

河床裸露地揚塵抑制工法之效益評估

洪祖健^[1*] 王勝賢^[2] 林德貴^[3]

摘要 台灣河川出海口之季節性揚塵災害日趨嚴重，揚塵抑制工法之施作效益逐漸受到重視。雖可藉由風洞試驗來進行各類工法之效益評估，但風洞試驗之邊界效應及模型尺寸對試驗結果影響極大，常無法實際反映工法之揚塵機制。目前各類工法之施作效益，由於缺乏大範圍的量測資料及明確的量化性指標，而難以進行評估。本研究先定義揚塵抑制效率 *FDRE* (Fugitive Dust Restrain Efficiency) 值，首先，模擬大安溪出海口裸露地揚塵污染區域，2008 年卡玫基颱風及鳳凰颱風過後，各類揚塵抑制工法施作前、後之揚塵濃度 PM_{10} 濃度，並計算法之 *FDRE* 值及施工成本(*Cost*)，即可求得工法之揚塵抑制效益(Fugitive Dust Restrain Benefit, $FDRB=Cost/FDRE$)。最後，並將揚塵 PM_{10} 濃度值轉換為空氣污染指標 *PSI* (Pollutant Standard Index)，來探討出海口揚塵期間之空氣品質。由分析結果顯示，若不考慮工法之施工成本時，採用水幕工法可獲得最高之揚塵抑制效率(*FDRE* 值最高)。反之，在考量施工成本之情況下，則以葉脈式水覆蓋工法最為經濟(*FDRB* 值最低)。另外，就池浸式水覆蓋工法而言，其覆蓋率與裸露地之揚塵抑制效果成正比。

關鍵詞： PM_{10} 濃度、揚塵抑制工法、空氣污染指標、揚塵抑制效率(*FDRE*)、揚塵抑制效益(*FDRB*)

Beneficial Analyses of Fugitive Dust Restrain Works on Bare Land of Riverbed

Tzu-Jian Hung^[1*] Sheng-Hsien Wang^[2] Der-Guey Lin^[3]

ABSTRACT. Due to the increasing severity of season fugitive dust at estuary area, the public agencies of government gradually pay more attention to various refrain works in practice. Although the benefit of various refrain works on fugitive dust can be evaluate by wind tunnel test in laboratory, the testing results are always influenced by the boundary effect and size effect of the model and unable to fully reflect the dispersion mechanism of fugitive dust in field site. At present, it is difficult to evaluate the benefit of various refrain works because of lacking of a definite and quantitative index. Incorporating with the construction cost a *FDRE* (Fugitive Dust Restrain Efficiency) value was defined to evaluate the refrain-efficiency and cost/benefit of various refrain works of fugitive dust constructed at the estuary of Da-An river during Ka-Maegi and Fung-Wong typhoons in 2008. Firstly, numerical simulations of fugitive dust emission were performed for the estuary area of Da-An river to calculate the concentration of PM_{10} with and without installation of fugitive dust refrain works and the corresponding *FDRE* values and construction cost(*Cost*). Subsequently, considering the construction cost and *FDRE* value one can determine the *FDRB* (Fugitive Dust Restrain Benefit= $Cost/FDRE$) values for various refrain works. Meanwhile, the simulations of fugitive dust concentrations were converted into a *PSI* (Pollutant Standard Index) value to evaluate the air quality during fugitive dust emission at the estuary. According to the analyses, without considering the construction cost, the water curtain method (or sprinkling method) is capable of providing the best refrain effect (with highest *FDRE* value) to fugitive dust emission. On the contrary, the vein-type watering covering method is the most economic method to fugitive dust refrain (with lowest *FDRB* value). In addition, the refrain effect of water covering method is positively increasing with the coverage ratio.

Key words: PM_{10} concentration, fugitive dust refrain works, pollutant standard index, fugitive dust refrain efficiency, fugitive dust refrain benefit.

[1] 國立中興大學水土保持學系研究生 (* 通訊作者 E-mail: canephoran@hotmail.com)

Graduate Student, Dept. of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan

[2] 國立中興大學水土保持學系博士生

PhD Student, Dept. of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan

[3] 國立中興大學水土保持學系教授

Professor, Dept. of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan

一、前言

台灣於 2008 年卡玫基颱風及鳳凰颱風過後，中部地區包括大安溪、大甲溪及濁水溪等流域出海口河床裸露地土砂淤積嚴重，加上冬季季風風場之影響，使得溪流出海口附近周遭地區之揚塵問題更趨嚴重。其結果造成空氣品質惡化，使得該地區居民之呼吸道健康及生活品質受到極大影響。因此，政府相關部門對於各類型揚塵抑制工法之有效性研究，更趨重視。同時，[行政院環境保護署 \(2008\)](#)於「[河川揚塵對中部大氣懸浮微粒影響程度之評估專案工作計畫](#)」中亦明確指出，在颱風過程中，各溪流之土砂經上游向下輸送，並於颱風過後在出海口區域形成大面積新裸露地，使得流域出海口區域之揚塵現象加劇，導致空氣中懸浮微粒濃度大幅增加。

[美國環保署 \(1992\)](#)特別針對揚塵源所散發之揚塵濃度及沉積量之演算，設計一數值型空氣品質計算模式 (computerized air quality model) — 揚塵模式 (*Fugitive Dust Model*)。FDM 之揚塵源可分為 3 類：點型揚塵源 (point source)、線型揚塵源 (line source) 及面型揚塵源 (area source)。使用者對每一揚塵源所產生之微型顆粒，可利用顆粒尺寸進行分級。同時，經 FDM 計算後，可得每一等級之重力沉降速度 (gravitational settling velocity) 及沉積速度 (deposition velocity)，進而探討揚塵現象所帶來之衝擊。

