花蓮地區河床裸露地風飛砂防治對策研究

林紘原

萬能科技大學環境工程系 副教授

摘要

花蓮縣主要河川裸露地在枯水期間衍生的風飛砂問題已嚴重影響民眾的生活。綜合各地區敏感族群的描述與現地調查結果，花蓮地區風飛砂發生月份大多為6~9月，少部份發生在3~5月與10~12月。發生地區以花蓮溪、木瓜溪、壽豐溪公告採砂地區以及和平溪、立霧溪河口以及秀姑巒溪玉里段等河床容易淤砂的地區。發生風飛砂現象之前氣候持續乾燥幾天。發生狀況通常是室外一片白茫然，能見度至200m，嚴重情況可持續半小時，並可隨這風勢強弱斷斷續續持續幾小時到整個白天。本研究除進行上述疑似風飛砂嚴重地區相關補充調查與植栽試驗工作外，也提出「花蓮縣風飛砂發生區域空間分布圖」與短、中、長程之防砂對策，可供花蓮縣政府以及各界後續推動風飛砂防治工作之參考。

關鍵詞：空氣品質、風飛砂、沙塵暴、氣膠、裸露地

一、前言

1.1研究背景

近年來花蓮縣花蓮溪與木瓜溪交會處至壽豐溪一帶，於每年秋冬季節，因強勁的東北季風造成特殊的風飛砂現象，使附近的村落、街道及台九線到處灰濛濛一片。嚴重影響民眾之生活品質，並屢接獲民眾的抱怨。據「花蓮縣特性產業空氣污染管制計畫」之調查結果：枯水期雨水少，河川水位下降，河床經豐水期之沖刷或人為之擾動，變得較不穩定而且鬆軟，細沙經日曬乾燥後，容易在強勁季風吹動下形成揚塵，是造成本地風飛砂重要原因。影響所及，除了導致空氣品質劣化，增加落塵量外，也可能影響縣民健康與花蓮縣觀光品質。

1.2研究目的

本研究目的主要為(1)掌握花蓮縣境內主要河川裸露地風飛砂的時間與空間特性；(2)探討花蓮縣風飛砂產生原因，尤其要了解是否有不當的人為干擾；(3)彙整國內外案例或相關文獻，擬定風飛砂可行之防制策略。

二、形成風飛砂的環境因素

2.1粒徑對風飛砂傳送距離的影響

砂粒可以被揚起並傳送的距離與砂粒的粒徑、比重、風速、揚起高度、濕度等有關。粒徑小於100μm(0.1mm)的粒子屬於懸浮性微粒，也是構成砂塵暴遠距傳輸最主要的粒徑範圍；粒徑介於100~1000μm (0.1~1.0 mm)的粒子屬於彈跳性微粒，也是落塵的主要粒徑範圍，雖然其移動距離相對減低，但對於鄰近河川地區的居民仍有影響；粒徑大於1000μm的粒子屬於滾動性微粒，移動距離不遠，對空氣品質影響有限。另由粒子理論的終端沉降速度分析比重為2.0，風速與直徑對河砂傳輸距離的影響如表1所示。

表1 比重2.0之球形粒子受到風砂颳起的傳送距離分析

砂粒分類	粒徑(μm)	終端沉降速度(m/s)	風速(m/s)	理論傳送距離(km)	
				揚起高度=50 m	揚起高度=100 m
懸浮性	50	0.152	2.5	0.8	1.6
			7.5	2.5	4.9
			15	6.6	13.2
	100	0.457	2.5	0.3	0.6
			7.5	0.8	1.7
			15	2.2	4.4
彈跳性	500	3.063	2.5	0	0.1
			7.5	0.1	0.2
			15	0.4	0.6
滾動性	>1,000	6.096	-	可忽略	可忽略

資料來源：本研究計算結果。

2.2形成花蓮縣風飛砂的環境因素

2.3.1地形因素

花蓮縣境內多山地，高度在海拔一百公尺以下者，僅佔全縣面積的9%，河川佔全縣面積之6%。其裸露地或由海岸堆積、河川沖積、洪涵地堆積，或因地盤隆起與河流改道襲奪而成。花蓮縣主要河川屬於荒溪型，河口沖積扇地在的網路狀流路下，河灘低灘地型變化大，淤泥堆積或流失很不穩定，對於富保水能力與養份的表土與沙地植物之固定均不很利，導致地勢緩和的河灘低地容易積砂，植被生長不易，為具風飛砂潛力的地理區域。此外，縱谷地形形成一個走廊，在東北季風期間，很容易把河口的砂子順勢導向縱谷地區。

