

宜蘭縣境內礦區粉塵排放特性之探討

吳友平² 張章堂¹ 藍文農¹ 陳永明¹

林晉宏¹ 林俊毅¹ 白信裕¹ 陳宏碩¹

1. 國立宜蘭技術學院環境工程系

2. 國立宜蘭技術學院化學工程科

摘要

本研究是對於宜蘭縣南澳鄉太白山北方武荖坑上游的信大水泥、與台灣水泥公司其主要開採之礦區-太白山礦區進行空氣污染物粒狀物的採樣分析，因裸露礦區主要之污染物為粒狀物，對各測站做總懸浮微粒(TSP)、懸浮微粒(PM10)和微粒粒徑小於 $2.5\mu\text{m}$ (PM2.5)之分析。本研究分別以對季節變化與氣候條件(含日/夜間、濕度、風速)做分析比較，以建立逸散粒狀物排放特性。由本研究所測試的結果與分析比較得知：四季變化對於濃度的影響，其中以夏季之濃度最高，採礦處鄰近地點(距採礦處50公尺)，TSP濃度可達 $711\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，且以秋季之濃度最低僅約 $133\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，另各季節皆呈現越接近採礦區，濃度越高，但四季中以夏季變化較明顯，而秋冬季節因適逢雨季，致使數值變化不明顯。風速對於粒狀物的濃度有很深的影響，風對於裸露礦區產生粉塵揚起，造成粒狀物濃度增加，其中以開採中粒狀物濃度最高。各測點測值呈現較乾燥環境中其粉塵濃度較高大氣中的溼度高，懸浮微粒濃度就越低，於82%溼度所測得TSP濃度較70%環境低10~20%。各陰陽離子與粒徑之關係為， Cl^- 離子主要位於大顆粒上，而 NO_3^- 離子主要位於小微粒上， SO_4^{2-} 離子主要位於 $4.4\sim 11.8\mu\text{m}$ 粒徑之間。而 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 則主要分佈在大顆粒上， NH_4^+ 則分佈較廣，大小顆粒皆易存在。

關鍵詞：逸散性粉塵，裸露礦區，化學組成分析

The Characteristics of Fugitive Dust in Limestone Extraction Area in Ilan

**Yo-Ping Wu² Chang-Tang Chang¹
Wen-Long Lan¹ Yo-Ming Chen¹**

**Jin-Hong Lin¹ Jen-I Lin¹ Sin-Yu
By¹ Hong-Sou Chen¹**

1. Department of Environmental Engineering, National Ilan Institute of Technology

2. Department of Chemical Engineering, National Ilan Institute of Technology

Abstract

The fugitive dust emission from limestone extraction processes is one of the most important pollution source in Taiwan, especially in Ilan county. In limestone extraction processes, it is easy to cause high TSP concentration, sometimes exceeding the national emission standard of Taiwan. Therefore, it is important to study the dust concentration and the size distribution in limestone extraction areas. The tests were executed in TaiPei Mountain in Ilan county. In this study, we measure the TSP, PM₁₀, PM_{2.5} and the composition in particels. Some variations, including seasons, day/night, climate, positions, were analyzed to understand the fugitive emission characteristics. The test results show that the highest hourly TSP and PM₁₀ are 711 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ at 50 m away from the extraction area. Whereas, the lowest concentration 133 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ exists in fall. The most important factor of climate is wind speed which influences the concentration distribution deeply. The emission pattern also depends on the type of limestone transportation. The particle concentration in conventional transportation area is much higher than in vertical transportation area. Additionally, the concentration in operation period is about three times of that in rest period. The chemical composition test results show that most of the Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} exist in large particles. The particle diameter ranges from 4.4 to 11.8 μm . Whereas, the NO_3^- locates in small particles. Furthermore, the NH_4^+ is adhesive to both large and small particles.

