

# 行政院國科會/環保署空污費科技計畫成果報告

## 裸露地逸散粒狀物排特性及可行控制技術之研究

計畫編號：NSC 88-EPA-Z-009-001

執行期限：87年7月1日至88年6月30日

主持人：蔡春進

國立交通大學環境工程研究所

### 一、中英文摘要

本計劃今年度的目的，在於針對裸露地揚塵排放係數進行現地量測以及對洒水與車輛控制兩種控制技術效率進行研究。並於風洞中進行控制條件下的揚塵機制研究。

本研究將現地所測到之揚塵排放係數對風速、揚土負荷、含水率等參數作統計分析，並得到揚塵排放係數的迴歸預測式。本研究發現，裸露地揚塵中  $PM_{10}$  及  $PM_{2.5}$  佔 TSP 之比例均很低，平均分別為 20%，1%。而在控制效率研究方面，發現在無車輛通行狀況下裸露路面，洒水控制效率平均約 63.83%，而在有車輛通行的狀況下，控制效率平均為 60.13%。

而在車輛控制效率研究中發現排放係數與車速呈冪次關係。當車速由 40km/hr 降至 30km/hr 時，排放係數降低了 61.2%，而降至 20km/hr 時，排放係數降低至 40km/hr 時的 24.4%。

本研究收集新竹市科學園區茂德半導體公司建廠工程整地階段之地面粉塵（測試粉塵 1），以及新竹市南寮地區裸露地之地面粉塵（測試粉塵 2），於風洞中進行揚塵實驗發現，粉塵堆中氣動直徑  $> 10 \mu m$  的微粒，不論在流場加速度  $1.5 m/sec^2$ 、 $1 m/sec^2$  或  $0.5 m/sec^2$  下，被揚起的比例極低，顯示大部分的粗微粒（氣動直徑  $> 10 \mu m$ ）仍舊留在粉塵堆中。當測試粉塵 1 不產生邊界效應時，揚塵現象的風速閾值為 10~12 m/sec，

且不因流場的運動方式而改變。當測試粉塵 2 產生邊界效應時，揚塵現象的風速閾值降為 9~10 m/sec。當粉塵堆產生邊界效應時，在相同流場變化下，揚塵濃度及 TSP 揚塵排放係數皆比不產生邊界效應時高。對測試粉塵 1 而言，粉塵堆的邊界效應會使 TSP 揚塵排放係數增加為 20 倍以上。對測試粉塵 2 而言，揚塵濃度對時間變化的揚塵濃度峰值，會因邊界效應而增高。當流場加速度增加時，邊界效應的影響越大。對測試粉塵 1 而言，當流場加速度由  $0.1 m/sec^2$  增加至  $1.5 m/sec^2$  時，TSP 揚塵排放係數會由  $1 \times 10^{-4} kg/m^2\cdot sec$  增加至  $7 \times 10^{-4} kg/m^2\cdot sec$ ，且 TSP 揚塵排放係數與流場加速度呈現正相關。對測試粉塵 2 而言，當流場加速度由  $0.25 m/sec^2$  增加至  $1.5 m/sec^2$  時，TSP 揚塵排放係數會由  $0.1 \times 10^{-4} kg/m^2\cdot sec$  增加至  $1 \times 10^{-4} kg/m^2\cdot sec$ ，且 TSP 揚塵排放係數與流場加速度亦呈現正相關。

關鍵詞：逸散性揚塵、排放係數、控制效率、風洞

### Abstract

There are the objectives of the study in this year are to measure the dust emission factor of unpaved roads in the field, and to investigate the control efficiency of watering and vehicle speed control. In addition, a wind tunnel test was also conducted in the

laboratory to study the mechanism of road dust emission under a controlled flow condition.

A statistical analysis was used to correlate the road dust emission factor measured in the field with the wind speed, silt loading and water content of road dust in order to obtain a regression formula. Both the percentages of  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$  to the TSP of the reentrained dust were found to be low, which are 20 % and 1 %, respectively. In the study of control efficiency, it was found that the average control efficiency of watering at 666.67 ton-water/ $km^2$  per hr is 63.83 % when no vehicles are traveling on the unpaved road. When vehicles are traveling on the unpaved road, to achieve similar control efficiency of watering, 60.13 %, 322.58 ton/ $km^2$  per hr is required.