2.3.2氣象因素

(1)降雨

花蓮縣年平均降雨量為2070.72mm，以七~十月雨量最多(223.43~ 404.03mm，占55.25%)；以十二~四月雨量最少(54.14~88.94mm，占17.97%)。夏季6~8月雨量雖多，但多拜颱風過境豪雨之賜，降雨日數反而為全年最低。因此在夏季持續多日晴天下，往往導致河床水位置下降，河灘裸露地面積大增，不利於植物生長，而利於風飛砂的形成。

(2)風場

(a)海陸風型

夏季秋初期間(6~9月)降雨量較低，河床乾燥，加上河海交接處，特別是砂石裸露地與海水比熱差異甚大，很容易形成海陸風效應。早上10時至15時河床颳起陣陣海風，往內陸吹，河床乾燥時很容易揚起風飛砂。

(b)西南季風型

當夏秋季西南季風較強的時候，離河口地區較遠的河灘裸露地也可能揚起風飛砂，受影響地區以中下游河段下風地區為主。

(c)颱風外圍環流型

當夏秋期間颱風接近本島時，若尚未帶來雨水，且外圍環流越過中央山脈吹向花蓮平原，往往引發焚風效應，加速河床的乾燥化。在強風下可引起類似「沙塵暴」的大規模風飛砂現象。

(d)東北季風型

入秋至10月底，東北季風漸強，則出現東北季風型風飛砂(通常10月底前降雨仍少，河床裸露地面積與夏季相似；由河口往內陸吹，風速較強，時間較長，影響範圍也較大，且由於縱谷地型，迎向東北方的花蓮溪河灘地砂塵可以被吹送到更內陸的地區。

三、花蓮縣風飛砂嚴重地區診斷與成因分析

3.1風飛砂嚴重地區之研判步驟

基於本計畫研究時程短暫，無法進行風飛砂事件之長期監測與模擬，有關花蓮縣河川裸露地風飛砂可能嚴重地區之研判，只能由裸露地現況與相關調查資料做綜合判斷，所採用的判定流程如圖1所示。