[Jason A. Roney \(2006\)](#)為了解揚塵或細小之空氣粒子受到風擾動時，不同的風速、風向、控制體積與粒子排放速度 (emission rate) 之相關性，進行了風洞試驗，如圖 1 所示。試驗發現，揚塵之 PM_{10} 濃度和風速的關係，可以擬合曲線表示 (如圖 2)。圖 1 中，風洞入口處 (右) 之揚塵粒子受到風的吹拂，被吹送至約 2.65 m 的離地高度；在出口處之離地高度則為 4.38 m。同時，由試驗進一步得知，揚塵排放率在地表起伏較大的地區，並不會有增加的趨勢，但揚塵 PM_{10} 濃度的變化則會趨於飽和狀態。

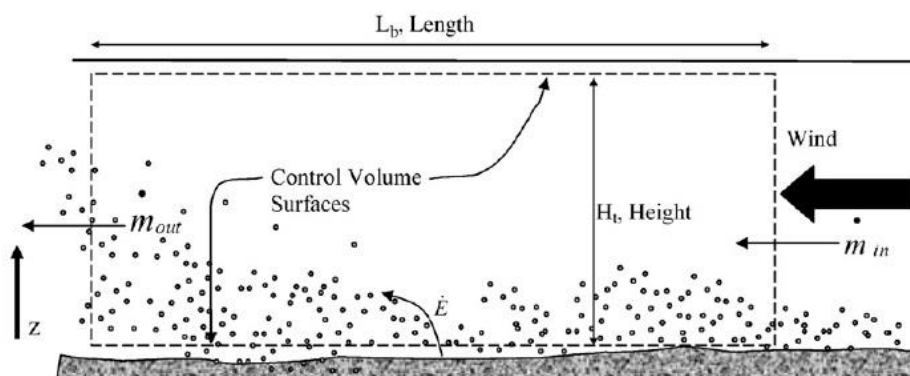


圖 1 風洞試驗配置圖 (Jason A. Roney, 2006)
Fig. 1 Configuration of wind tunnel test (Jason A. Roney, 2006)

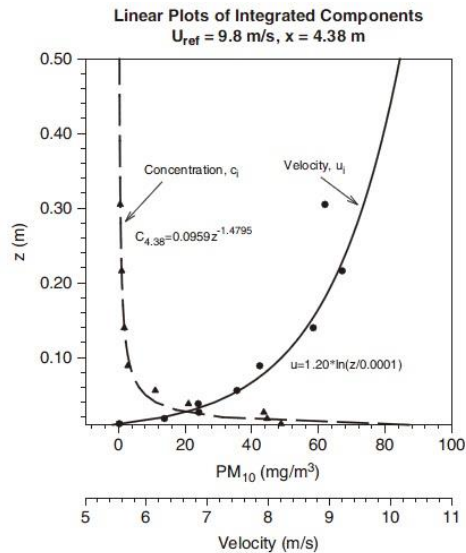



圖 2 風洞試驗 PM₁₀ 濃度和風速關係之擬合曲線 (Jason A. Roney, 2006)
 Fig. 2 The fitting curve of the relationship between PM₁₀ concentration and wind velocity (Jason A. Roney, 2006)

劉昱麟(2011)彙整台灣地區常用之揚塵抑制工法及其施工原理，如表 1 所示。

表 1 台灣地區常用之揚塵抑制工法及其施工原理

Table 1 The fundamental of the construction of fugitive dust restrain methods commonly used in Taiwan	
抑制工法名稱	工法理論
池浸式水覆蓋法	<p>於下游常流水之溪流旁建置引流口，將河水引入沉砂池以攔截與沉積土石，裸露地上建置攔水壩(土堤)並將河水引入，增加河水滯留時間，裸露地面積減少。</p>  <p>利用引流口將河水引入沉砂池內，以攔截沉澱土砂，隨之，於河床裸露地上，以葉脈之幾何形狀進行挖掘。水流引入主脈及支脈水路後，除了可直接減少裸露地之面積外，局部水覆蓋區內之流動水，亦可滲入周圍之裸露地中來增加裸露地砂粒含水率，並提升揚塵抑制效果。</p>
葉脈式水覆蓋法	
水幕法(灑水法)	<p>於河床兩岸上埋設灑水管線。配合現場裸露地之分布，約略採用水平間距 10 ~ 15 m 來裝設自動高壓灑水設施，並依現地之需求，調整灑水頭之灑水強度。此外，可搭配監視系統以便即時監控該地區之揚塵抑制狀況。</p>



利用植物根系對地表抓地力及其能減弱強風並攔阻飛砂之特性，以降低風速且改變風向，同時防止該覆蓋區飛砂移動及飛揚之現象，進而控制並降低揚塵逸散之現象。而植生覆蓋法又因風向之不同，可分為「縱向」及「橫向」。假定風向為西風，與風向平行之植生帶稱為「縱向」；與風向垂直之植生帶稱為「橫向」。

橫向、縱向植生法



近年來，政府相關部門已開始積極針對揚塵現象進行研究，並著手實施各項河川揚塵防制工作。水利署河川局於 2009 年起，陸續於大安溪、大甲溪及濁水溪施作水覆蓋法、河川護甲法、植生覆蓋法等抑制工法。工法完成至今，中部地區之揚塵現象已有明顯改善。但各項揚塵抑制工法之成效仍處於待評估狀態，目前尚無具指標性之揚塵抑制指數，來用以表示工法之有效性及適宜性。因此，本研究期望採用 *FDM* 揚塵模式之計算功能以及上述各類揚塵抑制工法之模擬技巧(劉昱麟, 2011)，來模擬工法配置前、後之 *FDM* 揚塵模擬結果，來探討各類型揚塵抑制工法配置之揚塵抑制效率(*FDRE*)及經濟性，亦即揚塵抑制效益(*FDEB*)評估。

二、研究區域概況

本研究採用大安溪作為研究對象。大安溪位於台灣中西部大台中、苗栗縣境內，北鄰後龍溪，南接烏溪，幹流長約 96 公里，流域面積約 758 平方公里，如圖 3 所示。屬亞熱帶氣候地區。冬夏季節盛行風向不同，每年 4 月至 9 月間盛行西南風，年平均雨量約 2,400 毫米，主要雨量來源為梅雨與颱風；每年 10 月至翌年 4 月盛行東北季風，雨量佔全年雨量 20% 以下，主因為中央山脈之阻隔。

