

## 洗掃作業對周界PM<sub>10</sub>削減成效之探討-以新北市為例

周芷玫

景文科技大學 環境與物業管理系暨研究所(新北市，台灣)

### 摘要

近年來，隨著國民生活水準的提升，生活環境品質逐漸受到重視，空氣污染中懸浮微粒(PM<sub>10</sub>)常為國人所關注之問題，故PM<sub>10</sub>一直是環境保護主管機關優先管制重點。研究指出道路揚塵確實對都會區之空氣品質造成影響，而空氣中的懸浮微粒可藉由沈降作用沈降於地面，此時若不予以移除，將隨地面活動而再度揚起(re-entrained)，而導致鄰近地區空氣品質下降的趨勢，因此需要藉由洗掃街作業，將鋪面道路之街塵予以移除。若掃除成效不錯，對於減少因街塵再度揚起所導致大氣懸浮微粒濃度的降低，實有所助益。現今台灣一般對於街道揚塵之清掃作業多選用真空式的洗掃車，在洗掃作業進行時，掃街車會將街塵揚起，此時會造成懸浮微粒之二次污染。本研究擬就洗掃作業時造成周界瞬間PM<sub>10</sub>濃度變化及濃度瞬間增量後回復至一般周界水準所需之時間進行研究。研究結果發現，進行洗掃街作業造成PM<sub>10</sub>瞬間排放量為洗掃作業前的4倍左右。但之後會慢慢回復至穩定狀態，其回復時間(Time of Response,  $t_r$ )約在2小時左右。此外，良好的洗掃作業在對街道周界之TSP、PM<sub>10</sub>及路面塵土/坩土皆具有正面的削減效率。

**關鍵字：**PM<sub>10</sub>、TSP、洗掃作業

# **Study of Dynamic Characteristic of PM<sub>10</sub> Concentration during Street Sweeping-the Examples of New Taipei City**

Chih-Mei Chou

The Department of Environment and Property Management  
JinWen University of Science and Technology, New Taipei City, Taiwan

## **Abstract**

The paper presents an evaluation on street sweeping by PM<sub>10</sub> measurements from active traffic streets. A modified regenerative-air vacuum sweeper (RAVS) was used in this study. Compares the changes of measured parameters by subtracting the “after” values from the “before” values for each measurement episode (before and after sweeping). During the monitoring period, the PM<sub>10</sub> concentration increased instantly by up to 40% after the road was swept by a street sweeper. The average emission potential increase measured on all roads is 15%. Approximately 1.5 hours after the initial sweeping, the emission potential from road and returned to pre-treated levels. The results of sweeping experiment indicate that the direct of PM<sub>10</sub> emissions are short no more 2 hours and the efficient of reduce can be kept up to 3~4 hours. It appears that the application of street sweeping is possibly feasible to control the ambient PM<sub>10</sub>. Finally, correlated with dust and silt loading, a correlation is proposed to estimate the PM<sub>10</sub> concentrations, which is valid in appropriate conditions suggested by the work. It is feasible to predict the increase of PM<sub>10</sub> concentrations by the regenerative-air vacuum sweeper used in this work. Effects of traffic volume and wind velocity on the increase of PM<sub>10</sub> concentrations are also discussed in the paper.

**Keywords: street sweeping, dust, silt, PM<sub>10</sub>.**

## 1. 前言

近年來，隨著國民生活水準的提升，生活環境品質逐漸受到重視，尤其是空氣污染中懸浮微粒(PM<sub>10</sub>)常為國人所關注之問題，故PM<sub>10</sub>一直是環境保護主管機關優先管制重點。研究指出道路揚塵確實對於都會區之空氣品質造成影響，而空氣中的懸浮微粒可藉由沈降作用沈降於地面，此時若不予以移除，將隨地面活動而再度揚起(re-entrained)，而導致鄰近地區空氣品質下降的趨勢。因此需要藉由洗掃街作業，將鋪面道路之街塵予以移除。若掃除成效不錯，對於減少因街塵再度揚起所導致大氣懸浮微粒濃度的降低，實有所助益。