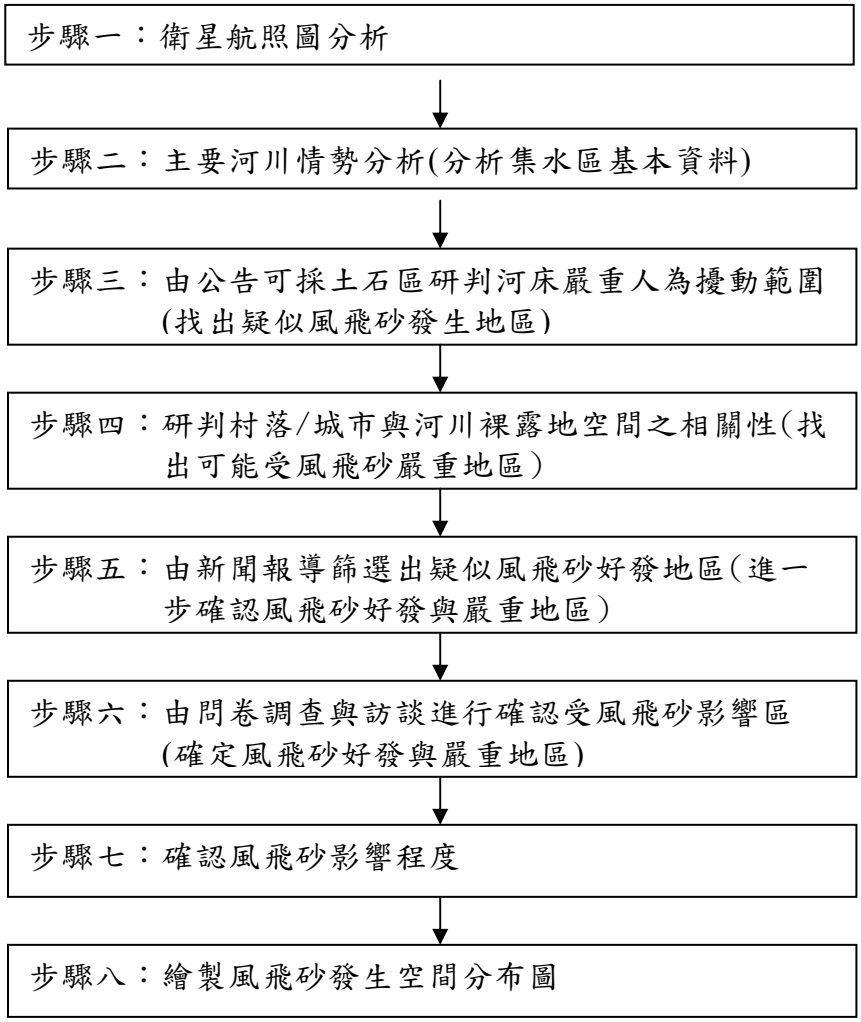

圖1 風飛砂發生與嚴重地區診斷流程圖

步驟一：衛星航照圖分析

本項分析目的在藉由衛星航照圖掌握各河川裸露主要分布地範圍與上游水土保持情形。裸露地面積越大，地形越開闊，植被越稀疏，且鄰近地區內有村落或觀光景點，形成為風飛砂嚴重地區的可能性越高。

步驟二：主要河川情勢分析

本項資料分析主要在了解河川基本河況，包括河堤位置、激流、淺灘、岸邊緩流之分布以及河灘地植被分布與動植物生態狀況。若生態越多元，植被越完整，風飛砂之影響越低。由水利署第九河川局於94年重得花蓮溪與秀姑巒溪河川情勢調查報告中可以掌握的花蓮溪與秀姑巒溪(尤其是中上游集水溪)的基本河況，河灘地植被生態則無資料。

步驟三：由公告可採土石區找出疑似風飛砂發生地區

由第九河川局提供之花蓮溪與秀姑巒溪可開採砂石計畫書，可以看出這兩條溪歷年河砂量、河床高程變化情形。並可以確定開採砂石所造成的人為擾動區域。若無嚴格的開採行為管制，砂石車行揚塵與不當堆積(缺乏有效覆蓋)可能帶來高量風飛砂。此外，高灘地可能被挖除，植被生態珍貴的表土種子庫也將隨之消失，使裸露地復育難度增加；挖取砂石也可能導致溪水改道或經過槽化，使溪水位下降，影響高灘地層水份含量。由於這類人為擾動相當常見，且裸露情況特別嚴重。因此，公告可採土石區為風飛砂發生地區的機率非常高。

步驟四：研判村落/城市與河川裸露地空間之相關性

本研究以上述河川裸露地在季風下風區3 km內是否有村落型或市鎮型住戶或重要觀光景點為篩選條件。符合這些條件的地區為疑似受風飛砂影響地區，包括了前述各鄉鎮中的鄰近溪流的地區。

步驟五：由新聞報導篩選出疑似風飛砂好發與嚴重地區

由過去有關花蓮地區風飛砂的新聞報告中可以進篩選出需要調查的地區。這些地區跛照可採土石區，被本計畫列為疑似風飛砂好發與嚴重地區。出現於媒體的地區包括花蓮溪花蓮大橋至約月眉大橋河段、木瓜溪東華大橋河段、壽豐溪豐平橋河段；受影響地區包括吉安鄉光華村、壽豐鄉月眉村、豐坪村、萬榮鄉西林村等。

步驟六：由問卷調查與訪談進行確認風飛砂好發與嚴重地區

問卷調查確認的村落包括和平溪口的秀林鄉和平村、花蓮溪花蓮大橋旁的吉安鄉光華村、花蓮溪月眉大橋旁的壽豐鄉月眉村以及秀姑巒溪口的豐濱鄉港口村；立霧溪南岸的新城鄉新城村、花蓮溪米棧橋下游的豐坪村、壽豐溪豐平橋旁的西林村以及秀姑巒溪玉里段的玉里鎮為確定為風飛砂好發與嚴重地區。

步驟七：確認風飛砂影響程度

本研究進一步區分風飛砂嚴重影響地區與風飛砂次嚴重影響地區。「嚴重」指的是符合敏感地區受訪者超過65%認為對建康影響嚴重，並能具體描述風飛砂現象與切身之影響，或能見度通常<1km者。