In the study of vehicle control efficiency, it was found that emission factor is a power function of the vehicle speed. The emission factor is reduced 61.2 % when the vehicle speed is reduced from 40 km/hr to 30 km/hr. The emission factor at 20 km/hr further reduces to 24.4 % of that at 40 km/hr.

Test road dusts were collected from a construction site in the Science Industrial Park of Hsin Chu ( test sample 1) and from an unpaved road at Nan Laio area of Hsin Chu ( test sample 2) and tested in a wind tunnel. Results show that particles with diameter greater than 10  $\mu m$  are hardly reentrained and remained in the test cell even when air acceleration rate was varied from 0.5 to 1.5  $m/sec^2$ . When the edge effect doesn't appear at the surface of the test sample, the threshold wind speed for reentrainment was found to be 10 ~ 12  $m/sec$ . But the threshold wind speed is decreased to 9 ~ 10  $m/sec$  when the edge effect appears (i.e. the surface is not smooth). In the event of the edge effect, both reentrained dust

concentration and emission factor will become much higher than those without the edge effect. For the test sample 1, the edge effect increases the TSI emission factor by as much as 20 times. The influence of edge effect on the reentrained dust concentration increases with wind acceleration. As the flow acceleration is increased from 0.1 to 1.5  $m/sec^2$ , the TSP emission factor is increased linearly from  $1.0 \times 10^{-4}$  kg/sec to  $7.0 \times 10^{-4}$  kg/sec. For the test dust 2, the TSP emission factor is also increased linearly from  $0.1 \times 10^{-4}$  kg/sec to  $1.0 \times 10^{-4}$  kg/sec as the flow acceleration is increased from 0.1 to 1.5  $m/sec^2$ .

**Keywords:** fugitive dust, emission factor, control efficiency, wind tunnel

## 二、計劃緣由與目的

近一、二十年來，台灣都會區及工業區空氣品質劣化的主因大都以懸浮微粒為主。

台灣地區的逸散揚塵，主要來自於鋪面道路(paved road)、裸露道路(unpaved road)、建築工地、工廠料堆及其搬送過程等。由於道路及建築施工十分頻繁，到處可見裸露之地區及泥土砂石所構成的堆積，加上經常下雨，致使泥土到處流竄，因此鋪面道路經常堆積很多灰塵，影響懸浮微粒之濃度甚鉅。

目前台灣地區的逸散性揚塵排放係數多引自外國數據，但由於國內外種種相關因素的差異，致使引用國外排放係數時，極可能會與台灣地區的實際排放係數有差異的情形發生。再加上國內目前對於各種不同的逸散性揚塵控制技術的效率及成本，也尚未加以評估比較，因此實有必要逐步建立本土化的排放係數，研究本土化最佳逸散性揚塵控制技術，並評估控制效率及成本。有鑑於此，本研究今年度起進行大面積的裸露地或料堆的不同揚塵控制技術效率的評估比較，並輔以風洞進行

定量的研究實驗方式，期望能提出改善逸散性揚塵污染之適當方案。

預計本計劃今年度研究目的如下：

(1) 收集國內外最先的揚塵控制技術並評估其在國內的適用性及成本，並發展本土化的揚塵排放係數測定方法及揚塵控制技術的評估方法。

(2) 建立排放係數與風速大小，風的直線加速度，地面表土水分，大氣溫濕度的關係，並建立預測模式。

(3) 建立揚塵中PM<sub>10</sub>及PM<sub>2.5</sub>與TSP的比例，以建立PM<sub>10</sub>及PM<sub>2.5</sub>的揚塵排放係數。

(4) 針對洒水及車輛行進速度的控制的揚塵控制方法進行效率評估及成本研究。

### 三、結果與討論

#### 氣象狀況

本年度現場揚塵量測實驗自民國八十七年九月開始進行採樣之工作，實驗期間平均風速分布由低於1m/sec到最高10.42m/sec，因採樣點位置不同，風速分布狀況有所差異。實驗期間的日平均溫度在13.64~31.75 °C之間，日平均相對濕度在31.99~75.52%之間。

#### 粉塵水份及粒徑分佈

在東西向快速道路採樣點所採集的粉塵中含水量平均為2.57%。而在千甲路及南寮漁港的採樣點，平均分別為2.04%及2.49%。東西向快速道路、千甲路及南寮漁港採樣點所採集的粉塵中粒徑小於74μm的坩土比例平均值分別為23.00%、31.80%及10.22%