Key Words: Fugitive dust, limestone area , chemical composition

一、前言

依據行政院環境保護署統計(1)，民國84年空氣污染物總懸浮微粒自然成長之總排放量為1,226,165公噸，控制後之排放量為706,652公噸，若以控制後排放量為基準，以固定污染源約佔92.8%，移動污染源僅佔7.2%，其中逸散性塵粒污染約佔固定污染源排放總量之20%，可見逸散性塵粒污染之嚴重性。逸散污染源以營建工地與裸露礦區所排放粒狀物的量較大，水泥業在國內經濟發展佔了相當重要的地位，尤其是一些重大的工程，由於採礦會影響當地的自然生態，所以對於國內水泥業礦區之影響預測與分析工作需有完整而詳實的環境資料。為了解逸散粉塵的排放特性之變化，本研究之主要目的乃先建立礦區地表特性、大氣條件、開礦操作方式等基本資料，再藉TSP、PM-10與逸散粒狀物粒徑採樣、量測與分析，以建立逸散粒狀物排放特性，對於採礦作業粒狀物排放特性之影響，另藉量測技術推估粉塵逸散量，以作為污染控制的依據。

二、採樣與方法

宜蘭縣內有四家規模較大之礦場：台泥、力霸、幸福與信大，本研究對四大礦場進行現場環境分析，如表1綜合評估結果選定信大水泥公司之礦場作為主要監測地點，因信大礦區作業面積大，裸露面積大與面臨蘭陽平原。

本研究監測站設置原則，為瞭解裸露礦區作業程序對環境影響，針對污染源的遠近，以TSP(總懸浮微粒濃度)、PM10(懸浮微粒粒徑小於 $10\mu\text{m}$)、PM2.5(懸浮微粒粒徑小於 $2.5\mu\text{m}$)濃度作為指標，並分析其代表性組成之陰陽離子，判斷其污染來源所監測進行之地點位於為宜蘭縣境內南澳鄉東岳村太白山上信大礦區，依水泥礦區作業特性(2,3,4,5,6)，規劃當地粉塵之採樣作業說明如下：

1. 監測站

(1)信大第三礦區：位於太白山礦區西北方13公里處，為一未開發之山區，保有自然景觀並且附近無任何污染源，信大水泥公司計畫開採第三礦區，此點測值可做為背景資料之參考。

(2)信大採礦區監測地點：以太白山實際作業礦區為主，其海拔高度約八百多公尺，依其階段開採作業之平台層數不同，每層高度約十五公尺，因此所監測之地點分別為：距採礦處下二層500公尺、距採礦處上一層70公尺、距採礦處下一層150公尺、距採礦處上一層50公尺、距採礦處上一層70公尺、距採礦處65公尺、距豎井處60公尺，如圖1所示。

(3)信大礦區事務所：位於採礦區山下約一百多公尺處，其海拔高度約七百公尺，為運礦索道之起點，武荖溪之源頭，位於山坳處。

(4)檢查站：約位於信大礦區事務所與玉皇宮中間，在武荖溪中游河床旁。

(5)玉皇宮：位於武荖溪下游武荖坑風景區旁，已屬平地，附近有些許住家。

2. 頻率：各項目在每一站監測 2~3 次，分有二個時段。
3. 時段：工作時間內及非工作時間內各作 2~3 次。
4. 方式：首先研究人員於當日早晨至信大採礦區及各測站架設各種監測儀器，放置濾紙開始監測，監測結束時再經由研究人員妥善密封保存，收回當日及前一晚監測後之濾紙至實驗室由專業人員分析之。(9, 10, 11, 12, 13)
5. 項目：如 TSP(總懸浮微粒)、PM10(懸浮微粒粒徑小於 $10\mu\text{m}$)、PM2.5(懸浮微粒粒徑小於 $2.5\mu\text{m}$)、等速粉塵採樣器、moudith 粒徑分析儀及各微粒之化學組成分析，本研究乃依環保署已進行十年酸雨監測之懸浮微粒萃取方法，進行所採集粉塵之無機物萃取分析，並於萃取過程利用超純水於超音波下進行初步萃取，再利用稀濃度醋酸進行第二次萃取，利用 IC 分析儀與 AA 分析儀，進行三種陰離子(Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-})與五種陽離子(Na^+ 、 K^+ 、 NH_4^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+})成份分析。(14, 15, 16)

表 1. 各礦區特性之比較

礦區 項目	信大	台泥	力霸
位置	太白山	太白山 2 處、西帽山 2 處	
開採面積	約 6 公頃不計未開採及留存殘壁	太白山 4.5 公頃，西帽山 2.5 公頃	約 4 公頃
日產量	5,000 T/日	8,000 T/日	3,000 T/日
海拔高度	約 900 公尺	太白山 850 公尺，西帽山約 350、400 公尺	約 1200 公尺
粉塵逸散防制措施	綠化、植被、灑水、碎石	綠化、植被、噴固化劑	綠化、植被、擋石牆