目前台灣執行掃街作業時，所使用的掃街車多從國外進口購得或國內仿製，主要用途為清除社區中行道樹所掉落之樹葉為主，其設計並不適用於減少街道揚塵以改善空氣品質為主要目的。根據章氏(2005)在研究指出，掃街作業雖可移除道路街塵降低其懸浮微粒排放潛能，但亦會因洗掃機具特性(旋轉掃刷擾動)造成二次污染之情況發生(周界之PM<sub>10</sub>濃度會有瞬間升高至400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )。

現今台灣一般對於街道揚塵之清掃作業多選用真空式的洗掃車，此種洗掃車的類型，為利用裝置於車體內之鼓風機提供動力，使洗掃車兩旁之碟型旋轉掃刷得以因洗掃作業之需要而轉動任一邊掃刷，揚起或擾動路面上沉積於道路兩旁的街塵、樹葉、垃圾...等等之路面污染物；再因鼓風機轉動而使吸取污染物的管路內呈現負壓的狀態，進而將此等污染物因受負壓作用而經吸風口吸入輸送管路，此進入管路內之攜塵氣流，通過截面積較大之集塵箱室入口，使其流速變慢；再者，沉降箱室內設有擋板使其碰撞速度變慢及改變流動方向等，而使較粗粒徑揚塵或其他路面污染物受本身重力的作用，沉降於箱室底部；另外，部分未經沉降之細微揚塵，未經處理直接隨著氣流排放進入大氣中。故在洗掃作業進行時，掃街車會將街塵揚起，此時是否會造成懸浮微粒之二次污染，或洗掃作業街道周界PM<sub>10</sub>濃度瞬間增量後回復至一般周界水準所需之時間為何，皆是本研究所需探討之重點。故本研究之主要目的為：

1. 研究洗掃街車於進行洗掃作業時之周界逐時PM<sub>10</sub>濃度變化及TSP及PM<sub>10</sub>之消滅效率。
2. 探討洗掃作業街道周界PM濃度瞬間增量後回復至一般周界水準所需之時間。

## 2. 實驗設備與方法

### 2.1 實驗設備與儀器

#### (1) TOPAS (表 1)

本研究所使用之採樣器為 TOPAS 懸浮微粒採樣器 (Serial No.T1055 及 T1049)，可分析 PM<sub>10</sub>，也可求得 TSP (所得數據可做為參考)，其分析原理主要是依據比爾定律(Beer's law)，而 TOPAS 儀器之設備說明分以下四部份說明：

#### (a)採樣器：

主要分為兩部分採樣頭及粒徑分選器。採樣頭需能阻擋大粒徑顆粒、昆蟲或雨水等進入，且可避免受其干擾。粒徑分選器需能篩分粒徑 10 $\mu\text{m}$ 、2.5 $\mu\text{m}$  及 1.0 $\mu\text{m}$  之粒狀物。

#### (b)雷射光源：

當粒子通過雷射光束時，因粒子阻擋雷射光行進路線而產生散射現象。其中散射光由儀器內部光偵測器收集後轉換成電壓值，再經由內部設定

BSEN481(1993)，散射光強度與電壓值關係，求出粒子之質量濃度並顯示在儀器面板上，其內部構造及原理如下圖所示。

(c)光偵測器(Photodetector)：

可用於直接或間接偵測雷射光源強度之偵測器。

(d)電腦系統：

電腦系統可顯示即時讀值或小時讀值等，且能提供系統的操控功能，如採樣時間、地點及採樣次數紀錄等，並具有數據計算及轉換功能。

(2) 粒徑分析儀

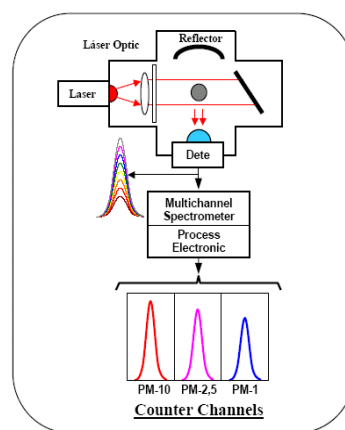
本研究所涉及的粉土顆粒之粒徑分佈(PSD)約在 600~1 $\mu$ m 間，故擬利用下二種分析儀搭配分析(以前項使用頻率較高)：