雨量部分，5 月至 9 月為整年降雨最豐沛之時期。而 10 月開始至翌年 1 月之月平均降雨量約在 30 mm 以下。大安溪流域平均年降雨量約為 3,373 mm。依據「2007，經濟部河川管理辦法」中指出，大安溪流域汛期為每年 5 月至 11 月，其降雨量約為整年度之 80%；非汛期則為 12 月至翌年 4 月。

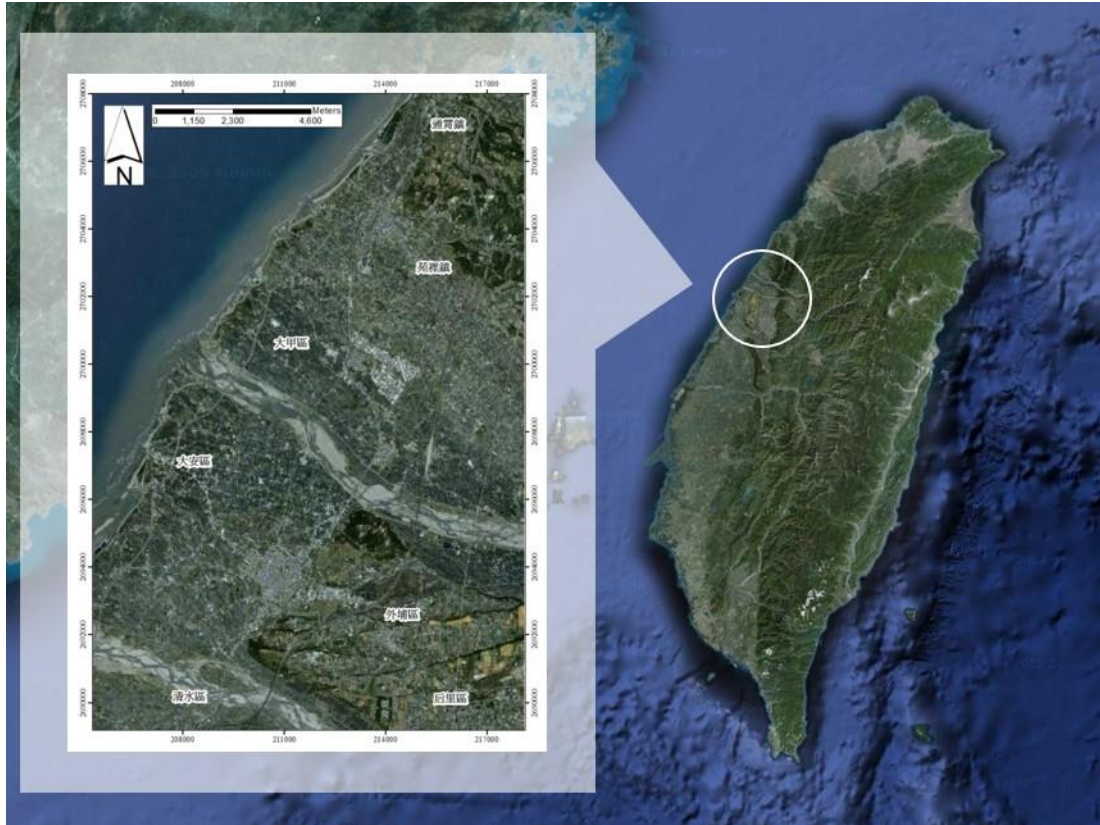


圖 3 大安溪出海口之地理位置
Fig. 3 Location of the estuary of Da-An river

三、研究方法

3.1 研究架構

本研究為了解大安溪出海口，施作揚塵抑制工法後，其揚塵抑制效率(*FDRE*)之評估。於選定模擬範圍後，進行現地調查，收集並彙整大安溪河段飛砂量與揚塵量之觀測資料。首先，本研究將河床裸露地視為面型揚塵源，故利用影像資料圖資，於 ArcGIS 地理資訊平台上進行原河段面型揚塵源之劃設；再進行揚塵抑制工法施作後之面型揚塵源劃設。

其次，在 *FDM* 模式中，根據現地調查之情況，選擇適合之氣象觀測站並選取其風場與溫度等氣象資料；輸入各項參數與氣象資料後，即可利用 *FDM* 模式進行裸露地施作揚塵抑制工法前後之揚塵濃度模擬。其中，裸露地工法施作前各受體點之模擬濃度值，需再與環保署空氣品質測站之實測值進行對照，若有差異甚大之情況，則需重新調整模擬參數之設定。

隨後，於 ArcGIS 地理資訊系統平台中，將 *FDM* 模式所模擬出工法施作前後各受體點之揚塵濃度值(即為 *FDM* 繪圖輸出檔之數據)，繪製成揚塵擴散及濃度分布圖，並判釋大安溪鄰近地區施作揚塵抑制工法後，其揚塵抑制之成效與其折減之趨勢。

再者，將工法施作前後各受體點之揚塵濃度模擬值，進行揚塵抑制效率(*FDRE*)之評估。最後，更換不同之揚塵抑制工法，再從頭進行揚塵濃度值模擬。其中，池浸式水覆蓋法尚須調整其覆蓋率(A_w/A_b) $\times 100\% = 20\%$ 、 40% 及 60% ，以討論最適用之覆蓋率。模擬後所轉換之 *FDRE* 值，繪製出池浸式水覆蓋法施作前、後之 PM_{10} 及揚塵抑制效率曲線圖。

本研究利用所繪製出的揚塵抑制效率曲線圖，進行大安溪研究地區揚塵潛勢之分析，討論原河道上裸露地之揚塵擴散情況及趨勢；揚塵抑制工法之效益，討論各工法對揚塵抑制之成效；大安溪地區 *PSI* 值之變化，討論施作工法前後，其對週遭地區之環境是否有空氣品質之改善，研究流程如圖 4 所示。