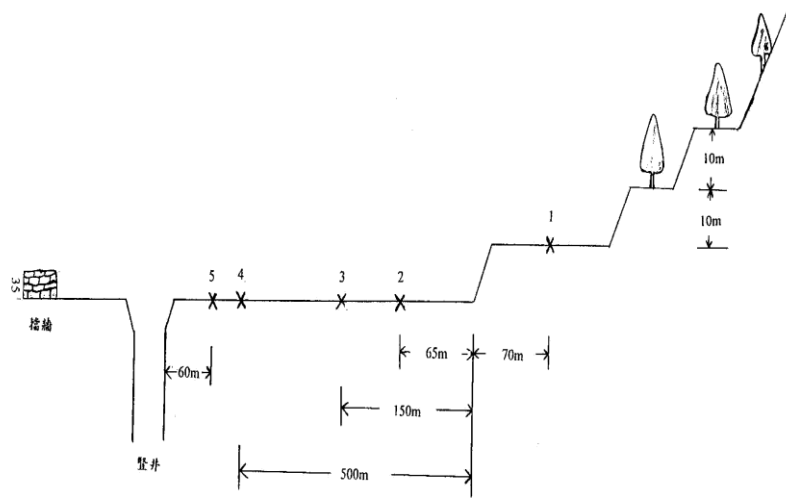


圖 1. 礦區與監測站之位置圖

三. 結果與討論

本研究所選定之測點為信大公司之第三礦區、採礦處上一層、採礦層、採礦處下一層、採礦處下二層、豎井、事務所、檢查站及玉皇宮等九個測站，並於各測站鄰近與污染源之遠近數處做為懸浮微粒之監測地點。對台灣水泥公司礦區，則選擇距採礦處不同距離數處，進行測試，對各測站做總懸浮微粒(TSP)、懸浮微粒(PM10)和微粒粒徑小於 $2.5\mu\text{m}$ (PM2.5)之分析。本研究分別以對季節變化、氣候條件(含日/夜間、濕度、風速)地理位置差異性行為(含未開挖與已開挖、輸送方式及礦區周圍環境)做分析比較，以建立逸散粒狀物特性排放。

1. 風速風向分佈統計

為瞭解季節變化對各測點濃度之影響，需先瞭解各季節之下雨機率與風向風速分佈機率，如表 2 為礦區鄰近蘇澳測站全年氣象條件，可知民國 86 年礦區附近下雨天數高達 218 天，且集中於秋、冬、春季等三季。另由本研究架設於礦區之氣象儀監測結果得知，春季之主風向為東北季風，夏季與冬季主風向各為北風與西風，而秋季之主風向為南風，全年風向以東北季風最明顯。

表 2. 宜蘭縣氣象觀測站民國八十六年氣象要素統計表

項目	月份 測站	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	年平均 *年總量
溫度 (°C)	宜蘭	16.0	16.3	19.6	21.9	24.8	25.9	28.0	28.4	25.0	23.5	21.4	18.5	22.4
相相對 濕度 (%)	宜蘭	83	85	85	86	87	87	82	83	85	86	87	85	85
平均風 速 (m/sec)	宜蘭	1.2	1.3	1.6	1.5	1.4	1.5	1.9	1.7	1.8	1.7	1.3	1.1	1.5
最多風 向(十六 方位)	宜蘭	W	W	W	ENE	WNW	W	E	E	E	W	W	NE	W
總日照 時數(小 時)	宜蘭	60.4	58.4	66.7	109.2	97.4	159.1	225.9	181.5	160.7	105.7	121.1	35.4	1381.5*
雲量(1- 10)	宜蘭	8.3	8.8	8.6	7.7	7.9	6.7	4.6	6.0	5.7	7.4	7.0	9.0	7.3
降水量 (MM)	宜蘭	93.5	206.5	99.7	36.0	118.7	287.0	52.0	367.7	276.9	206.9	18.4	73.0	1836.3*
溫度 (°C)	蘇澳	16.2	16.5	19.9	22.0	25.0	25.8	28.2	28.6	25.4	23.6	21.8	18.8	22.6
相相對 濕度 (%)	蘇澳	81	82	83	83	84	82	78	79	80	81	81	80	81
平均風 速 (m/sec)	蘇澳	2.8	2.7	2.8	1.9	2.4	2.4	3.1	3.1	3.2	3.3	2.5	2.8	2.8
最多風 向(十六 方位)	蘇澳	WSW	WSW	SW	SW	SW	SW	WSW	W	W	W	WSW	W	W
總日照 時數(小 時)	蘇澳	61.7	53.9	70.7	127.6	104.4	199.9	261.2	195.0	190.5	124.7	126.8	28.6	1545.0*
雲量(1- 10)	蘇澳	8.5	8.9	8.5	7.5	7.6	6.1	4.1	5.7	5.2	7.5	6.9	8.9	7.1