3.2風飛砂發生與嚴重地區診斷結果

綜合上述，診斷花蓮縣風飛砂發生與影響嚴重地區如表3與圖2所示。

表3 風飛砂發生與影響嚴重地區彙整表

受影響地區	發生地區	發生時間	嚴重性與原因說明
秀林鄉和平村	和平溪河口起上溯至 3.6km 河段裸露地，面積約 5.0km^2	5~11 月	風飛砂問題嚴重，初步研判河床裸露地以自然形成為主。93 年停止採砂後已有植被重生。顯然減少人為擾動有助風飛砂現象之減緩。
新城鄉新城村	立霧溪河口起上溯至 5.2km 河段出現明顯裸露地，面積約 2.6km^2。	6~9 月	風飛砂問題日趨嚴重，初步研判河床裸露地以人為為主，惟近年有採砂，問題趨於嚴重。
吉安鄉光華村	花蓮溪花蓮大橋一帶河口裸露地，約 5.0km，面積約 3.7km^2；木瓜溪採砂區裸露地，長約 5.2km，面積約 1.8km^2，共約 3.4km^2。	5~9 月	風飛砂問題嚴重，花蓮溪花蓮大橋下由非採砂區以自然形成為主，上游木瓜溪採砂區的裸露地則以人為採砂及自然因素並重。
壽豐鄉月眉村、豐坪村	壽豐溪、花蓮溪匯流處採砂區裸露地，長約9.1km，面積約0.31km^2。	5~9 月	風飛砂問題嚴重，人為採砂因素為主(花蓮溪主流約有 35km 的河段裸露地)，自然因素為次。
萬榮鄉西林村	壽豐溪西林村段可採砂區裸露地，長約8.3km，面積約 0.2km^2。	6~8 月	風飛砂問題次嚴重，人為採砂因素為主(壽豐溪約有 15km)。
豐濱鄉港口村	秀姑巒溪河口裸露地，長約 0.5km，面積約0.01km^2。	4~10 月	風飛砂問題嚴重，自然為主。
玉里鎮	秀姑巒溪玉里段河床裸露地，長約19km，面積約 2.9km^2。	6~9 月	風飛砂問題嚴重，自然為主。

註：受嚴重影響地區生地區為週邊2~3km內範圍。

風飛砂嚴重地區	風飛砂發生地區
秀林鄉 和平村	和平溪河口啟上溯至3.6km河段裸露地，面積約2.8km^2
新城鄉 新城村	立霧溪河口起上溯至5.2km河段出現明顯裸露地，面積約2.6km^2
吉安鄉 光華村	花蓮溪花蓮大橋一帶河口裸露地，約3.6km，面積約1.2km^2；木瓜溪採砂裸露地，長約5.2km，面積約1.9km^2，共約3.1km^2
壽豐鄉 月眉村 豐坪村	壽豐溪、花蓮溪匯流處採砂裸露地，長約9.1km，面積約0.31km^2
萬榮鄉 西林村	壽豐溪西林村段可採砂區裸露地，長約8.3km，面積約0.2km^2
豐濱鄉 港口村	秀姑巒溪河口裸露地，長約0.5km，面積約0.01km^2
玉里鎮	秀姑巒溪玉里段河床裸露地，長約19km，面積約2.9km^2

圖 2 花蓮縣風飛砂發生區域空間分佈圖

3.3風飛砂發生機率

依據花蓮地區91年6~8月地面風花圖估計，夏季(六~八月)風速可達蒲福風級4~6級的機率約5%，以南風為主；秋季(九~十一月)風速可達蒲福風級4~6級者約占7.4%。進一步乘以晴天發生百分比，估計中型風飛砂在夏季的發生機率約3.4%；在秋季約為7.4%。但這些數據仍不足以反應出真正的發生頻率，因為花蓮氣象站的氣象尚不能充分代表縱谷或南花蓮地區的氣象。

3.4風飛砂防治不利因素分析

3.4.1自然因素

(1)沙灘環境不利植被生長

河灘的枯乾沙洲環境惡劣，風大日照強，水分蒸發快速，正午時的地表氣溫超過50℃，即使是地下15公分處也可超過30℃，傍晚時的氣溫也仍有35℃以上高溫，植被覆蓋與潮濕的河灘的微氣候明顯較緩和，兩種棲地的棲息物種數目與族群明顯差異由環境的物理特質可以清楚說明。同時也說明作為先趨物種，在裸露的乾燥沙洲建立新據點是多麼不容易。

