃度分別為 $98.81 \pm 12.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $20.85 \pm 3.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 與 $5.73 \pm 0.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，且其中鉛之濃度 $98.81 \pm 12.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 已超過容許濃度 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 標準。而可呼吸性粉塵中亦是鐵濃度較高約 $2.83 \pm 0.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其次為鉛與鋅濃度分別為 $5.77 \pm 0.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 與 $1.97 \pm 0.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。參考本研究使用之塗料安全資料表可知，其中防鏽漆（紅丹漆）產品主要使用黃色顏料(ZnCrO_4)與防鏽顏料（混和 Pb_3O_4 與 Fe_2O_3 ）等原料調製而成，而面漆主要使用粉狀之白色顏料($\text{Al}(\text{OH})_3$)、二氧化矽(SiO_2)及二氧化鈦(TiO_2)。因此，高濃度之鉛、鋅及鉻主要與防鏽漆原料有關，而鋁濃度主要與面漆原料有關。相關研究指出鋅被應用於面漆及防腐蝕漆之金屬顏料中，且台灣過去研究亦指出防鏽漆中含有紅丹顏料(Pb_3O_4) [12]及乾燥劑(lead Naphthalate and manganese Naphthalate)[10]。

此外，本研究亦針對噴漆作業勞工之短時間暴露金屬濃度進行分析。表3為通風設備廠之物件防鏽與面漆噴漆作業之勞工個人短時間暴露金屬濃度分析，樣本採樣15分鐘，幫浦流量設定 $1.709 \text{ l}/\text{min}$ 。作業環境之勞工短時間暴露濃度最高為鐵濃度為 $477.51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其次為鉛與鋁濃度分別為 $225.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 及 $76.93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，而其中鉛濃度已經超過我國之短時間時量平均容許濃度(PEL-STEL)，值得勞工注意。

表2 通風設備廠之物件防鏽與面漆噴漆作業之粉塵中金屬元素暴露濃度

金屬元素	總粉塵	可呼吸性粉塵	容許濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	平均數±標準差($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	平均數±標準差($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
Al	20.85±3.56	1.10±0.51	—
Co	0.83±0.09	0.20±0.04	50
Cr	5.73±0.61	0.62±0.09	1,000
Cu	0.27±0.03	0.12±0.05	1,000
Fe	121.09±14.66	16.41±3.93	10,000
Mn	2.84±0.77	1.13±0.35	5,000(高)
Mo	2.17±0.27	0.81±0.21	5,000
Ni	0.64±0.12	0.60±0.16	1,000
Pb	98.81±12.40	5.77±0.49	50
Zn	5.68±0.91	1.97±0.40	5,000(ZnO)
Ti	1.72±0.06	0.8±0.04	—
Cd	ND	ND	50 (瘤)
As	ND	ND	10 (瘤)

註：“—”表示無資料；ND:表示低於偵測極限。

表3 通風設備廠之物件防鏽與面漆噴漆作業之勞工個人短時暴露重金屬濃度

金屬元素	空氣中金屬濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	容許濃度[1]($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Al	76.93	—
Co	0.70	150
Cr	13.69	2,000
Cu	ND	2,000
Fe	477.51	15,000
Mn	1.87	10,000
Mo	7.27	10,000
Ni	ND	2,000
Pb	225.32	150
Zn	12.94	10,000
Ti	ND	—
Cd	ND	150
As	ND	30