降水量 (MM)	蘇澳	180.9	394.0	156.8	56.6	139.0	448.6	80.3	28.6	234.2	364.7	85.1	253.0	2421.8
-------------	----	-------	-------	-------	------	-------	-------	------	------	-------	-------	------	-------	--------

*資料來源中央氣象局氣候觀測年報(1997)

2. 季節變化對各污染源臨近粉塵濃度之影響

由圖 2 與表 3 可知，四季對粉塵濃度之影響，其中以夏季微粒濃度最高，採礦處鄰近地點(距採礦處 50 公尺)，TSP 濃度可達 $711 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，且以秋季之濃度最低，僅約 $133 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，春季 TSP 濃度範圍介於 $194 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 至 $258 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間，而夏季 TSP 濃度約介於 602 至 $820 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間、秋季 TSP 濃度介於 98 至 $168 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間，冬季 TSP 濃度範圍則在 $115 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 至 $165 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間。

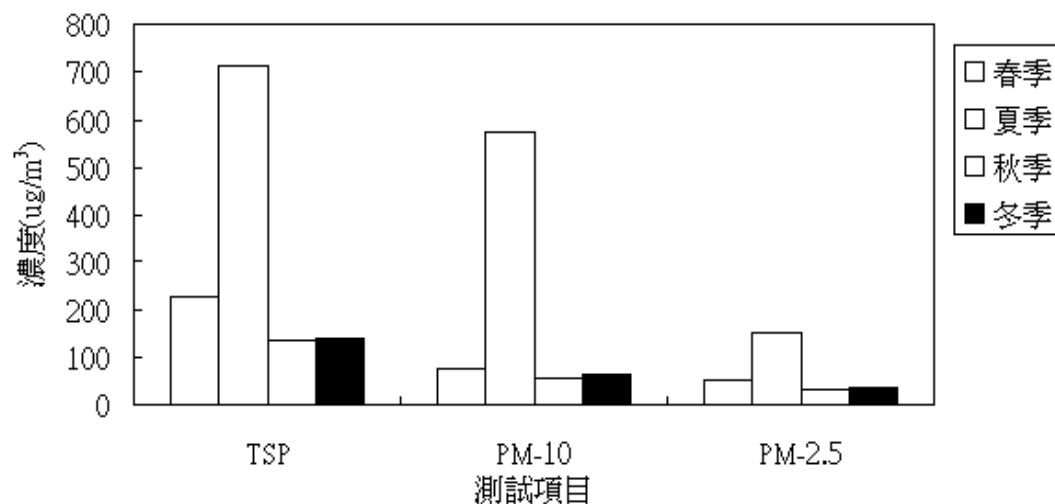


圖 2. 季節變化對採礦作業粉塵逸散之影響(距採礦處 50 公尺)

表 3. 季節變化對粉塵逸散之影響

測試地點	測試項目	春季 (12.15-1.13) *	夏季 (6.1-6.26) *	秋季 (9.3-9.25) *	冬季 (11.3-11.26) *
距採礦處	TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	226±32	711±109	133±35	140±25
	PM-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	77±7	576±89	55±15	64±21

約 50M	PM-2.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	52±5	152±34	32±7	37±15
距採礦處	TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	178±28	453±85	—	131±24
約 100M	PM-10($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	53±11	330±58	—	58±22
	PM-2.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	47±10	109±10	—	22±8
距採礦處	TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	133±30	365±80	100±27	102±10
約 200M	PM-10($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	36±10	264±47	61±11	45±16
	PM-2.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24±5	181±55	29±10	18±3
距豎井處	TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	199±20	223±44	90±17	104±14
約 100M	PM-10($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	51±5	187±30	49±10	54±10
	PM-2.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	35±7	87±21	22±8	27±9