(a)篩網：日製泥龍網式，可分析至 42 $\mu$ m 以上(對於通過 42 $\mu$ m 者，則以下者方式分析)，其中 200mesh 作為粉土(75 $\mu$ m)含量)量測之用。

(b)雷射光分析儀：美製 Microtrac Lasar PSD Analyser，可分析至 0.1 $\mu$ m(本設備為必要時再借用，並非每次實驗樣品皆需要)。

表 1 TOPAS 採樣器規格表

項目	操作參數
測定物質	TSP、PM <sub>10</sub> 、PM <sub>2.5</sub> 及 PM <sub>1.0</sub>
流量	0.6~2.0 L/min
電壓	110 V
光源	雷射光
採樣管徑	4mm
操作溫度	-5~-50 $^{\circ}$ C
粒徑範圍	0.4 $\mu$ m ~20 $\mu$ m，超過 20 $\mu$ m 以上皆視為 20 $\mu$ m
濃度範圍	0~60 mg/m <sup>3</sup>
歸零誤差	$\pm$ 0.1 $\mu$ m/m <sup>3</sup>
採樣時距	自行設定(本研究設定 30 秒)
採樣原理	氣流吸入採樣管內，當微粒通過雷射光束時，會產生散射現象。藉由量測散射光的強弱大小，即可知道粒狀物濃度之大小。
備註	此數據讀取藉需軟體(Air Q)作業於連接電腦下載。



### (3) 洗掃街車之規格與性能

本研究擬採用的大型真空洗掃街車之規格與性能如下：

掃街車（英國 SCARAB）

項目	規格
車長 (mm)	4,230
車寬 (mm)	1,650
車高 (mm)	2,320
空車重 (kg)	3,500
轉圈數 (m)	8.5
容量 (cc)	2,776
最大馬力 (kw/rpm)	55
水箱 (L)	420
項目	操作條件
噴水率 (L/hr)	75
作業速度 (km/hr)	5 ~ 8
噴水壓力 (psig)	50
刷子轉速 (rpm)	40
最大清洗能力 (m <sup>2</sup> /hr)	25,000

洗街車

項目	規格
車長 (mm)	5,350
車寬 (mm)	1,650
車高 (mm)	2,400
空車重 (kg)	7,500
轉圈數 (m)	12
容量 (cc)	3,500
最大馬力 (kw/rpm)	99
水箱 (L)	15,000
項目	操作條件
噴水率 (L/min)	80 ~ 120
作業速度 (km/hr)	5 ~ 8
噴水壓力 (psig)	10
噴水角度 (degree)	60°
最大清洗能力 (m <sup>2</sup> /hr)	10,000



### (4) 車流量監視儀

錄放影機及攝影記錄器之規格為：SAMPO VC-M690 及 f：6.0mm WN-B82J98C，此可了解車流量對空氣中懸浮微粒之影響，因此對於車流的的記錄採取攝影存檔，記錄雙向車流量數目，記錄時間從檢測開始至檢測結束。在於研究結束後由錄放影機慢速播放，由人工計數每個小時機車、汽油車、與柴油車數目，瞭解每日進行採樣時車流量數目。