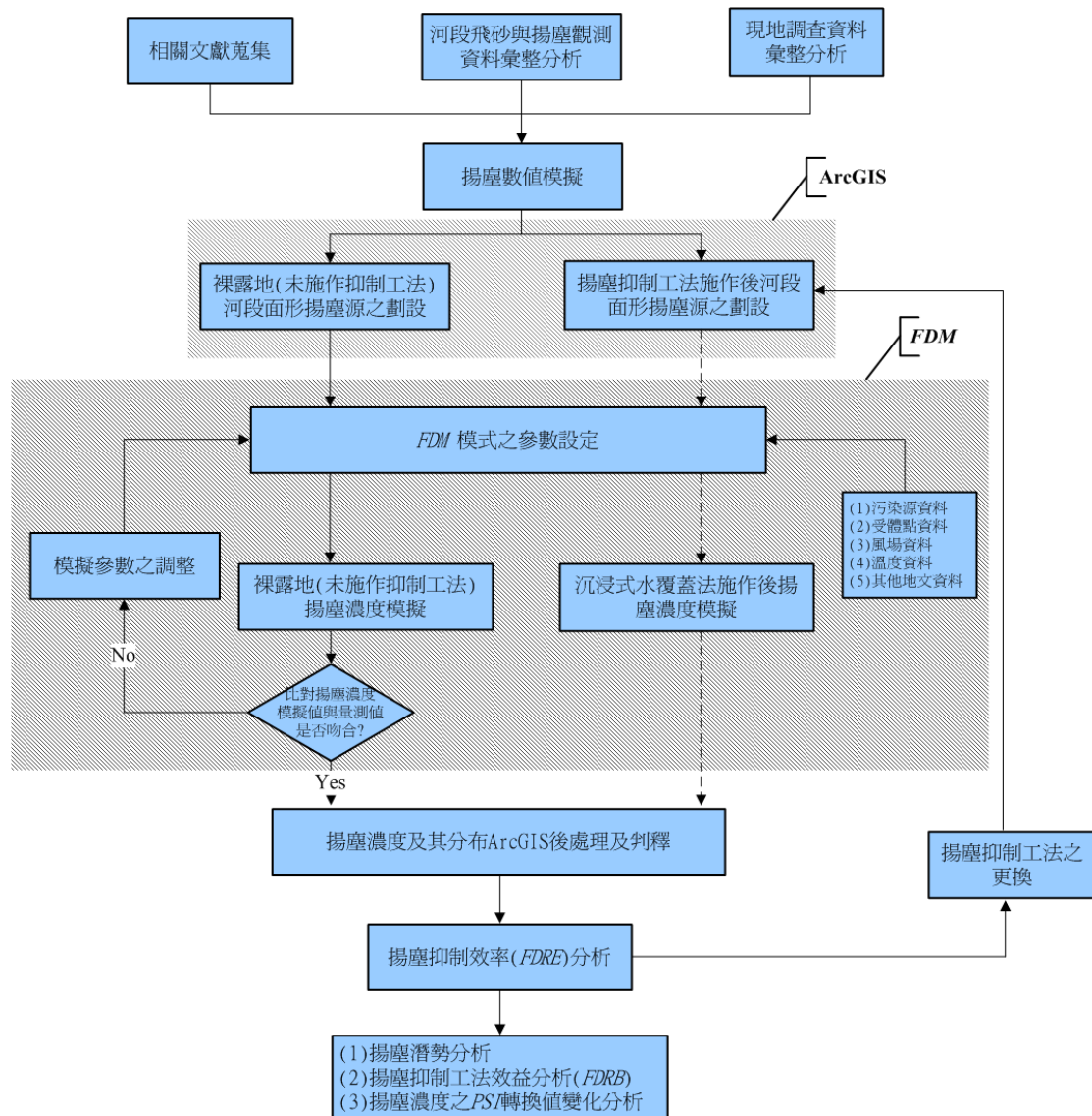


圖 4 研究流程及工作架構

Fig. 4 Flow chart and framework of the study

3.2 影像及氣象資料收集

為討論大安溪於 2008 年夏季，發生卡玫基颱風及鳳凰颱風後，大面積新裸露地揚塵現象加劇。故影像資料方面，採用 2008 年大安溪地區之航拍圖；氣象資料方面，採用 2008/9/01~2009/9/30 秋季(卡玫基颱風及鳳凰颱風後)與 2008/12/01~2008/12/31 冬季(季風現象明顯之季節)進行模擬。氣象測站部份，採用靠近出海口沿岸地區且接近大安溪模擬範圍之台中沙鹿測站。9 月屬秋季與冬季主要風向交替之過度期，其風向之分布較廣，但主要偏向西北西之方向；10 月份之風向偏屬冬季，其風速較大之主要方向與 11 月及 12 月相似，為西北西及西北方向。其中，越接近 12 月份，強風所佔之比例會隨之抬升。

根據揚塵逸散潛勢分析，可得知揚塵濃度模擬值，自模擬河段污染源開始以放射狀方式，向外呈現遞減之分布趨勢。故本研究沿主風向(西北方向)選定監測點(P₁~P₇)，進行模擬值監測，如圖 5 所示。

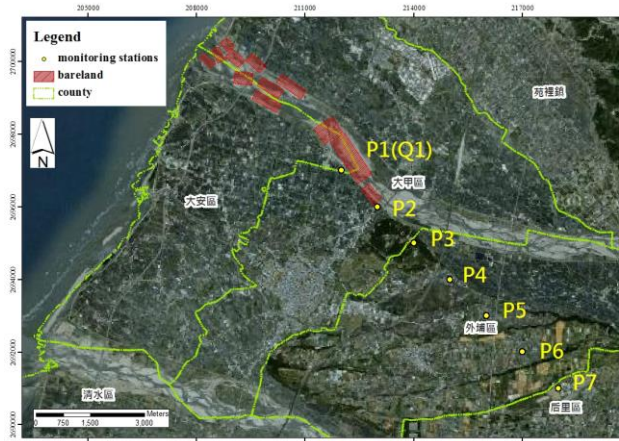


圖 5 大安溪揚塵抑制效率評估監測點(P1~P7)與 PSI 評估監測中心點 Q1 之位置
Fig. 5 Monitoring stations (P1~P7) for FDRE (Fugitive Dust Refrain Efficiency) evaluation of Da-An river and monitoring central point (Q1) for PSI evaluation