*：為採樣日期

3. 粒狀物粒徑特性

本研究利用 moudith 粒徑分析儀進行懸浮微粒粒徑分析，以建立各季節逸散塵粒粒徑特性，如表 4 與表 5 所示，表中資料顯示秋季與冬季之平均粒徑略大，係因此二季下雨機率較高，微粒易吸收水份，增大粒徑平均粒徑約為 $0.70\mu\text{m}$ ；而夏季最乾燥，平均粒徑最小，約為 $0.48\mu\text{m}$ ，標準偏差(σ_g)皆大於 7.2，顯示粒徑分佈較廣，粒狀物中粒徑較小部份所佔不少。利用粒徑分析儀亦可求 PM-10 與 PM-2.5 濃度，結果顯示仍以夏季濃度最高，PM-2.5 與 PM-10 各約為 $303\mu\text{g}/\text{m}^3$ 與 $345\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，PM-2.5 略高於美國 Anderson PM-2.5 衝擊板測試結果，而 PM-10 則約相等。於秋季時，利用 moudith 量測得之 PM10 與 PM2.5 各約為 $62\mu\text{g}/\text{m}^3$ 與 $43\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。而於冬季時，PM10 與 PM2.5 略高一些，分別可達 $158\mu\text{g}/\text{m}^3$ 與 $110\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。春季 PM-10 與 PM-2.5 則各可高達 $315\mu\text{g}/\text{m}^3$ 與 $203\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

另由礦區其他測站之粒狀物粒徑分析可知距離採礦地點越遠，較細微粒所佔之比例越高，PM10 所佔 TSP 百分比最高可達 72%，最低僅約 23%；PM2.5 所佔

TSP 百分比最高可達 57%，最低約 9%，如圖 3 所示。而由礦區其他測站之粒狀物粒徑分析，如圖 4 可知，礦區鄰近地點約同海拔同距離之事務所與第三礦區，其粗細比例大致相等，對於較低海拔之檢查站與武荖坑，兩測站微粒粒徑大致相等、且其細微塵粒所佔之比例較小。

表 4 各種粒徑濃度季節變化

單位：($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

粒徑(μm)	秋季	冬季	春季	夏季
18	8.757	17.949	36.870	39.120
11.8	7.062	18.182	26.260	39.350
4.4	8.474	15.384	47.470	37.100
2.5	0.000	18.182	34.850	37.960
1.4	8.474	16.317	35.350	35.880
0.78	5.367	18.415	42.930	32.180
0.44	7.344	11.422	26.260	33.100
0.25	20.621	14.452	38.890	36.810
0.14	2.824	18.415	28.280	36.110
0.078	3.954	21.678	24.750	31.480
0.056	4.802	13.054	19.700	33.100
0.01	0.000	8.158	21.720	26.160
總濃度			0	0

表 5 各季節採礦區粒徑分佈特性

冬季	春季	夏季		
d_g (幾何平均粒徑) μm	0.75±0.20	0.70±0.18	0.63±0.11	0.48±0.10
σ_g (幾何標準偏差)	7.2±1.5	8.8±2.1	7.4±1.8	11.3±2.2
*PM2.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	43.4±10.1	110.1±22.2	202.7±40.1	202.8±58.1
**PM10($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	62.0±8.9	157.9±32.1	315.0±51.3	345.0±76.2
***PM18($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	77.7±7.5	191.6±56.8	383.3±93.8	418.7±128.4