## 2.2 實驗方法

### 一、洗掃順序原則及作業方式

#### 1. 洗掃順序原則

- (1) 街道上先以人工方式去除較大垃圾或廢棄物。
- (2) 以掃街車之車頭霧化水先噴溼路面（噴霧之用水為 5 ~ 10 L/m<sup>2</sup>\*min）。
- (3) 繼之以車側圓刷反時針掃刷地面（掃帚轉速 40 rpm）。
- (4) 吸塵（含淋洗與濾網除塵）。
- (5) 洗掃車速：5 ~ 10 km/hr。
- (6) 側刷方式：45°。
- (7) 洗掃車行徑為經測點後前行約 0.5 ~ 1.0 km 再折回中心線（參見圖 1，洗掃另一車流方向之街道）。
- (8) 最後配合沖洗車（用水率約為 330 ~ 660 L/m<sup>2</sup>\*min）。

#### 2. 洗掃作業方式

選取實際街道路面，長約為 800 m，為 4 ~ 6 線道寬之道路，來進行洗掃作業。街道上先以人工方式去除較大垃圾或廢棄物，以掃街車在前、洗街車在後之方式進行洗掃作業，兩者維持距離約為 500 公尺。洗掃街車先從道路之外側（靠近人行道），以時速 5 ~ 10 km/hr 進行洗掃，待外側路面沖刷完畢後，再轉入車道內側（即分隔島）重覆上述之洗掃動作。

### 二、PM<sub>10</sub> 量測方法

本研究藉由進行洗掃作業，探討洗掃作業街道周界 PM<sub>10</sub> 濃度瞬間增量及 PM<sub>10</sub> 濃度回復至一般界水準所需之時間。主要是採用 TOPAS 採樣器進行採樣，其採樣作業之方法為選擇代表性街道，每條街道上、下風各二點次，以 TOPAS 採樣器，針對 PM<sub>10</sub> 進行逐時監測。

由於環保署 PM<sub>10</sub> 公告方法是利用  $\beta$ -Gauge 進行採樣，唯  $\beta$ -Gauge 易受震動干擾使其結果失真，故本研究參考 NIEA206.10C 方法，以 TOPAS 與  $\beta$ -Gauge 進行比對，並以 Hig-Vol. 的 PM<sub>10</sub> 採樣器 作校正(如範例圖 12.5.3)，以確保數據之準確性。

## 3. 結果與討論

### 一、PM<sub>10</sub> 濃度逐時變化

由本研究針對洗掃作業對 PM<sub>10</sub> 之濃度變化進行連續監測，共完成台北縣九路段共 36 點次（9 路段× 4 點次/路段）之 PM<sub>10</sub> 逐時變化監測，圖 1 為某路段之 PM<sub>10</sub> 濃度逐時變化圖。

綜合此等結果可知進行掃街工作時，由於機具施作特性造成街塵之再揚起，以及街塵與道路表面間之附著力降低，使得 PM<sub>10</sub> 瞬間（instant）濃度增高。所以在洗掃作業之初期並無法提供有效的 PM<sub>10</sub> 削減作業，反而造成該區域地表面空氣中更高的 PM<sub>10</sub>。

另為瞭解實際道路掃街作業時之恢復時間( $t_r$ )，故將微粒濃度增量指標(PM<sub>10</sub> Increment Index,  $\kappa_i$ ) 來做為掃街作業時周界懸浮微粒濃度變化之參考指標，其計算式如下(1式)：

$$\kappa_i = \frac{(\Delta PM_{10})_{掃街段}}{(\Delta PM_{10})_{未掃街段}} = \frac{(PM_{10下風} - PM_{10上風})_{掃街段}}{(PM_{10下風} - PM_{10上風})_{未掃街段}} \quad (1)$$

我們以市區道路掃街實驗的  $\Delta PM_{10}$  值與未掃街時之  $\Delta PM_{10}$  值求得  $\kappa_i$  值，再與時間作圖於圖 2 中。結果表示洗掃作業後瞬間排放量增加為掃街前水準的 4 倍左右，但之後會慢慢回復至穩定狀態，其回復時間(Time of Response,  $t_r$ )約在 2 小時左右。