註：[1]我國之短時間時量平均容許濃度(PEL-STEL)；“—”表示無資料；ND:表示低於偵測極限。

3. 塗料粉塵中金屬濃度之粒徑分析

表4為噴漆作業之塗料粉塵粒徑中所含之金屬濃度，其中所有粉塵粒徑之總濃度中仍以鉛與鐵的濃度最高，分別為63.34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 與40.44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，而鉛濃度亦超過容許濃度(PEL-TWA)。由於防鏽漆（紅丹漆）含鉛量較高，除了粒徑 $>18\mu\text{m}$ 外，其塗料粉塵中的鉛含量於空氣中之粒徑分佈為 $\text{Dp}=5.6-10\mu\text{m}$ 之11.34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 最高，其次為 $\text{Dp}=10-18\mu\text{m}$ 之9.70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。而探討與勞工呼吸暴露相關之粒徑分析可知，胸腔性粉塵中以鉛濃度反而為最高(28.18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)，其次為鐵濃度。在可呼吸性粉塵中，仍以鐵濃度最高，鉛濃度次之，但在超細顆粒粉塵(Ultrafine particles, UFPs)中則以鐵濃度最高，鋅濃度次之。綜合上述，噴漆塗料中之金屬濃度之粒徑分佈可能受塗料製造原料及噴漆工具等影響，故未來相關研究可進一步探討其金屬分佈差異。

表4 通風設備廠噴漆作業之噴漆塗料中粉塵不同粒徑中金屬濃度之分佈

單位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$

粒徑 $\text{Dp}(\mu\text{m})$	Al	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
>18	0.84	0.17	0.90	0.01	8.98	0.09	0.23	0.01	25.47	0.28
10-18	0.32	0.07	0.37	ND	5.90	0.04	0.08	0.01	9.70	0.10
5.6-10	0.50	0.08	0.37	0.01	5.86	0.05	0.06	0.01	11.34	0.18
3.2-5.6	0.50	0.10	0.46	ND	5.03	0.03	0.10	0.03	9.10	0.12
1.8-3.2	0.17	0.22	0.30	ND	3.06	0.02	0.08	0.03	2.84	0.11
1.0-1.8	0.07	0.04	0.27	ND	3.80	0.02	0.07	0.01	2.70	0.09
0.56-1.0	0.08	0.01	0.12	0.01	1.71	0.03	0.03	0.05	0.88	0.07
0.32-0.56	0.17	0.03	0.09	ND	2.42	0.03	0.03	0.01	1.19	0.11
0.18-0.32	0.01	0.01	0.01	0.00	0.71	0.07	0.01	0.01	0.08	0.10
0.1-0.18	0.02	0.01	0.01	ND	0.78	0.09	ND	0.02	0.02	0.07
0.056-0.1	0.02	0.01	ND	ND	0.55	0.04	ND	ND	0.01	0.05
<0.056	0.03	0.01	0.01	0.05	1.64	0.09	ND	0.03	0.04	0.13
總和	2.78	0.75	2.91	0.08	40.44	0.59	0.678	0.21	63.34	1.41
胸腔性粉塵	1.57	0.51	1.64	0.07	25.56	0.46	0.38	0.19	28.18	1.02
可呼吸性粉塵	0.57	0.33	0.81	0.06	14.68	0.38	0.22	0.15	7.75	0.72
UFPs	0.05	0.02	0.01	0.05	2.20	0.13	ND	0.03	0.04	0.18

ND:表示低於偵測極限

由圖3之胸腔性粉塵與可呼吸性粉塵中的金屬含量與總粉塵之金屬含量之比值(%)可知，11種金屬元素於胸腔性粉塵中濃度佔總粉塵之濃度約44.48%-89.73%，而可呼吸性粉塵佔總粉塵之濃度約12.23%-77.43%。IARC已將鉛及鎳已列為疑似對人類致癌(IARC: group 2B)，其中因鎳總濃度為0.212 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 遠低於容許濃度1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，對勞工暴露危害較低。但因鉛總濃度為63.344 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超過容許濃度50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，且鉛於胸腔性粉塵中濃度佔總粉塵之濃度約44.48%，而鉛於可呼吸性粉塵中的含量與總粉塵之含量之比值約12.23%，顯示約有44.48%之塗料粉塵的鉛可能會進入人體呼吸道，故勞工應注意噴漆作業之防護具之選用。