備註：1. 地點距採礦層約 500 公尺

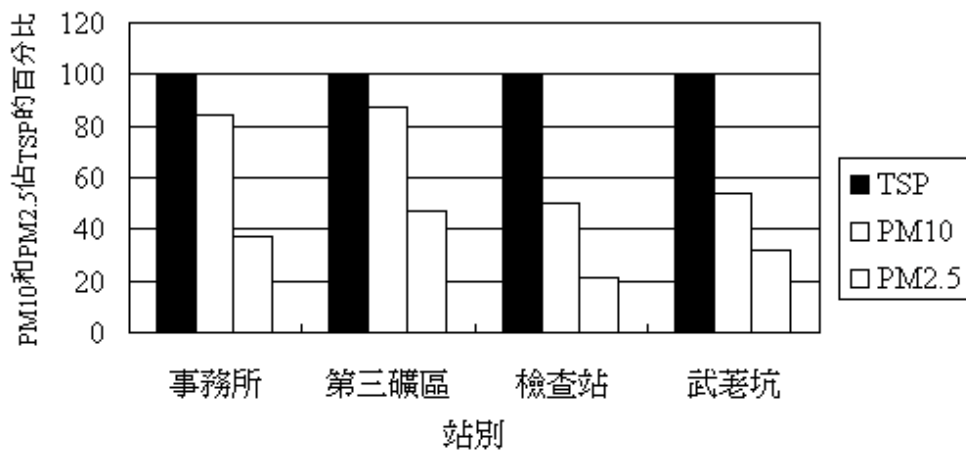
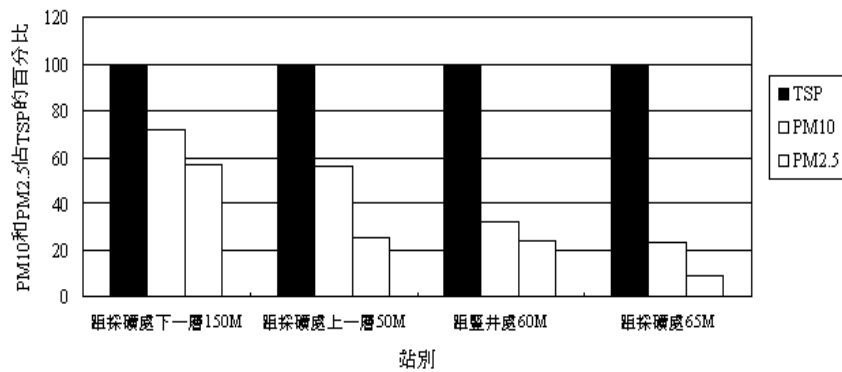
2. *PM2.5：指去除粒徑(cut off size)為 2.5 μm

**PM10：指去除粒徑(cut off size)為 $10\mu\text{m}$

***PM18：指去除粒徑(cut off size)為 $18\mu\text{m}$

$$3. d_g(\text{幾何平均粒徑}) = \exp(d_m)$$

$$\sigma_g(\text{幾何標準偏差}) = d_{84.1} / d_{50} = d_{50} / d_{15.6}$$



4. 礦區金屬氧化物分析

本研究利用 XRF 分析儀進行微粒中金屬氧化物分析，如表 6 所示，得知微粒中金屬氧化物可能為 Na_2O 、 SiO_2 、 K_2O 、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 CaO ，其中以 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 含量最高，三者比例差異有限，但三者已佔組成之 80% 左右，由表 6 得知採礦所產生微粒含 CaO 約 31%， SiO_2 約 26%， Al_2O_3 約 22%。

表 6. 礦區金屬氧化物組成分析比例

% (W/W)	1	2	3	平均值
---------	---	---	---	-----

V ₂ O	ND	ND	0.02	ND
Na ₂ O	3.75	5.16	4.16	4.36
MoO ₃	ND	ND	ND	ND
Cr ₂ O ₃	ND	ND	ND	ND
CuO	ND	ND	ND	ND
PbO ₂	0.05	0.02	0.08	0.05
TiO ₂	0.14	0.07	0.04	0.05
NiO	0.02	0.12	0.06	0.07
SiO ₂	30.68	21.78	25.6	26.02
K ₂ O	2.65	1.75	2.67	2.36
Fe ₂ O ₃	4.68	7.81	3.98	5.49
Al ₂ O ₃	20.17	25.16	20.66	22.00
MgO	1.78	0.98	1.11	1.29
CaO	31.78	28.66	32.77	31.07
總和	95.70	91.51	91.15	92.79

ND：小於偵測極限

5 化學組成分析

本研究針對已捕集懸浮微粒濾紙萃取後之萃取液，利用 IC 分析儀與 AA 分析儀，進行三種陰離子(Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻)與五種陽離子(Na⁺、K⁺、NH₄⁺、Mg²⁺、Ca²⁺)成份分析，分析結果如表 7，可知測值遠較空白值表 8 所示高出甚多，約大出數十倍。

表 7. 礦區各種粒徑化學組成分析(春季)

單位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$

化學組成	TSP	PM10	PM2.5
Na ⁺	Cl ⁻	1.31 2.63	1.21 0.10
	NO ₃ ⁻	ND	ND
	SO ₄ ²⁻	ND	ND
		0.16	0.14
		1.99	1.21
	NH ₄ ⁺	0.21	0.18
	K ⁺	4.91	2.20
	Mg ²⁺	3.17	2.99
	Ca ²⁺	14.38	8.35
	總含量	101.00	55.10
	粒狀物濃度	14.24	15.15
	比例		12.98

附註：ND=小於偵測極限(NO₃⁻之ND值為0.01 μg/m³，SO₄²⁻ND值為0.01 μg/m³)