根據大多數的數據顯示，以重量計小於74μm的微粒多在35%以下，可見粉塵中坩土所佔的比例並不高。

#### 地面粉塵負荷

各採樣地點粉塵的單位面積粉塵負荷(dust loading)，平均約為1406.64 g/m<sup>2</sup>，坩土比例占21.13%，sL約為297.19 g/m<sup>2</sup>，其中大多數皆為粗微粒。

#### 採樣地點的TSP濃度與微粒粒徑分佈

自87年9月17日以來，於新竹市三個採樣地點以自行設計之濾紙夾持採樣器於1m高處所測得的上風處的粉塵濃度在34~800 μg/m<sup>3</sup>間，下風處的粉塵濃度則介於209~2766 μg/m<sup>3</sup>之間。

一般而言TSP濃度自地面逐漸增加至離地一米處時達到最高，之後隨著高度的上升，TSP濃度逐漸下降。這是因為粗微粒為揚塵的主要成份，由於重力影響，粗微粒無法揚至較高處，因此較高處的TSP濃度便因粗微粒的減少，而逐漸降低。但隨著風速提高，粗微粒能揚起之高度亦有較高的趨勢。

在南寮漁港以Dichot測得揚塵中的PM<sub>10</sub>及PM<sub>2.5</sub>的數值，與Hi-Vol TSP測得的數值做比較，如圖4.8及4.9所示。上風處所得PM<sub>10</sub>/Hi-Vol TSP及PM<sub>2.5</sub>/Hi-Vol TSP比例平均為51.85%及16.14%，而下風處所測得之比例分別為31.86%及7.00%，由下風中PM<sub>10</sub>佔總揚塵量的比例與上風中比例比較相對的減少，此種情形可推斷揚塵成分以大於10μm的微粒為主。

#### 現地測得之排放係數

本研究利用高度濃度剖面法，於東西向快速道路、千甲路及南寮漁港量測車行未鋪面道路揚塵排放係數，三個地點總揚塵排放係數除去無風狀態之極端情況，係介於17.76~890.84 × 10<sup>-7</sup> ton/m<sup>2</sup>-day，平均為

190.48×10<sup>-7</sup> ton/m<sup>2</sup>-day (或 571.44×10<sup>-7</sup> ton/km<sup>2</sup>-month)。此數據遠較去年在南寮漁港(另一地點)無車行裸露地總揚塵排放係數平均測值的 21.4×10<sup>-7</sup> ton/m<sup>2</sup>-day(或 64.2 ton/km<sup>2</sup>-month)高,也較去年在介壽路附近的無車行裸露地總粉塵排放係數的平均值 10.2 × 10<sup>-7</sup> ton/m<sup>2</sup>-day(或 30.6 ton/km<sup>2</sup>-month)為高。此應為今年的三採樣點坵土負荷較去年的兩個採樣點高(297 g/m<sup>2</sup> 對介壽路 101g/m<sup>2</sup> 及南寮 65g/m<sup>2</sup>)及車輛行駛之影響,以致總粉塵排放係數比此二採樣點高出數倍。

另外本研究針對揚塵中的 PM10 及 PM2.5 排放量進行量測,南寮漁港採樣點之平均 PM10 排放係數為 18.73 × 10<sup>-7</sup> ton/m<sup>2</sup>-day,而平均 PM2.5 排放係數為 0.95 × 10<sup>-7</sup> ton/m<sup>2</sup>-day。其中 PM10 之揚塵排放係數佔 TSP 揚塵排放係數的 20%,而 PM2.5 的排放係數則佔 TSP 揚塵排放係數 1%左右。

本研究嘗試使用 SPSS 統計軟體,將揚塵排放係數對風速、坵土負荷、含水率等作迴歸,以下便就各採樣點所獲得之結果做一說明。所得的迴歸式如下;

在東西向快速道路

$$EF/sL=2.06 \times 10^{-6} \times Ws^{2.261} \times Wc^{-0.335} \times N^{1.152} \quad R=0.600$$

千甲路

$$EF/sL=2.45 \times 10^{-5} \times Ws^{2.239} \times Wc^{-1.882} \quad R=0.947$$

南寮漁港

$$EF/sL=1.46 \times 10^{-4} \times Ws^{1.328} \times N^{0.176} \times V^{2.069} \quad R=0.742$$