(2)山脈擋風有限

夏季吹東、南、與東南風，花蓮溪的東岸正好是海岸山脈，確有屏障，實際觀察也能發現風飛砂似乎多出現在溪的左岸（西岸），東岸的聚落腹地狹長短淺，又是居高臨下，從海上吹來的風受到海岸山脈阻隔。以海岸山脈高度，從嶺頂南下四至五公里逐漸爬昇至賀田山（441公尺），再往西南移動九公里逐步增高至月眉山（614公尺），以平均高度500公尺計算，有效防風不超過4.5公里，如此的距離也僅止於壽豐鄉與鳳林鎮，吉安鄉與花蓮市完全暴露在季節風的直接吹襲範圍中。

海岸山脈掩護的壽豐鄉與鳳林鎮，花蓮溪流過的溪床寬度遠大於4.5公里，花蓮溪西岸河灘仍有廣大面積籠罩在強風中。報載月眉大橋風發砂問題嚴重，以空間位置研判，若是風向維持東與東南方向，似乎在海岸山脈的保護中，但若是東北季風或焚風，也有可能。媒體另外也報導夏季風飛砂的問題都在晴天中午與本觀察一致，因為夏季枯灘地表溫度可以逼近60℃，即使潮濕的行水區都很快被曬乾吹乾，而河川的相對低點正是泥沙堆積沉澱之處，只要風一來，這些粒徑極小的砂土河泥都有潛力吹很遠距離（是「最佳」的風飛砂材料），而形成最嚴重的風飛砂。

和平溪、木瓜溪、壽豐溪的東西走向河流座向，其中和平溪完全無山脈屏障，海風或季節風無論是東北或東南風都可以長驅直入，花蓮溪完全是南北向留給季風吹襲形成風飛砂的大好機會，秀姑巒溪雖然也是南北向，左右兩側山脈連綿，尤其是東面海岸山脈高度高達1000公尺以上，東北季風遮蔽比率不少，只是河川中心線距離山脈山脊的距離平均有8公里以上，以有效防風6倍距離仍是太遠，但比較起來秀姑巒溪的風飛砂情況仍是比花蓮溪要緩和許多而且緊鄰的人口聚落的壓力也較小，所以媒體報導少了許多。

(3)全球氣候暖化的影響

花蓮的日照時數與風力風向皆有利於風飛砂形成，例如旱季巧逢風季與植物生長停頓或休眠（地上部萎凋）的季節。近年來氣候暖化降雨異常，上、中、下游沖刷嚴重，而植被卻相對生長在更嚴苛的環境逆境中，使生長更艱困，水土保持功能下降。氣候暖化降雨異常造成的豪雨颱風次數與季節，屢次創新高與新紀錄。

3.4.2人為因素

(1)砂石不當開採

人為擾動過度以砂石開採、河床浚深的直接影響擾動或帶走原本安定的河床表土最為嚴重。因為這些行為會破壞原本覆蓋良好的植被，促使溪床砂石裸露。砂石裸露的結果更不利於保水，反之則促使溪床砂土更快曬乾造成揚塵。砂石開採的全階段都造成風飛砂，開採、裝填、下載、堆置、運輸、清洗分級無一不造成揚塵。運輸時，固定源的落塵飛砂變為移動源的空氣污染，車斗的高度與車輛移動的速度給風飛砂拓展惡化的機會。

上游的礦石開採業者洗石製造砏土與黏土也是風飛砂的來源。河川的水從上游運來的細砂、砏土與黏土也來自於上游的山坡地開發或水土保持不良。

砂石車運送砂石時常直接沿著河川走向，走低灘地造成植被死亡。砂石直接堆積在河灘地，蓋住原有植被使窒息死亡，而人工堆積的沙丘位於上風處，加上風吹日曬，成為風吹砂源源不絕的風沙來源。此外，砂石車為了採砂運輸理由，將河道溝槽化（Channelization）促成河川水位降低，植被生長變差。

(2)河床的不當遊憩使用

包括吉普車越野車隊，在溪床河灘浮覆地等橫衝直撞，直接破壞溪床植被，河灘與海岸沙丘同屬於低容受力（Low tolerance）的棲地，其上棲息的動植物，皆於十分脆弱的逆境環境生存，稍有壓力，即破壞其平衡，不宜開放讓車輛進入。