表 8. 空白濾紙偵測數值

單位：μg/m³

離子	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
濾紙								
TSP	0.035	ND	ND	0.066	0.012	0.012	ND	0.081
PM2.5	0.036	ND	ND	0.068	0.068	0.012	ND	0.066
PM10-PM2.5	0.016	ND	ND	0.047	0.006	0.010	ND	0.090

TSP	9~89	56~6205	3~90	4~54	6~134	5~55	8~97	3~204
PM2.5	6~57	33~649	2~408	3~35	1~23	8~34	9~71	12~187
PM10-PM2.5	4~96	57~3530	2~23	2~51	11~107	8~19	6~65	4~61

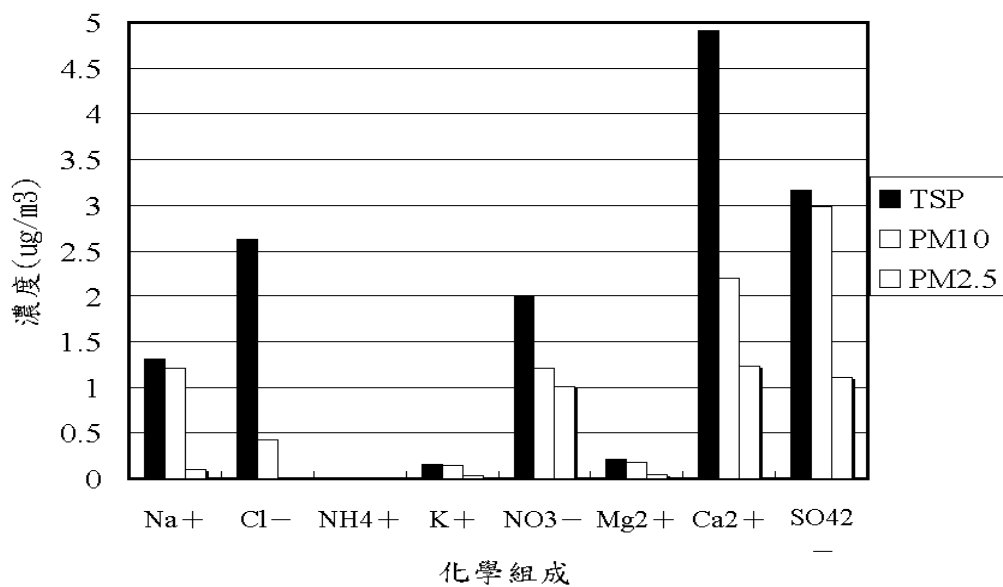


圖 5 礦區各種粒徑化學組成分析

表 11. 夏季各種粒徑化學組成分析

單位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$

粒徑 (μm)	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
18	5.573	0.538	0.445	0.148	0.956
11.8	4.586	0.510	0.423	0.116	0.576
4.4	9.675	0.562	0.643	2.436	7.665
2.5	4.762	0.611	0.342	0.116	0.513
1.4	4.632	0.560	0.289	0.135	0.560
0.78	4.521	0.515	0.338	0.120	0.542
0.44	4.261	0.615	0.359	0.100	0.509

0.25	6.816	0.859	0.415	0.127	0.600
0.14	4.179	0.525	0.364	0.128	0.564
0.078	4.126	0.518	0.306	0.106	0.499
0.056	4.041	0.425	0.202	0.130	0.717
0.01	3.005	0.134	0.118	0.085	0.270
	60.177	6.372	4.244	3.747	13.971