其中 EF 為總揚塵排放係數,10<sup>-7</sup> ton/m<sup>2</sup>-day

Ws 為平均風速, m/s

Wc 為粉塵含水率

N 為通過車輛當量數,以輪數為 4 之汽車為 1

sL 為坵土含量, g/m<sup>2</sup>

V 為車輛行駛速度, km/hr

在東西向快速道路採樣點,由於實驗期間有洒水车洒水,以致每日中之地面粉塵含水率變化較大,無法精確測量,且車行速度均低於 10 km/hr,故所得之迴歸結果不甚理想。而千甲路採樣點由於採樣期間通過車輛數無明顯變化,故僅就平均風速、粉塵含水率及坵土含量做迴歸。而南寮漁港採樣點之粉塵含水率,各採樣日所得結果差異不大,而此採樣點之車流量及車輛行駛速度係自行控制。故於此僅採用平均風速、坵土含量、車流量及車行速度做迴歸。圖 1 為迴歸式預測值與實測值比較之結果,誤差尚在合理範圍之內。

#### 逸散性粉塵控制效率現場實驗

本實驗自 87 年 12 月初起,分別於東西向快速道路及南寮漁港使用高流量採樣器進行逸散性粉塵控制效率的研究探討。首先洒水控制實驗方面:

氣象狀況上,每個時段內風速及氣溫變化均不大,一般而言隨時間逐漸變小。而相對溼度的變化較大,並隨時間逐漸變大。

總粉塵排放係數變化情形以圖 2 為例,原先為 0.75% 的含水率經洒水 0.56 l/m<sup>2</sup> 後,含水率上升至 2.80%,經過約 90 分鐘後降至 2.52%,又經 1 小時後降至 1.18%,接近原來含水率。而總粉塵排放係數亦由洒水前之 584.05 ton/m<sup>2</sup>-day,洒水後降為 467.06 ton/m<sup>2</sup>-day,而後又降為 216.86 ton/m<sup>2</sup>-day。

控制效率及平均效益在東西向快速道路採樣點無車輛通行狀況下,洒水控制效率平均約 63.83%,而以每平方公里,1 小時計算,達到以上控制效率所需水量平均為 666.67 ton,而平均每元水費支出,可減少 201.28g 粉塵。而在南寮漁港

有車輛通行的狀況下，控制效率平均為 60.13%，而同樣以每平方公里，1 小時計算，達到以上控制效率所需水量平均為 322.58 ton，而平均每元水費支出，可減少 17.95g 粉塵。之所以南寮漁港每元水費所能減少的粉塵量比東西向快速道路要少的主要原因，應在於車輛之影響及採樣點之排放量不同。

逸散性粉塵控制效率的車輛控制部分的探討，主要亦使用高流量採樣器，實驗期間平均風速及土壤含水率變化不大。圖 3 係同時變化車輛數及車速的結果，由圖可判定增加車速對排放係數的影響較車輛數為大，且排放係數與車速呈冪次關係。車速由 40km/hr 降至 30km/hr 時，排放係數降低了 61.2%，而降至 20km/hr 時，排放係數降低至 40km/hr 時的 24.4%。

#### 風洞實驗

圖 4 為平均揚塵濃度對最大風速的關係圖。實驗時，流場以 0.5 m/sec<sup>2</sup> 或 1.5 m/sec<sup>2</sup> 的等加速度由靜止加速至最大風速，並維持最大風速至實驗終止時間 180 sec，並利用 DustTrak 粉塵濃度連續偵測儀測量揚塵濃度。本研究曾於新竹市南寮地區的一條裸露道路比對 DustTrak 粉塵濃度連續偵測儀所測得的 PM<sub>10</sub> 濃度，及 Dichot 雙道採樣器所測得的 PM<sub>10</sub> 濃度，結果顯示，Dichot 雙道採樣器所測得的 PM<sub>10</sub> 濃度為 DustTrak 粉塵濃度連續偵測儀所測得的 PM<sub>10</sub> 濃度的 1.16 倍，可據以校正 DustTrak 粉塵濃度連續偵測儀所測得的 PM<sub>10</sub> 揚塵濃度。圖 4 為測試粉塵 1 在無邊界效應的影響下所獲得的揚塵濃度，並經 Dichot 雙道採樣器校正 PM<sub>10</sub> 濃度。圖 4 中，粉塵堆經歷流場的等加速度運動與等速運動，主要是為了模擬自然界中大氣實際的流況。

圖 4 顯示，無論流場的加速度為 0.5m/sec<sup>2</sup> 或 1.5 m/sec<sup>2</sup>，當流場的流速大於一臨界值時，揚塵現象才會發生。此風速的臨界值稱風速閾值。對無邊界效應之測試粉塵 1 而言，風速閾值介於 10~12 m/sec，且流場加速度對風速閾值的影響不大。