3.3 數值模擬

3.3.1 面型揚塵源

在 *FDM* 中，對於面型揚塵源(河床裸露地)之設定，揚塵源形狀必須為矩形，使用者僅需輸入矩形面積中心之 *x*-及 *y*-方向座標，以及矩形面積之邊長(*B*, *L*)，且其矩形長寬比(L/B) (ratio of width to length)不得大於 5 ($L/B \leq 5$)。若面型揚塵源之長寬比(L/B) > 5，則可將此面型揚塵源分割為一系列較小且符合長寬比規定之小面型揚塵源，來進行揚塵模擬演算，面型揚塵源劃設原則如圖 6 所示。

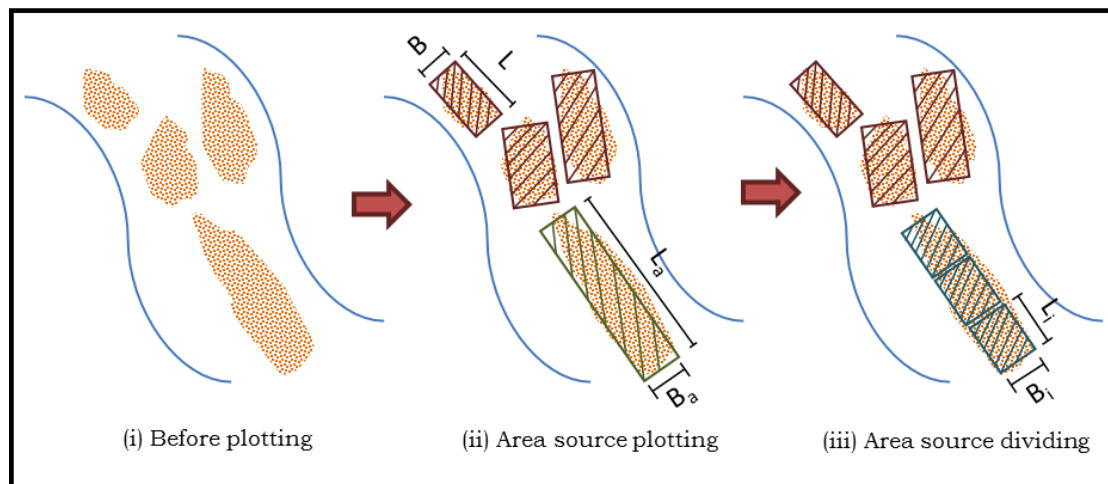


圖 6 面型揚塵源劃設原則
Fig. 6 Delineation of area-type fugitive dust source

3.3.2 各揚塵抑制工法之模擬假設條件

在 *FDM* 分析模式中，並針對不同揚塵抑制工法之配置現況，採用不同之演算技巧進行揚塵抑制工法數值模擬。其中，(1)水幕法(亦稱灑水法)，採用折減後之排放率，來模擬受水幕影響之覆蓋區；(2)池浸式水覆蓋法，採用零排放率來模擬開挖之低窪區(局部裸露地)完全浸泡於水面下之水覆蓋區，而採用原始排放率來模擬土堤(裸露地)區；(3)葉脈式水覆蓋法，採用原始排放率來模擬水路未覆蓋之裸露地。再者，採用折減排放率來模擬裸露地與水路邊界之局部區域，此區域由於水路水流之入滲而具潤濕效果。最後，採用零排放率來模擬水路區域；(4)縱橫向植生法，採用折減排放率來模擬植生鋪設及受植生遮蔽之裸露地。另外，採用原始排放率來模擬無法受植生區遮蔽之裸露地，如表 2 所示。

表 2 *FDM* 模式各揚塵抑制工法之模擬假設條件

Table 2 Assumptions in numerical simulation for various fugitive dust restrain methods in *FDM* model

編號	抑制工法名稱	工法模擬之假設條件
1	池浸式水覆蓋法	池浸式水覆蓋區採用零排放率
2	葉脈式水覆蓋法	1. 裸露地(未覆蓋區)採用原始排放率 2. 裸露地/水路邊界局部區域採用折減排放率
3	水幕法(灑水法)	3. 水路區採用零排放率 水幕覆蓋區採用折減後之排放率為 31.7%
4	橫向、縱向植生法	1. 無法受植生區遮蔽之裸露地採用原始排放率 2. 可受植生區遮蔽之裸露地採用折減排放率 3. 植生區採用折減排放率

3.3.3 揚塵抑制效率(*FDRE*)及效益(*FDRB*)分析

將 *FDM* 分析模式之 PM_{10} 揚塵模擬濃度值，可採用模擬濃度值 $20 \mu\text{m}^3$ 作為 1 個等級，共劃分為 10 級(最高濃度模擬值 = $10 \times 20 = 200 \mu\text{m}^3$)。

為瞭解水覆蓋工法之抑制率，對出海口區之揚塵改善效果影響，可採用工法施作前、後之揚塵濃度模擬值來定義揚塵抑制效率(*FDRE*)如下：

$$\text{揚塵抑制效率 (FDRE)} = \frac{[(PM_{10})_{\text{施作前}} - (PM_{10})_{\text{施作後}}]}{(PM_{10})_{\text{施作前}}}$$

再將各施作工法後之 *FDRE* 值與施作成本來定義揚塵抑制效益(*FDRB*)如下：

$$\text{揚塵抑制效益 (FDRB)} = (\text{cost}) / (FDRE)_{\text{平均值}}$$

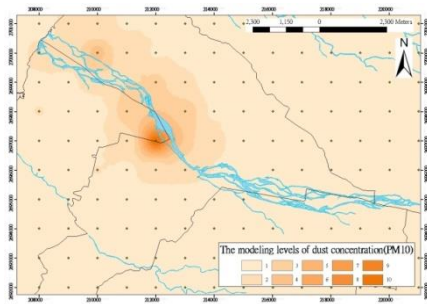
四、結果與討論

本研究在大安溪裸露地模擬各類型揚塵抑制工法之配置，並依據各工法之數值模型假設條件，進行各工法之揚塵抑制效益評估。其中，由於 2008 年 9 月各工法之揚塵抑制成效較為顯著，因此提出各階段之分析結果，進行討論。最後，並比較各類型揚塵抑制工法之揚塵效益高、低，作為爾後實際施作之參考。