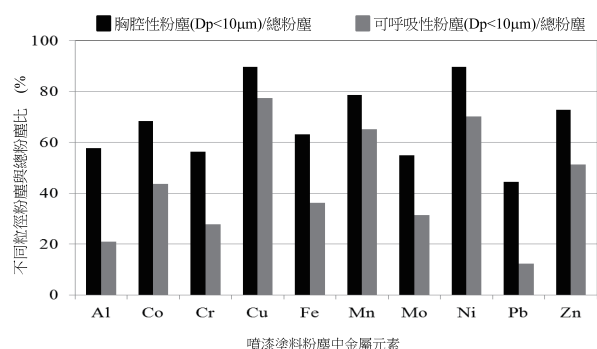


圖3 胸腔性粉塵與可呼吸性粉塵中的金屬含量與總粉塵之金屬含量之比值

4. 不同污染源之超細顆粒中金屬成份特徵比較

由於近期國際研究已開始探討空氣中之超細顆粒及奈米顆粒對人體之危害。超細顆粒及奈米顆粒比大顆粒在相同之質量單位下，具有較高之健康風險，主因是具有較多顆粒數及表面積可以吸附空氣污染物[13-15]。且超細顆粒及奈米顆粒藉由呼吸而進入人體中，可沉積於肺部肺泡，並上皮細胞相互作用[16,17]。肺組織是一種有效的介質，可捕獲和吸收在工作過程中產生的污染物，且血液亦可於人體暴露

後，可於2-24小時內傳輸超細顆粒及奈米顆粒到人體其他器官（例：肝臟）[18]。此外，超微粒子可以通過嗅覺神經被輸送到大腦[13]。

表5為本研究針對噴漆作業場所之超細顆粒中金屬成份特徵與其他污染源進行比較。由本研究可知，鋁、鐵、錳、鉛及鋅等金屬元素於UFPs含量較高。鋼鐵製造業於UFPs中測得Pb、Zn、K與Na等特徵成分[19]，而燃煤火力發電廠中的飛灰中含有Na、K及V[20]。廢棄物之焚化爐UFPs之追蹤金屬為Sb、Cd及Pb[21]。雖不同污染源之金屬元素特徵成分不盡相同，但本研究與金屬作業及焚化爐具有相似之鉛與鋅金屬，此資料未來可應用於空氣中不同污染源之追蹤使用。

表5 不同污染源之超細顆粒中金屬成份特徵比較

工業污染源種類	相關金屬元素	參考文獻
噴漆作業(Spray painting)	Al, Fe, Mn, Pb, Zn	本研究
金屬作業(Metalworking)	Fe, K, Na, Pb, Zn	[19]
電廠 (Power generation)	Ce, Fe, La, Na, K, V	[19,20]
焚化爐 (Incinerators)	Cd, Pb, Sb, Zn	[21]

結論

雖然不同類型之塗料及工業用途會影響噴漆勞工之有害金屬暴露濃度。但一般工業常用防鏽漆（紅丹漆）主要成分仍以黃色顏料（ $ZnCrO_4$ ）與防鏽顏料（混和 Pb_3O_4 與 Fe_2O_3 ）等原料調製而成，其中鉛已被IARC列為疑似對人類致癌(IARC: group 2B)，且鉛長期暴露導致食慾不振、牙齒有鉛沉澱的鉛線、男性生殖性受損等症狀。

由本研究案例可知，不論是總粉塵中的鉛濃度之八小時時量平均濃度與短時間暴露濃度皆已超過我國法規之容許濃度，且鉛於胸腔性粉塵中濃度佔總粉塵之濃度約44.48%，而於可呼吸性粉塵中的含量與總粉塵之含量之比值約