由圖 4 及圖 5 可進一步說明，不論粉塵堆有無邊界效應的產生，以及外界流場如何變化，若只考慮流場的影響，而不考慮機械性擾動等其他因素，揚塵現象僅發生於風速大於風速閾值時。而邊界效應存在時，揚塵濃度會急遽增高。

圖 6 為粉塵堆在經歷第一次揚塵實驗後，經過烘乾、冷卻、秤重，再於相同流場變化下，於風洞中進行第二次揚塵實驗所獲得的結果。在實驗過程中，並不置換鋁盒中的粉塵。此外，經過第一次揚塵後的粉塵堆，並無法觀察到可見的粉塵堆厚度變化。圖 6 為揚塵濃度對時間的關係圖。實驗的操作條件為流場以 1.5 m/sec<sup>2</sup> 的等加速度由靜止加速至最大風速 15 m/sec，並維持最大風速 15 m/sec 至實驗終止時間 180 sec。實驗時，利用 DustTrak 粉塵濃度連續偵測儀來測量揚塵濃度，並利用 Dichot 雙道採樣器校正 PM<sub>10</sub> 濃度。當流場的加速度及最大速度改變至其他狀態時，亦可獲得類似圖 6 的結果。圖 6 顯示，在第二次揚塵實驗時，粉塵堆表面幾乎不再發生揚塵現象。若將粉塵揚起的過程視為表面更新的過程，則 Matsusaka 與 Masuda[17]認為，當最上層微粒被揚起後，暴露於流場的第二層微粒接著亦會被揚起。他們認為，在流場連續的作用下，粉塵堆中被揚起粉塵層的層數 n 會趨近於無限大，此與圖 6 所顯示的結果有互相矛盾的地方。

Lazaridis 與 Drossinos[19]利用揚

塵現象的能量累積，以及表面更新的觀念，理論計算  $\text{Al}_2\text{O}_3$  及  $\text{SnO}_2$  雙層微粒進行表面更新時，最上層微粒及底層微粒的殘留率對表面摩擦速度的影響。他們發現，使最上層微粒揚起 50 % 數量的表面摩擦速度小於底層微粒揚起 50 % 數量的表面摩擦速度，並據以解釋粉塵堆長時間暴露於流場時，揚塵率隨暴露時間增長而有減低的現象。由圖 6 的結果得知，微粒於第一次揚塵實驗開始的 35 sec 後，就幾乎不再發生揚起現象，有可能是因為位於下層的粉塵具有較大的緊密度 (Packing density) 所致。

圖 7 為揚塵排放係數對流場加速度的關係圖。在圖 7 中，流場僅進行等加速度運動，不進行等速運動，且粉塵堆不產生邊界效應，利用濾紙夾持器測量揚塵濃度，並進一步計算揚塵排放係數。對測試粉塵 1 而言，當流場加速度由  $0.1 \text{ m/sec}^2$  增加至  $1.5 \text{ m/sec}^2$  時，揚塵排放係數會由  $1 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^2\text{-sec}$  增加至  $7 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^2\text{-sec}$ ，且揚塵排放係數與流場加速度呈現正相關， $R^2$  值為 0.96。對測試粉塵 2 而言，當流場加速度由  $0.25 \text{ m/sec}^2$  增加至  $1.5 \text{ m/sec}^2$  時，揚塵排放係數會由  $0.1 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^2\text{-sec}$  增加至  $1 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^2\text{-sec}$ ，且揚塵排放係數與流場加速度亦呈現正相關， $R^2$  值為 0.88。

由於在自然界中，地面粉塵小於  $3 \mu\text{m}$  的微粒多為黏土，致使測試粉塵 2 的微粒間具有較強的交互作用，而造成測試粉塵 2 的揚塵排放係數低於測試粉塵 1，如圖 7 所示。

圖 8 的操作條件為流場以  $1.5 \text{ m/sec}^2$  的加速度由靜止加速至最大風速  $15 \text{ m/sec}$ ，並維持最大風速  $15 \text{ m/sec}$  至實驗終止，測試粉塵 2 的表面平整，不產生邊界效應。圖 8 顯示，在等速度流場  $15 \text{ m/sec}$  的作用下，當時間由 5 min 增加至 20 min 時，揚塵排放係數變化不大，皆小於  $0.2 \times 10^{-4}$