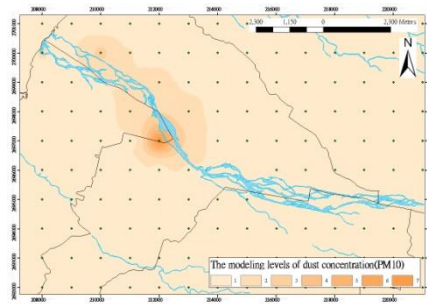
4.1 揚塵逸散潛勢分析

由 GIS 與 *FDM* 模式進行結合，將模擬濃度值使用等級作劃分，稱為揚塵抑制效率(*FDRE*)。圖 7(a) 為 2008 年 9 月份 PM_{10} 揚塵逸散模擬情況。該月份介於風向交替之過渡期，其風向與風速皆無一穩定方向。因此，大安溪出海口附近地區之揚塵污染嚴重，其逸散範圍廣泛，且最高濃度值達到 $198.92 \mu\text{m}^3$ 左右。

而由圖 7(b)~(h) 為實施各工法後，揚塵污染濃度改善之狀況。和圖 7(a) 比較後發現，揚塵污染情況明顯改善(由 1~10 及降低至 1~3 即甚至更低)。



(a)



(b)

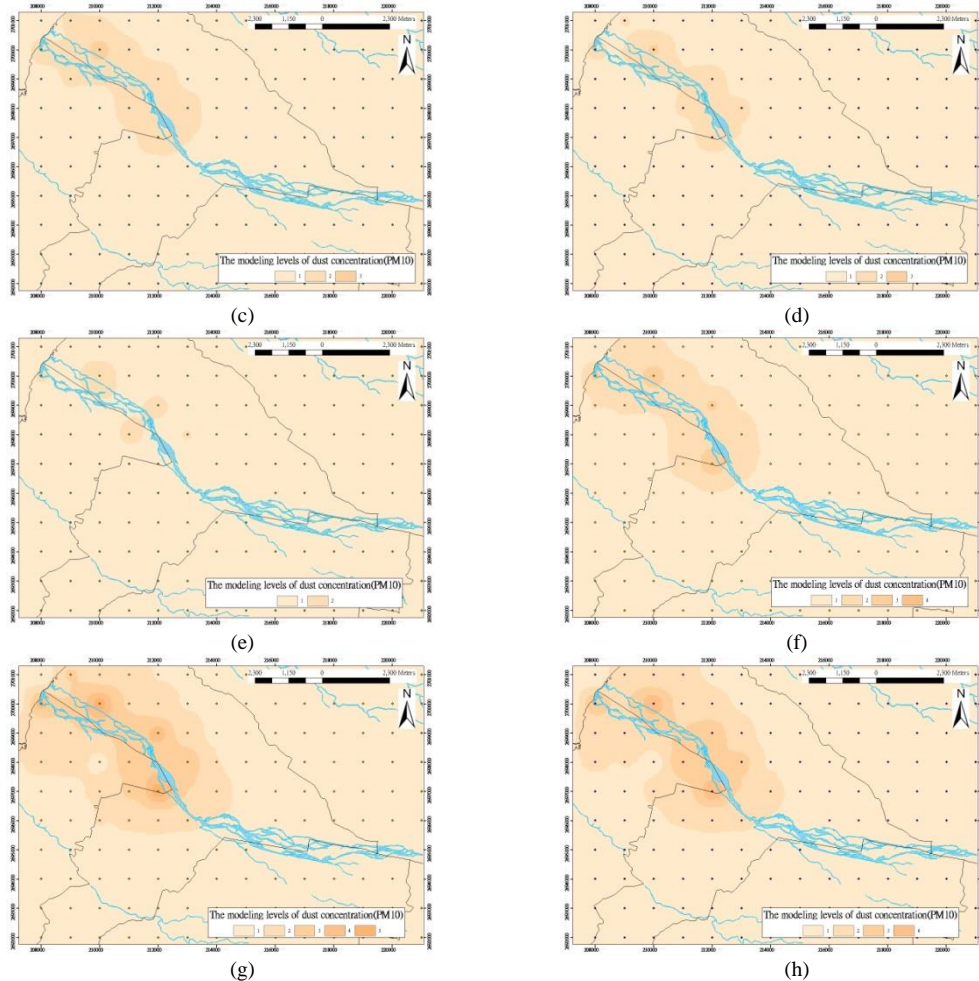


圖 7 2008 年 9 月 PM₁₀ 揚塵逸散模擬情況 (a) 裸露地 (b) 灑水法 (c) 池浸式水覆蓋法 覆蓋率 20% (d) 池浸式水覆蓋法 覆蓋率 40% (e) 池浸式水覆蓋法 覆蓋率 60% (f) 葉脈式水覆蓋法 (g) 縱向植生法 (h) 橫向植生法

Fig. 7 Simulation of PM₁₀ concentration, in September, 2008 (a) bareland (b) water curtain method (c) watering cover method with covering rate of 20% (d) watering cover method with covering rate of 40% (e) watering cover method with covering rate 60% (f) vein-type-type water cover method (g) longitudinal vegetation covering (h) transverse vegetation covering

4.2 揚塵抑制工法綜合分析

本節之主要內容，在比較各揚塵抑制工法於大安溪裸露地施作後之揚塵抑制效率，並據以評估工法之效益分析。

4.2.1 揚塵模擬濃度

為評估各揚塵抑制工法施作後之揚塵抑制效率，在 FDM 揚塵模擬中乃選定沿主風向(西北方向)之 7 個監測點 (P1~P7)，如圖 5 所示。其中，由於 P1 及 P2 之揚塵抑制效率遠大於 P3~P7 者且差異值甚大，因此乃將計算結果中，以 P3~P7 一組，繪製圖表進行分析。