12.23%，顯示約有44.48%之塗料粉塵的鉛可能會經由噴漆勞工之呼吸系統進入人體呼吸道，甚至約有6.5%的含鉛超細顆粒粉塵(UFPs)可能會進入人體肺泡或血液中，而傳輸至其他器官。由於噴漆作業因使用塗料種類、溶劑稀釋比例、通風設備及噴槍型號等因子影響噴漆粒徑分布，此案例之結果可供相關噴漆作業場所參考。因此，本研究建議未來相關噴漆作業場所仍需持續藉由工廠訪視輔導及勞動檢查進行通風設備之改善，以保護勞工健康。

誌謝

本研究承蒙行勞動部勞動及職業安全衛生研究所103年度研究計畫-油漆塗料之製造及使用重金屬危害暴露調查及分析(IOSH-1033044)經費支持，謹此敬表謝忱。

參考文獻

- [1] 經濟部統計處工業產銷存動態調查。產品統計。http://dmz9.moea.gov.tw/gmweb/investigate/InvestigateDA.aspx
- [2] 陳育誠：全球塗料產業及技術現況。工研院 IEK 產業情報網；2010。
- [3] 財團法人工業技術研究院。毒性化學物質重金屬類物種鑑識技術。行政院環境保護署；2006。
- [4] Tuner A, Sogo YSK. Concentrations and bioaccessibilities of metals in exterior urban paints. *Chemosphere* 2012; 86: 614-18.
- [5] Huang SL, Yin CY, Yap SY. Particle size and metals concentrations of dust from a paint manufacturing plant. *Journal of Hazardous Materials* 2010; 174: 839-42.
- [6] Mielke HW, Gonzales C. Mercury (Hg) and lead (Pb) in interior and exterior New Orleans

- house paint films. *Chemosphere* 2008; 72: 882-85.
- [7] Kasperczyk A, Kasperczyk S, Horak S, Ostowska A, Grucka-Mamczar E, Romuk E, et al. Assessment of semen function and lipid peroxidation among lead exposed men. *Toxicology and Applied Pharmacology* 2008; 228: 378-84.
- [8] Wang L, Xun P, Zhao Y, Wang X, Qian L, Chen F. Effects of lead exposure on sperm concentrations and testes weight in male rats: a meta-regression analysis. *Journal of Toxicology Environmental Health. Part A.* 2008; 71: 454-63.
- [9] Awodele O, Popoola TD, Ogbudu BS, Coker HAB, Akintonwa A. Occupational Hazards and Safety Measures of the Paint Factory Workers in Lagos, Nigeria. *Safety and Health at Work* 2014; 5: 106-11.
- [10] Tsai YY, Wang CT, Chang WT, Huang CW. Determination of trace elements in hair specimens of workers in paint factory. *Analytical Sciences* 1997; 13: 447-50.
- [11] ACGIH. American Conference of Governmental Industrial Hygienists: Particle size-selective sampling in the workplace. Report of the ACGIH Technical Committee on Air Sampling Procedures. Cincinnati, OH: ACGIH; 1985.
- [12] Muller B. Zinc pigments and waterborne paint resins. *Pigment & Resin Technology* 2001; 30: 357-62.
- [13] Oberdörster G, Sharp Z, Atudorei V, Elder A, Gelein R, Kreyling W, Cox C. Translocation of inhaled ultrafine particles to the brain. *Inhalation Toxicology* 2004; 6: 437-45.
- [14] Diapouli E, Chaloulakou A, Spyrellis N. Levels of ultrafine particles in different microenvironments-implications to children exposure. *Science of the Total Environment* 2007; 388: 128-36.
- [15] Lai CH, Chuang KY, Chang JW. Characteristics of nano/ultrafine particle-bound PAHs in ambient air at an international airport. *Environmental Science and Pollution Research* 2013; 20: 1772-80.
- [16] Oberdörster G. Pulmonary effects of inhaled ultrafine particles. *International Archives of Occupational Environmental Health* 2001; 74: 1-8.
- [17] Brown JS, Zeman KL, Bennett WD. Ultrafine particle deposition and clearance in the healthy and obstructed lung. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 2002; 166: 1240-47.
- [18] Oberdörster G, Sharp Z, Atudorei V, Elder A, Gelein R, Lunts A, Kreyling W, Cox C. Extrapulmonary translocation of ultrafine carbon particles following whole-body inhalation exposure of rats. *Journal of Toxicology Environmental Health, Part A:* 2002; 65: 1531-43.
- [19] Reinard MS, Adou K, Martini JM, Johnston MV. Source characterization and identification by real-time single particle mass spectrometry. *Atmospheric Environment* 2007; 41: 9397-9409.
- [20] Linak WP, Yoo JI, Wasson SJ, Zhu W, Wendt JOL, Huggins FE, et al. Ultrafine ash aerosols from coal combustion: characterization and health effects. *Proceedings of the Combustion*