四、結論

1. 本研究架設於礦區之氣象儀監測結果得知，春季之主風向為東北季風，夏季與冬季主風向各為北風與西風，而秋季之主風向為南風，全年風向以東北季風最明顯。
2. 四季對粉塵濃度之影響，其中以夏季微粒濃度最高，採礦處鄰近地點(距採礦處 50 公尺)，TSP 濃度可達 $711 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，且以秋季之濃度最低，僅約 $133 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，春季 TSP 濃度範圍介於 194 至 $258 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間，而夏季 TSP 濃度約介於 602 至 $820 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間、秋季 TSP 濃度介於 98 至 $168 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間，冬季 TSP 濃度範圍則在 115 至 $165 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間。
3. 因礦區屬於山區，易起霧且造成高溼度(溼度大於 90%)現象，尤其於夏秋兩季較為明顯，因溼度大，導致粉塵易吸收空氣中水份，而使微粒易沉降，致使空氣中懸浮微粒濃度降低，各測點測值呈現較乾燥環境中其粉塵濃度較高。
4. 秋季與冬季之平均粒徑略大，係因此二季下雨機率較高，微粒易吸收水份，增大粒徑平均粒徑約為 $0.70 \mu\text{m}$ ，而夏季最乾燥，平均粒徑最小，約為 $0.48 \mu\text{m}$ ，標準偏差(σ_g)皆大於 7.2，顯示粒徑分佈較廣，粒狀物中粒徑較小部份所佔不少。
5. 陰離子中 Cl^- 離子含量隨著季節變化而有所不同，以春季與冬季濃度較高，是因為吹東北季風所致， Cl^- 主要位於大顆粒微粒上，而 NO_3^- 主要位於小顆粒微粒上，而 SO_4^{2-} 主要為於 $10 \mu\text{m}$ 之微粒上。
6. 本研究所探討陽離子種類計有五種，含 Na^+ 、 K^+ 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等，大致上各種粒徑皆含有上述離子，但以 Na^+ 含量最高，乃因海邊鹽沫吹向山區所致，而高濃度則以含 NH_4^+ 與 Ca^{2+} 為主， NH_4^+ 來源係來自自然界為主，而 Ca^{2+} 乃因水泥礦區原本 Ca^{2+} 即頗高，而 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 則主要分佈在大顆粒上， NH_4^+ 則分佈較廣，大小顆粒皆易存在。

參考文獻

1. 行政院環境保護署，“環境保護年鑑一八十三年版”，民國八十四年。

2. ”礦冶雜誌” ，中國礦冶工程學會會刊，ISSN 0451-0011，季刊，民國八十四年。
3. ”礦坑通風” ，工業技術研究院礦業研究所出版，民國八十二年。
4. 行政院環境保護署，”採礦及採礦工程計畫環境影響評估技術手冊” ，民國八十年。
5. Robert S. Lewis, R. S. ” Elements of Mining” ，豪華書局，七十八年。
6. Hunt, R. E. ” Geotechnical Engineering Investigation Manual” ，虹橋書店，七十九年。
7. 行政院環境保護署，”砂石採取與堆積環境影響評估技術手冊” ，民國八十年。
8. 信大水泥股份有限公司，” 太白山二號豎井開發工程採礦計畫書” ，民國八十年。
9. 李曜全，” 不同污染源粒狀物特性之研究” ，台大環工所碩士論文，民國七十九年。
10. Bagnold, R. A. ”The Physics of Wind Blown Sand and Desert Dunes” ，Methuen, London, 1941.
11. 行政院環保署環境保護訓練所，” 空氣污染專責人員訓練教材之第十冊 —逸散性塵粒控制技術” ，第二版，民國八十五年。
12. 章裕民等，” 營建工程逸散粉塵量推估及其污染防治措施評估” ，行政院環保署八十五年度專案研究計畫，民國八十五年。
13. 陳堯中，” 都會區建築及道路工程灰塵溢散排放之監測與成分分析” ，第六屆空氣污染控制技術研討會論文集，民國八十二年。
14. 陳堯中，” 營建工程造成空氣、水質之污染及其防制策略探討，改善都市營建技術研討會論文集” ，財團法人台灣營建研究中心出版，p. p. 119~143，民國七十七年。
15. 劉文德、劉國棟，” 台灣地區逸散性粒狀物排放量推估方法之探討” ，第五屆空氣污染控制技術研討會論文集，民國八十一年。
16. Orlemann, J. A., Kalman, T. J., ”Fugitive Dust Control Technology” ，Noyes Data Corp., 1983.

17. U. S. EPA, “Compilation of Air Pollution Emission Factors (AP-42)” , U. S. EPA Research Triangle Park, N. C. ,1985.
18. 張新民, “空氣污染學” ,文京圖書公司, 民國八十三年。
19. Jutze, G. A. et. al., “Investigation of fugitive dust sources emissions and control,” EPA-450/3-74-036a, EPA, Research Triangle Park, NC, June 1974.
20. Cowherd, C. Jr, et. al, ” Development of emission factors for fugitive dust sources” , EPA-450/3-74-037, U. S. EPA, Research Triangle Park, NC, June, 1974.
21. 行政環境保護署, ” 採礦業管制規範與標準設施草案” , 民國八十三年。
22. 台灣水泥公司, ” 台灣水泥股份有限公司和平石礦簡報資料” , 民國七十九年。

88年2月1日 收稿

88年5月3日 接受