圖 8 為各揚塵抑制工法在施作前、後，各監測點(P3~P7)上之揚塵模擬濃度變化。選定 2008 年 9 月冬季風開始時(本月揚塵逸散情況較其他月份嚴重)之揚塵模擬結果進行討論。由圖中可知，裸露地施作揚塵抑制工法前，P3 監測點揚塵濃度為 24.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。施作(1)池浸式水覆蓋法，覆蓋率= 20%、40%、60%；(2)葉脈式水覆蓋法；(3)水幕法；(4)縱向植生法及(5)橫向植生法之揚塵抑制工法後，其揚塵濃度分別降低為：

(1)池浸式：20.53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (覆蓋率= 20%)、16.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (覆蓋率= 40%)、13.34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (覆蓋率= 60%)

- (2)葉脈式：11.00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- (3)水幕法：7.67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- (4)縱向植生法：16.98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- (5)橫向植生法：15.86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

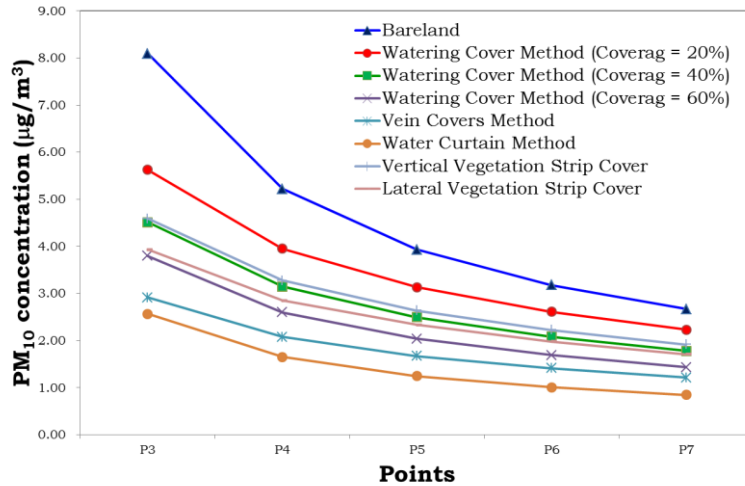


圖 8 揚塵工法施作前、後，監測點位(P3~P7)之揚塵模擬濃度 PM_{10} 變化趨勢
 Fig. 8 Simulation of PM_{10} concentration at monitoring stations (P3~P7) before and after construction of various fugitive dust restrain methods in September, 2008

4.2.2 揚塵抑制效率分析

由模擬分析結果得知，各揚塵抑制工法配置後，以水幕法(亦稱灑水法)之揚塵抑制效率(*Fugitive Dust Restrain Efficiency, FDRE*)為最佳，亦即此工法對裸露地之揚塵排放率折減效果最佳，如表 3 所示。其次之揚塵抑制工法為葉脈式水覆蓋法、池浸式水覆蓋法(覆蓋率 = 60%)、橫向植生法、池浸式水覆蓋法(覆蓋率 = 40%)、縱向植生法及池浸式水覆蓋法(覆蓋率 = 20%)。然而，水幕法之配置仍需考量其先天之限制條件，此工法受限於必須定期灑水，且須配置於水資源豐沛之區域。因此，本計畫未來在進行工法效益評估分析時，乃先假設各工法均已配置於其最適當之位置，而只須評估工法本身之行為特性。

表 3 各工法之揚塵抑制效率

Table 3 The *FDRE (Fugitive Dust Restrain Efficiency)* value of various fugitive dust restrain methods

揚塵抑制工法	<i>FDRE</i>	揚塵抑制工法	<i>FDRE</i>
水幕法	68.32%	葉脈式水覆蓋法	54.56%
池浸式水覆蓋法 (20%)	15.2%	縱向植生法	29.86%
池浸式水覆蓋法 (40%)	31.39%	橫向植生法	34.49%
池浸式水覆蓋法 (60%)	44.9%		

4.2.3 揚塵抑制效益分析

圖 8 已針對 PM_{10} 揚塵模擬濃度值進行分析，討論裸露地進行各揚塵抑制工法設置後，其揚塵抑制效率(*FDRE*)之變化。本節將利用各工法施作後之 *FDRE* 值及施作成本(如表 4)，來進行揚塵抑制效益(*FDRB*)分析。

其中，工法成本應以單價(元/每平方公尺)作計算。當 *FDRB* 值越高時，代表該揚塵抑制工法之施作越為經濟。

表 4 揚塵抑制工法之工法成本

Table 4 The construction cost of various fugitive dust restrain methods

揚塵抑制工法	*成本(元/公頃)	成本(元/ m^2)

水幕法	208,000	20.8
池浸式水覆蓋法	300,000	30
葉脈式水覆蓋法	100,000	10
縱向植生法	160,000	16
橫向植生法	160,000	16

*2010 成本調查資料

如表 5 所示，各揚塵抑制工法配置後，以葉脈式水覆蓋法為 *FDRB* 值分析中最高，亦即此揚塵抑制工法為其最經濟之選項。其次之揚塵抑制工法為水幕法、橫向植生法、縱向植生法、池浸式水覆蓋法（覆蓋率 = 60%）、池浸式水覆蓋法（覆蓋率 = 40%）及池浸式水覆蓋法（覆蓋率 = 20%）。

表 5 各工法之揚塵抑制效益

Table 5 The *FDRB* (*Fugitive Dust Refrain Benefit*) value of various fugitive dust restrain methods

揚塵抑制工法	<i>FDRB</i> (元/抑制百分比)	揚塵抑制工法	<i>FDRB</i> (元/抑制百分比)
水幕法	0.033	葉脈式水覆蓋法	0.062
池浸式水覆蓋法 (20%)	0.010	縱向植生法	0.026
池浸式水覆蓋法 (40%)	0.015	橫向植生法	0.030
池浸式水覆蓋法 (60%)	0.018		