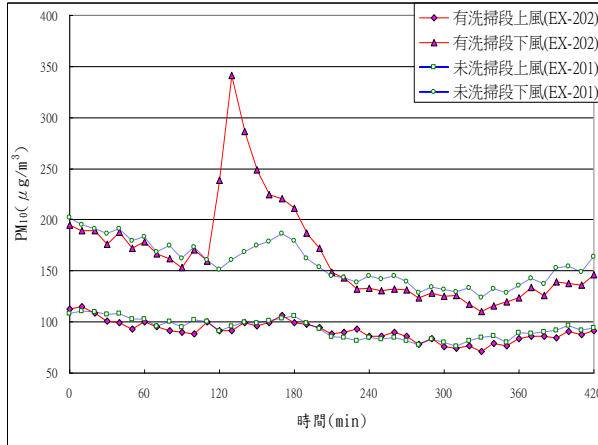


圖 1 執行洗掃作業 PM<sub>10</sub> 逐時變化圖

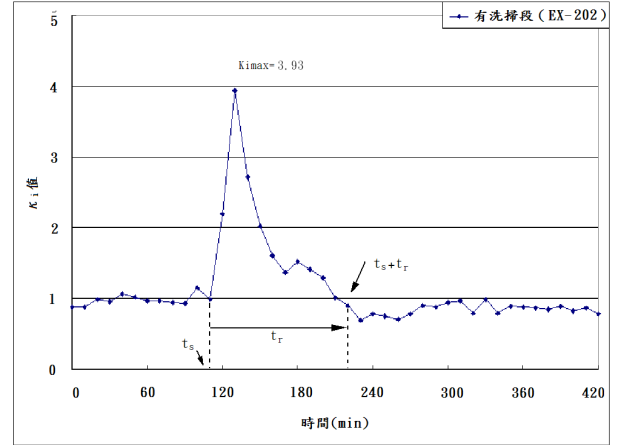


圖 2 洗掃作業之回復時間

## 二、街道洗掃作業成效

### 1. TSP 削減成效

本研究洗掃街作業之係先進行採取掃街工作，待掃街完成後隨即進行洗街，因為掃街具有清除車道上垃圾之功能，同時可以有效減除坭土量。而利用洗街車立即作業可以抑制因掃街車作業時，所導致因掃街造成街塵之再揚塵。利用掃街車與洗街車串聯操作，藉由高流量採樣器所得掃洗街區之 TSP 效率約為：17.6 ~ 22.2% (No.1)，7.3 ~ 12.7% (No.2)，26.9 ~ 29.2% (No.3)，10.3 ~ 13.2% (No.4)、-33.1 ~ 29.2% (No.5)、4.9 ~ 5.5% (No.6)。

就上述實驗結果，共有 24 組實驗數據，因洗掃作業造成 TSP 濃度瞬間增加，故在進行洗掃作業後，第 1 小時所測得的 TSP 濃度則不列入整體效益評估內，故 24 組次之  $\eta_T$  中，有 6 組不予考慮。而 18 組實驗數據中，其中 17 組次的洗掃效率呈現正值（即代表洗掃措施是具有效果），其結果如圖 3 所示。

### 2. PM<sub>10</sub> 削減成效

本研究針對台北縣九路段共 9 組次之 PM<sub>10</sub> 逐時變化監測之數據，利用本研究所定義之削減效率計算得之。結果發現其九路段之洗掃效率皆呈現正值（即代表洗掃措施具有效果），分別為：A 路段平均削減效率為 8.1%、B 路段 2.5%、C 路段 2.9%、D 路段 5.0%、E 路段 8.8%、F 路段 2.5%、G 路段 8.7%、H 路段 7.9% 及 I 路段 2.2%（如圖 4 所示）。