$\text{kg/m}^2\text{-sec}$ ，並遠低於圖 7 中，流場加速度為  $1.5 \text{ m/sec}^2$  時的揚塵排放係數  $1 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^2\text{-sec}$ ，顯示等加速度流場對揚塵排放係數的影響遠較等速度流場重要。

圖 9 顯示邊界效應對揚塵排放係數的影響。同樣地，流場僅作等加速度運動，不進行等速運動。圖 9 顯示，當流場加速度越大時，邊界效應對揚塵排放係數的影響越明顯。當加速度為  $1.5 \text{ m/sec}^2$  時，邊界效應使測試粉塵 1 的揚塵排放係數增加為 20 倍以上。

#### 四、計畫對空氣污染防治之具體貢獻

本計畫執行所得結果，對於空氣污染防治可應用部分為：

1. 所得之裸露路面揚塵排放係數迴歸式，可運用於裸露地面揚塵排放量的推估。
2. 針對揚塵控制技術效率及效益的實驗結果，可提供作為控制揚塵排放量所需經費及效益評估的參考。
3. 現地所測得之揚塵中  $\text{PM}_{10}$  及  $\text{PM}_{2.5}$  佔 TSP 揚塵排放係數比例—可用以推估  $\text{PM}_{10}$  及  $\text{PM}_{2.5}$  的排放量。

#### 五、參考文獻

蔣本基、鄭淳志、江鴻龍等，北桃地區懸浮微粒特性分析，第九屆空氣污染控制技術研討會，民國八十一年，台南。

蔣本基、張勝祺、杜悅元，空氣污染受體模式及危險性評估在空氣品質管理上的應用研究，行政院環保署報告 EPA-83-E3F1-09-01，民國 83 年。

李崇德，台北都會區懸浮微粒粒徑分佈的物理及化學特性(II)，國科會研究成果報告，NSC-81-0421-E008-10-Z，民國八十一年。

李崇德、張順欽、吳國榮、陳熙灝，空氣品質變化趨勢與細懸浮微粒 ( $\text{PM}_{2.5}$ ) 監測

- 現況分析，第十五屆空氣污染控制技術研討會論文集，民國八十七年。
- 鄭曼婷、邱嘉斌、楊宏隆、陳紀綸，沿海地區大氣懸浮微粒污染來源分析，第十五屆空氣污染控制技術研討會論文集，民國八十七年。
- 鄭曼婷、林煜棋、蔣勝吉、顏世朗，車行揚塵特性及排放係數，一九九八年氣膠研討會論文輯，民國八十七年。
- 藍文農、張章堂、吳友平、林晉宏、陳永明，砂石廠粉塵逸散特性之研究，一九九八年氣膠研討會論文輯，民國八十七年。
- 中鼎工程公司，街道洗掃作業方案調查評估及規劃專案研究計劃，行政院環保署報告，民國84年。
- 章裕民，營建工程逸散粉塵量推估及其污染防治措施評估，行政院環境保護署，EPA-85-11-01-09-45，中華民國八十五年六月。
- 蔡春進，都會區路面揚塵之量測研究，EPA-86-FA42-09-90，民國86年。
- 蔡春進，本土化逸散性粉塵控制技術調查研究，NSC-87-EPA-P-009-001，民國87年。
- Bagnold, R. A., *The physics of Blown Sand and Desert Dunes*, Methuen and Co., Ltd., London, 1954.
- Belly, P. *Sand Movement by Wind*, Defense Documentation Center for Specific and Technical Information, 1964.
- Brookman E.T., and D.J.Martin, *A Technical Approach for the Determination of Fugitive Emission Source Strength and Control Requirements*, 74<sup>th</sup> Annual APCA Meeting, Philadelphia, 1981.
- Chow, J. C., J. C. Watson, J. E. Houck, L. C. Pritchett, C. F. Rogers, C. A. Frazier, R. T. Egami, and B. M. Ball, *A Laboratory Resuspension Chamber to Measure Fugitive Dust Size Distributions and Chemical Compositions*. *Atmos. Environ.* 28(21):3463-3481, 1994.
- Cowherd, C. Jr. and P. J. Englehart, *Paved Road Particulate Emissions*, EPA-600/7-84-077, US EPA, Washington, Dc, July, 1984.
- Durham, M. D. and Lundgren, D. H., *Evaluation of Aerosol Aspiration Efficiency as a Function of Stokes Number, Velocity Ratio, and Nozzle Angle*, *J Aerosol Sci.*, 11, 179-188 (1980)
- Elmore, M. R. and J. N. Hartley, *Techniques for Controlling Fugitive Dust From Uranium Mill Tailings*, *Nuclear Safety*, 26(1):63-74, 1985.
- Evans, J. S. and D. W. Cooper, and J. J. Harrington, *Strategies for the Optimal Control of Dust Emissions from Unpaved Roads*, *JAPCA*, 33(4):312-317, 1991.
- Evans, J. S. and D. W. Cooper, *An Inventory of Particulate Emissions From Open Sources*, *JAPCA*, 30(12):1298~1303, 1980.
- Evans, J. S. and D. W. Cooper, *The Contributions of Open Sources to Ambient TSP Levels*, *JAPCA*, 30(5):549-556, 1981a.
- Evans, J. S., S. E. Spedden and D. W. Cooper, *A Study of the Relationship between Wind Speed and Total Suspended Particulate Levels*, *JAPCA*, 31(4):395-397, 1981b.
- Gertler, A. W., D. A. Lowenthal, and W. G. Coulombe, *PM10 Source Apportionment Study in Bullhead City, Arizona*, *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 45:75-82, 1995.
- Hangal, S., and Willeke, K., *Unified Model For All Forward Sampling Angles*, *Environ. Sci. Technol.* 24: 688-691, 1990
- Hesketh, H.E. and Cross, F.L., *Fugitive Emissions and Controls*, Ann Arbor Science Co. New York, 1982.
- J.A. Orlemann, *Fugitive Dust Control Technology*, Noyes Data Corporation, New Jersey, 1983.
- Kousaka, Y., K. Okuyama, and Y. Endo, *J. Chem. Eng. Jpn.* 13:143-147, 1980.
- Marple, V. A., Rubow, K. L. and Behm, S. M., *A Microorifice Uniform Deposit Impactor ( MOUDI ) : Description*,