五、結論與建議

5.1 結論

- 1.將收集好之各項風場、溫度、及各項參數資料，代入 *FDM* 模式進行揚塵濃度逸散分析。由結果可顯示在模擬施作工法前，大安溪在卡孜基及鳳凰颱風過後所產生之大面積裸露地，搭配季節季風的吹送下，其揚塵污染程度已逐漸惡化，甚至最高揚塵濃度值在未來可能超過 200 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ 左右。
- 2.從池浸式水覆蓋工法效率評估中，施作工法後，距離主要污染源半徑 1.5 km 內之地區，其揚塵抑制效果最好，其 *FDRE* 值不論覆蓋率為何至少大於 0.5；距離主要污染源半徑 1.5 km 以外之地區，其揚塵抑制效果則較一致(*FDRE* 值趨於一定值)。再者，由效益評估曲線圖中顯示，工法覆蓋率對整體之揚塵抑制效果成正比，但其 *FDRE* 有一極限值，並非隨覆蓋率之增加而無限制的上升。最後，將池浸式水覆蓋法之現地施作納入研究分析考量，則建議工法覆蓋率最高施作至 60%，其揚塵抑制可達到最經濟之效果。
- 3.從 *PSI* 值變化分析可了解，大安溪河口地區之空氣品質，經工法施作模擬後，皆從普通或不良降至良好。
- 4.由揚塵抑制工法綜合分析中可得知：若不考慮施工成本時，水幕法為揚塵抑制工法中，對於降低揚塵排放率最為良好之選擇；加入施工成本後，總體施作最為經濟之工法為葉脈式水覆蓋法，其 *FDRB* 值為 0.062。

5.2 建議

- 1.目前現地觀測及試驗相關文獻中，有關 $\text{PM}_{2.5}$ 自動監測與手動監測方面，尚無直接與空氣品質標準之比較。因此，在未來可再詳細針對 $\text{PM}_{2.5}$ 依循本研究之流程進行揚塵災害之研究分析。
- 2.揚塵抑制工法現地運作方面，其工法之耐久度尚未列入揚塵抑制分析當中。該工法可能因施作後，經降雨或颱風導致揚塵抑制效果之變化；經洪水沖毀後，其是否會造成揚塵污染現象惡化。故未來可帶入時間變化之因子，討論其各揚塵抑制工法之 *FDRE* 值隨時間推移之變化。

五、參考文獻

- 1.游繁結 (1989)，「濁水溪河口飛砂量之調查與研究」，農林學報第 38 卷第 1 期，第 75 頁-104 頁。
- 2.吳昌翰 (2006)，「台中港海岸飛砂量推估之研究」，國立中興大學水土保持學系研究所碩士論文。
- 3.行政院環境保護署 (2008)，「河川揚塵對中部大氣懸浮微粒影響程度之評估專案工作計畫」，中山醫學大學執行。

- 4.臺中縣環境保護局 (2008),「臺中縣河川流域稽查管制及裸露地揚塵改善計畫」,弘強工程顧問企業有限公司執行。
- 5.孫孟祺(2008),「利用受體模式推估中部空品區受到河川揚塵之影響」,碩士論文,國立中興大學環境工程研究所。(Suen M.C. (2008),”A Study for Using Receptor Model to Analysis the Affect of River Bank in Central Air Quality Area”, Master's thesis, National Chung Hsing University, Institute of Environmental Engineering.)
- 6.范姜明威 (2010),「臺灣中部河口飛砂及揚塵之調查與研究」,國立中興大學水土保持學系研究所碩士論文。
- 7.經濟部水利署第三河川局 (2010),「大安、大甲及烏溪揚塵防制改善試辦計畫」,弘強工程顧問企業有限公司執行。
- 8.劉昱麟 (2011),「以數值方法探討河口揚塵排放行為」,國立中興大學水土保持學系研究所碩士論文。
- 9.Arpaçioğlu C. B. & Er C. (2003), “Estimation of Fugitive Dust Impacts of Open-Pit Mines on Local Air Quality – A Case Study: Bellavista Gold Mine, Costa Rica,” 18th International Mining Congress and Exhibition of Turkey - IMCET.
- 10.Bagnold, R.A. (1954), “The Physics of Wind Blown Sand and Desert Dunes,” Chapman and Hall.
- 11.Ermak, D. L. (1977), "An Analytical Model for Air Pollutant Transport and Deposition from a Point Source," *Atmospheric Environment*, Vol.11, pp. 231-237.
- 12.Gurdeep S., Jyoti Prabha, and Soma Giri(2002), “Comparison And Performance Evaluation of Dispersion Models FDM and ISCST3 for A Gold Mine at GOA,” *Journal of Industrial Pollution Control*, Vol. 22(2), pp. 297-303.
- 13.Humberto B., Rattan L.(2008), “Principle of Soil Conservation and Management,” Springer.
- 14.Sabah A. Abdul-Wahab (2006), “Impact of fugitive dust emissions from cement plants on nearby communities,” *Ecological Modeling* Volume 195, Issues 3-4, 15 June 2006, Pages 338-348.
- 15.Sivacoumar R., Mohan Raj S.,Chinnadurai Jeremiah and Jayabalou R. (2009), “Modeling of fugitive dust emission and control measures in stone crushing industry,” *Journal of Environmental Monitoring*.
- 16.S. Zoras, A. G. Triantfyllou and D. Deligiorgi (2006), “Atmospheric stability and PM10 concentrations at far distance from elevated point sources in complex terrain: Worst-case episode study”, *Journal of Environmental Management*, 80 : 295~302.
- 17.USEPA (1992), “User’s Guild for the Fugitive Dust Model(FDM),” – Volume I – User Instruction.
- 18.Zhibao, D., “The flux profile of a blowing sand cloud: A wind tunnel investigation,” *Geomorphology*, Vol. 49, pp. 219-230 (2002).
- 19.Jason A Roney, Bruce R.White (2006), “Estimating fugitive dust emission rates using an environmental boundary layer wind tunnel,” *Science Direct, Atmospheric Environment*, Vol.40,pp.7668-7685.
- 20.Dae Seong Kim, Greg H. Cho and Bruce R. White (2000), “A Wind-tunnel Study of Atmospheric Boundary-layer Flow over Vegetated Surfaces to Suppress PM10 Emission on Owens (Dry) Lake,” *Department of Mechanical and Aeronautical Engineering*.