根據國內外相關文獻指出洗掃作業對粒狀物削減效率，其 TSP 之削減效率（ $\eta_T$ ）約為 33% ~ 47.6%，PM<sub>10</sub> 削減效率（ $\eta_p$ ）約為 7% ~ 47.9%，與本研究中實場所監測之結果（ $\eta_T$  為 13.7%、 $\eta_p$  為 5.4%）相比較，可發現洗掃作業確實對街塵逸散之抑制及空氣品質之提昇具有正面之效益。

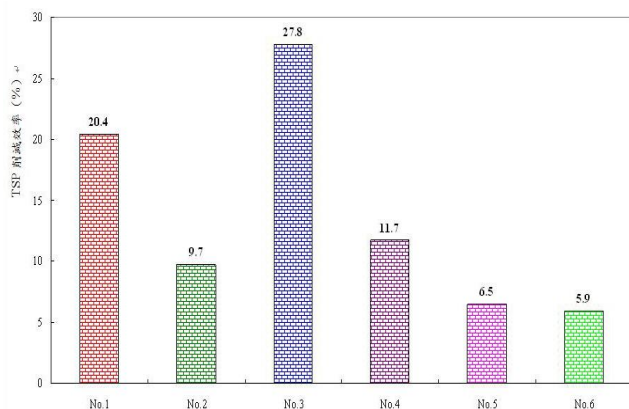


圖 3 各路段 TSP 削減效率圖

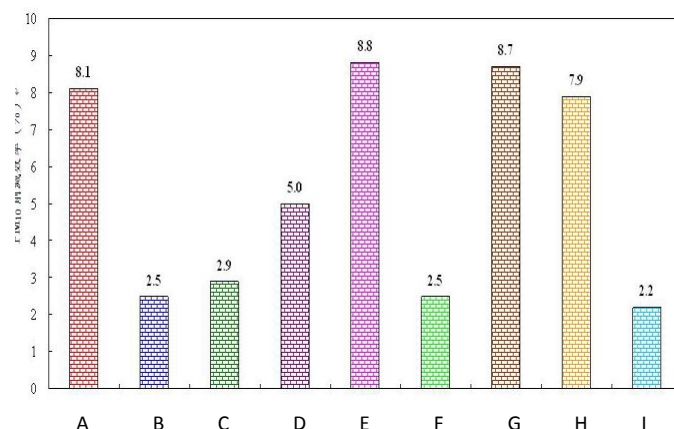


圖 4 各路段 PM<sub>10</sub> 削減效率圖

根據上述結果，迴歸分析 (Regression Analysis) 是一種統計分析方法，它利用一組預測變數 (或稱獨立變數) 的數值，對某一準則變數 (或稱應變數) 做預測，它也可以做為評估預測變數對準則變數的效用。迴歸的主要目的是做預測，目標是發展一種能以一個或多個預測變數的數值來做為應變數預測的方法。

本研究另從塵土及坭土實驗結果中發現  $\eta_p$  及  $\eta_T$  與坭土的削減率有一定的關係存在，未來將可藉由此推估式推估其洗掃作業對街道周界 PM 之削減成效，以提供政府機關及地方單位判斷洗掃作業頻率之依據。

以本研究為例，利用洗掃作業所測得之坭土平均削減率  $\eta_s = 36.1\%$ ，利用迴歸式，可推估出其  $\eta_T$  及  $\eta_p$  分別為  $16.1\%$  及  $6.1\%$  (如表 2)。與本研究實際所檢測出之  $\eta_T$  及  $\eta_p$  相差甚微，由此可知，假設利用洗掃作業測得出地面坭土之削減率，由此可得其 TSP 及 PM<sub>10</sub> 之削減率，並可藉由此效率來評估該路段須進行洗掃作業之頻率，以供參考。

表 2 洗掃效率之推估結果表

指標	迴歸式	推估值	實際值	標準偏差
$\eta_s$	---	---	36.1% (平均值)	---
$\eta_T$	$5.20/[0.175+2.5 \times 10^5 / (\eta_s)^4]$	16.1%	13.7%	$\pm 1.7$
$\eta_p$	$2.55/[0.274+2.5 \times 10^5 / (\eta_s)^4]$	6.1%	5.4%	$\pm 0.5$