Calibration, and Use, *Aerosol Sci. Technol.*, 14: 434-446, 1991

Matsusaka, S., and H. Masuda, Particle Reentrainment from a Fine Powder Layer in a Turbulent Air Flow, *Aerosol Sci. Technol.*, 24:69-84, 1996.

Nicholson K.W. Wind Tunnel Experiments on the Resuspension of Particulate Material, *Atmos. Environ.* 27A(2): 181-189, 1988.

Tsai, C. J., D. Y. H. Pui and B. Y. H. Lick, Particle Detachment From Disk Surfaces of Computer Disk Drives. *J. Aerosol Sci.*, 22(6):737-746, 1991.

Tsai, J.-H., and Y.-L. Wu, Contributions of Road Dust Resuspension to the Airborne Particle Concentrations in Taipei, *Particulate Science and Technology*, 13:55-67, 1995.

US EPA, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume I: Stationary Point and Area Sources, 4th Ed., 1985.

Venkatram A., Fitz D., Bumiller K., Du SM., Boeck M., Ganguly C., Using a dispersion model to estimate emission rates of particulate matter from paved roads, *Atmospheric Environment*, 33:(7) 1093-1102, 1999.

Wang, H. C. *Aerosol Sci. Technol.* 13:386-391, 1990.

Wu, Y.-L., C. I. Davidson, and G. R. Armistead, Controlled Wind Tunnel Experiments for Particle Reentrainment and Resuspension, *Aerosol Sci. Technol.*, 17:245-262, 1992b.

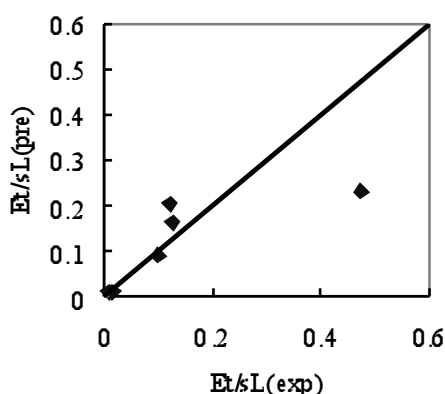


圖 1. 排放係數迴歸式預測值與實驗值之關係圖 (千甲路)