(3)其他植被破壞因素

包括農民擅自清除河灘（低灘地）野生植被（主要是甜根子草），改植西瓜等旱作，造成地表裸露。水利會與河川局引水供農業灌溉或其他民生用途，造成溪床長年枯旱，刺激風飛砂發生。政府在河川治理的目標只著眼於防洪排水，而且也以傳統工法為前提設計相關法規，法律不鼓勵甚至於不允許植被（高莖作物）生長。

四、防治策略研究

4.1防治策略研議

4.1.1組織策略

成立「花蓮縣防砂推動小組」，做為推動相關工作決策與督導中心以及推動河灘地認養與巡守隊(環保義工)制度。建議之花蓮縣防砂推動小組組織架構如表4。

表4 防砂推動小組成員與任務規劃表(粗黑體為常態性工作)

單位		任務屬性	本計畫之任務內容
主辦團隊	花蓮縣縣長(或副縣長)	召集人	**(1) 召集各單位代表協調裸露地防砂工作任務分工。** (2) **進行工作小組決策事項。**
	花蓮縣政府工務局	河砂開採、河堤施工、行水區綠化	**(1) 執行境內河川治理、河砂開採管制事項。** **(2) 辦理河床整平、臨時堰工程設置與維修。** **(3) 辦理河堤生態工法事項。** (4) 執行各河川防風林植栽、高中灘裸露地綠化。
	經濟部水利署第一河川局	業務主管	**管理和平溪之河砂採取、疏濬、整治與裸露地揚塵控制、綠化**
	經濟部水利署第九河川局	業務推動	**管理花蓮溪、立霧溪之河砂開採與整治**

	專案辦公室(或計畫團隊)	技術顧問服務	(1)辦理會議資料準備、簡報事宜 (2)執行相關委辦計畫。 (3)協助考評
	專家學者咨詢團隊	專業咨詢服務	提供專業咨詢服務。
	植栽維護小組		(1)辦理植栽區之維護與紀錄工作。 (2)辦理大尺度植栽示範計畫。 (3)辦理定砂植種保存與生態復育工作。 (4)辦理濕地營造與管理工作。
協辦團隊	花蓮縣政府農業局	集水區水土保持、生態保育	**(1) 山坡地水土保持計畫之監督及維護** (2) **提供植栽維護之技術協助**。
	花蓮縣環保局	空氣品質管理	(1) 辦理風飛砂監測與模擬計畫。 **(2) 協助評估風飛砂防治成效。** **(3) 辦理砂石場污染管理工作。** (4) 成立河灘地環保義工與訓練。
	花蓮縣政府警察局(或環保警察)	不法砂石場、車取締	**(1) 協助取締非法砂石場、礦場之設置與不法或不當開採行為、不法砂石車運輸路線。** (2) **取締不當河灘地人為活動。**
	花蓮縣政府教育局	教育宣導	辦理風飛砂防治與河川生態、水土保持等學校輔助教材編製與發送。
	秀林鄉、新城鄉、吉安鄉、壽豐鄉、萬榮鄉、 玉里鎮等公所	配合執行相關維護管理工作	辦理相關河段堤岸防風林、高中灘地植栽、濕地營造區等之維護管理，協助教育宣導工作、成立環保義工分隊。
	行政院農委會林務局花蓮林區管理處	業務推動	**管理花蓮縣境內國有林地之開發與水土保持、自然保育等工作。**
	行政院農委會水土保持局第六工程所	業務推動	**管理花蓮縣境山坡地保育、崩塌裸坡植生綠化、區域行農地水土保持工作**
	經濟部礦物局土石管理組	業務推動	**核准時考量坡地穩定、國土保中及營林等工作。**

4.1.2執行策略

(1)強化水土保持管理：加強流域水土保持管理工作，降低自然或人為因素導致的表土流失情況，以有效保護國土、森林環境資源，減少河砂來源。

(2)強化河砂開採管理：檢討現行河砂可開採區管理工作之缺失，增定相關施作契約規定如限制業者非必要之表土擾動與原生植被破壞，分期分區開採與復育、嚴格稽查取締河床與輸運路線之車行揚塵、不當堆積、洗砂、原生植被破壞、表土棄置、超限開採、溪流槽化等不當施作行為。