Institute 2007; 31: 1929-37.

[21] Tolocka MP, Lake DA, Johnston MV, Wexler AS. Size-resolved fine and ultrafine particle

composition in Baltimore, Maryland. Journal of Geophysical Research Atmospheres 2005; 110: D07S04.

Commentary

Hazard Exposure of Toxic Metals for Workers in Spray-painting Workplaces—Case for an Industrial Ventilation Equipment Manufacture Plant

**Chia-Hsiang Lai¹ Chih-Yong Chen² Tsu-Yuan Yang²
Ting-Yu Yan¹**

¹ Department of Safety Health and Environmental Engineering, Central Taiwan University of Science and Technology

² Institute of Occupational Safety and Health, Council of Labor Affairs, Executive Yuan

Abstract

To improve public health and their living environment, many paint companies have been applying for green building material certification. However, much of the spray-painting products that are commonly used are solvent-based paints, which are much difficult to be certified as green building materials. In addition, the content and concentration of toxic metals in the pigments used in the paint products vary according to product color. Furthermore, workers exposed to inhalable metallic paints emitted by spray-painting processes may experience long-term adverse health effects. Therefore, this study measures concentrations of 13 metallic elements in terms of particle size in the ambient air at a spray-painting workplace in an industrial equipment manufacturing plant.

This study involved the paint-spraying workplace of an industrial ventilation equipment manufacture plant in central Taiwan. The anti-rust paint and finishing coats of solvent-based paints were applied in the workplace by a pneumatic paint brush. The air was sampled for paint dusts by collecting the particulate phase of metals for the workers' exposure using mix cellulose ester filters (MCE) and sampling pumps. Metallic particles were analyzed using an inductively coupled plasma with atomic emission spectroscopy (ICP-AES). The mean concentration of lead (Pb) in the spray-

Accepted 31 March, 2016

Correspondence to: Chia-Hsiang Lai, Department of Safety Health and Environmental Engineering, Central Taiwan University of Science and Technology, No.666, Buzih Rd., Beitun District, Taichung City 4601, Taiwan(R.O.C.), Email address: chlai2@ctust.edu.tw

painting workplace was $0.298 \pm 0.154 \text{ mg/m}^3$, exceeding the 8-h permissible exposure limit (PEL-TWA) of 0.05 mg/m^3 . The mean Pb concentration of respirable dust among the short-term sampling was $0.362 \pm 0.297 \text{ mg/m}^3$, exceeding the short-term exposure limit of 0.15 mg/m^3 for lead.

The mean percentage contributions of Pb content in respirable dusts and thoracic dusts within total dusts were 16.37% and 57.04%, respectively, indicating that a mean of 57.04% of Pb content in thoracic dusts passing into the lung below the larynx as a result of each worker's breathing. The International Agency for Research on Cancer of the World Health Organization has classified lead into Group 2B (possibly carcinogenic to humans). Animal experiments have verified that exposing rats to lead inhibits their semen viability and mobility, although this has not been confirmed in human subject research. However, this study suggested that proper personal protection equipment should be worn by workers in a workplace where solvent-based anti-corrosive paint spraying is performed.

Keywords: Paints, Spray-painting, Toxic metals, Hazard exposure