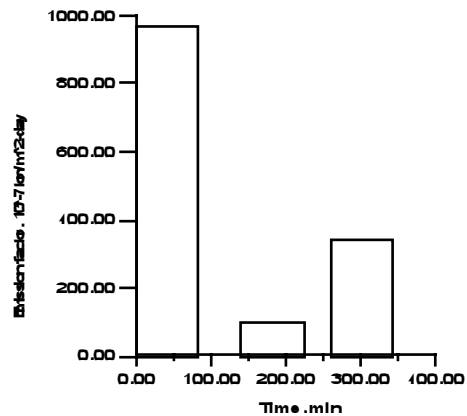
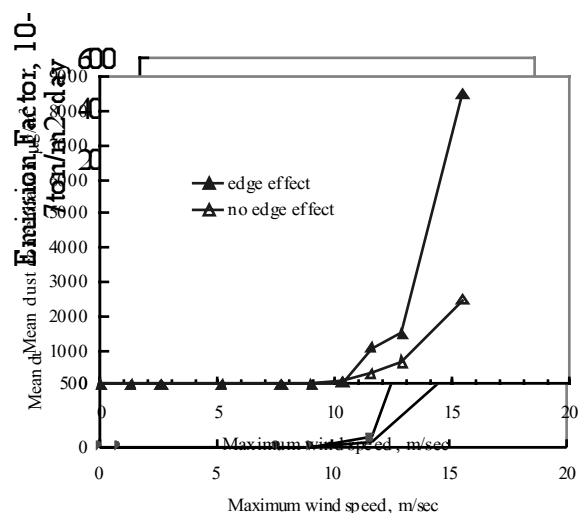
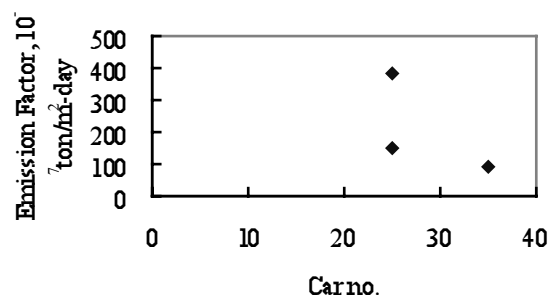


圖 2. 洒水控制效率實驗，總粉塵排放係數隨時間變化圖 (87.12.11)

圖 3. 控制效率實驗，總粉塵排放係數與行駛車輛數及平均車速之關係 (88.04.16)

圖 4 Dichot 等式 PM<sub>10</sub> 平均揚塵濃度對最大風速關係圖(測試粉塵 1—無邊界效應—實驗時間 180 sec)

圖 5 Dichot 等式 PM<sub>10</sub> 平均揚塵濃度對最大風速關係圖(測試粉塵 2—流場加速度 1.5)





m/sec<sup>2</sup>，實驗時間 180 sec)

圖(無邊界效應)

圖 8 揚塵排放係數對時間的關係圖(測試

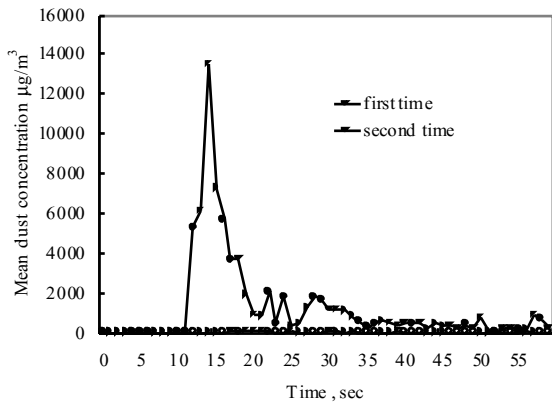


圖 6 重複揚塵對 Dichot 等式 PM<sub>10</sub> 平均揚塵濃度的影響(測試粉塵 1—無邊界效應)

粉塵 2—無邊界效應，流場維持等速度 15 m/sec)

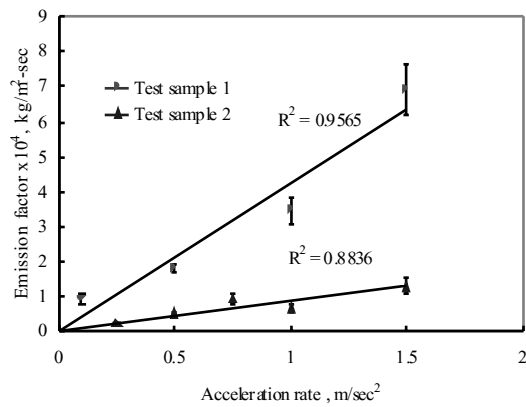


圖 7 揚塵排放係數與流場等加速度的關係

圖 9 在不同加速度下—邊界效應對揚塵排放係數的影響(測試粉塵 1)