#### 4. 結論與建議

##### 4.1 結論

1. 進行掃街工作時，由於機具施作特性造成街塵之再揚起，以及街塵與道路表面間之附著力降低，使得 PM 瞬間濃度增高。所以在洗掃作業之初期並無法提供有效的 PM 削減功效，反而造成該區域地表面空氣中更高的 PM。



2. 本研究利用掃街車與洗街車串聯操作，藉由高流量採樣器所得掃洗街區之TSP效率約為：17.6~22.2%(No.1), 7.3~12.7%(No.2), 26.9~29.2%(No.3), 10.3~13.2%(No.4)、-33.1~29.2%(No.5)、4.9~5.5%(No.6)。
3. 洗掃作業對PM<sub>10</sub>削減效率( $\eta_p$ )結果分別為：A路段平均削減效率為8.1%、B路段2.5%、C路段2.9%、D路段5.0%、E路段8.8%、F路段2.5%、G路段8.7%、H路段7.9%及I路段2.2%
4. 為抑制掃街車進行時所揚起之塵粒，本研究在掃街車後隨即配合洗街車，利用水分子之移動性(mobility)或包覆性影響塵粒之再揚起作用，以降低塵粒間之吸引力，再者利用洗街車之噴嘴壓力，藉由此作用力，將其塵粒由路面移除，以提高洗掃作業之去除成效。不論掃街車是否會引起PM濃度瞬間增高，而造成二次污染，本研究利用水之附著力及移動性，以掃街車在前，洗街車在後之方式進行洗掃，終能將部份之街塵去除，達到洗掃之正面效益，故施行洗掃作業為提高空氣品質之必要方法之一。

#### 4.2 建議

1. 由於進行洗掃作業時，掃街車之邊刷會擾動街塵使微粒揚起，一部份會被掃街車吸入車體內部，一部份則逸散至大氣中，造成周界PM濃度瞬間增高，故建議改善掃街車吸塵及防塵機制，避免造成二次污染。
2. 由於本研究進行實場量測時，其檢測時間為6~8小時，故所提出以坩土削減效率推估TSP及PM<sub>10</sub>之削減效率之迴歸二式，足以推估其洗掃作業後短時間內之洗掃效率，但經長時間後(2~3日)，是否仍足以推估其洗掃效率，則有待後續研究探討。

#### 參考文獻

- [1] Y. M. Chang, C. M. Chou, K. T. Su and C. H. Tseng, "Effectiveness of street sweeping and washing for controlling ambient TSP." Atmospheric Environment, 39, 2005:1891-1902.
- [2] K. T. Whitby and B. Cantrell, "Fine particles." In international Conference on Environmental Sensing and Assessments, Las Vegas, NV, Institute of Electric and Electronic Engineers, 1976.
- [3] 楊奇儒，積塵再捲揚作用對地面附近大氣粒狀物濃度之影響，碩士論文，國立成功大學環境工程學系，台南，1994。
- [4] 王竹方、蔡素芬、賴宏志、鄭曼婷，「鋪面道路街塵之元素組成及其粒徑分布」，第十五屆空氣污染控制技術研討會論文集，中壢，1998。
- [5] 楊忠盛，台北都會區懸浮微粒特性及來源之探討，碩士論文，國立臺灣大學環境工程所，台北，1999。
- [6] 江舟峰、楊錫賢、張皇珍、戴建安，都會區街塵清洗成效評估，第八屆氣膠科技研討會，新竹，Sep. 15-16, 2000。
- [7] M. S. Akhter and I. M. Madany, "Metals in street and house dust in bahrain." Water Air and Soil pollution, 66, 1993:111-119.
- [8] K. Axetell and J. Zell, "Control of reentrained dust from paved street," Epa-907/9-77-007, U.S. EPA, Region, Kansas City, MO, 1977.