(3)推動中高灘地綠化：針對植被狀況不佳之中、高灘地進行植栽復育，建立維護管理機制。

(4)推動低灘地淺塘化：對於砂石開採區行水區訂定梯田狀淺塘河床之營造技術手冊。

(5)其他人為活動限制：對於河灘地植被生態被人為活動破壞加強取締。

4.1.3管理策略

(1)強化環境調查與監測資訊建立。

(2)建立績效考評與獎懲辦法；建立檢舉與申訴管道。

4.1.4教育宣導策略

(1)編印「花蓮縣河川裸露地防砂工作宣導手冊」，發送給各單位，讓民眾了解縣府在防砂工作的努力及作為。

(2)將防砂防砂工作宣導手冊進一步製作成適合高中(含)以上學生輔助教材；辦理環保義工、砂石業者有關河灘地防砂之講習會；辦理成果發表會或全民淨灘與綠化活動。

4.2防治目標與時程

<u>短程目標(2006~2008年)</u>：

- 改善人口較密集的和平溪口南岸、立霧溪、花蓮溪東華大橋至花蓮大橋一帶河段與秀姑巒溪長虹橋至河口河灘地之局部風飛砂問題。
- 建全相關管理制度，以有效推動與督導相關風飛砂防治計畫。
- 進行風飛砂監測與中等規模(3公頃以下)低灘地淺塘化與中、高灘地植栽之示範計畫，以建立防治風飛砂之本土化資料，做為擴大實施之參考。

<u>中程目標(2009~2011年)</u>：

- 完成木瓜溪以及其下游之花蓮溪、花蓮溪豐坪村段至壽豐溪匯流處、壽豐溪西林村至壽豐溪與花蓮溪匯流處等河段風飛砂發生區域(含採砂區、非採砂區與採砂完成砂區)之防治工作。
- 完成和平溪、立霧溪、秀姑巒溪非河砂開採區風飛砂之防治工作。

長程目標(2012~2015)：

- 完成和平溪、立霧溪、秀姑巒溪風飛砂發生區域(含採砂區與採砂完成砂區)之防治工作。
- 完成花蓮溪支流馬鞍溪、萬里溪風飛砂發生區域(含採砂區、非採砂區與採砂完成砂區)之防治工作。

五、結論

花蓮縣主要溪床裸露地在枯水期間所引發的風飛砂問題已經隨著近年來大量的河砂開採與植被破壞越來越嚴重，本研究已診斷出其中風飛砂問題嚴重地區，並提出創新的改善對策，尤其針對低灘裸露地建議以河床梯田式整平成淺塘的簡易工法對降低裸露面積應該最為有效。

六、謝誌

本研究計畫承蒙花蓮縣環境保護局提供研究經費與指導，特表謝忱。

七、參考文獻

1. 工地防砂植物簡介，行政院農委會水土保持局網站。
2. 經濟部水利署第九河川局，花蓮溪河系情勢調查報告，花蓮市(2005)。
3. 經濟部水利署第九河川局，秀姑巒溪河系情勢調查報告，花蓮市(2005)。
4. 經濟部水利署，土石採用取用河川公(私)地許可書補充規定，台北市(2005)。
5. 經濟部水利署，經濟部水利署所數河川局轄內河川公地土石採取申請案辦理權責及流程圖，台北市(2005)。
6. 花蓮縣環保局，花蓮縣特性產業空氣污染管制計畫期末報告，花蓮市(2005)。
7. 王證權、張佳瑄、李崇德、呂理德、林哲弘(2004)，北台灣石門地區氣膠特性探討，國立中央大學環境工程學刊，第八期，中壢市(2004)。

8. 鄭元春，臺灣的海濱植物，渡假出版社有限公司，臺北市，157頁(1998)。
9. 陳順天、張慶宗、鄭清海、遊榮祥，大甲溪的地質與地形景觀，台中縣政府，台中縣，105頁(1996)。

COUNTERMEASURES ON SAND STORM OCCURING IN RIVER BED NAKED AREA IN HUALIEN

Hongyuen Lin

Department of Environmental Engineering Vanung University, Chung-Li city, 320, Taiwan

Abstract

In Hualien, the sand storm problem originating from creek bed area during the drought season has been a severely affect the living quality of local people. According to the description of the sensitive people, sand storms occurring typically from June to September, however, it occasionally happens from March to May and from October to December. The hot spots include river sand dredging sites of Hualien Creek, Mugua Creek, Sofeng Creek and naked riverbeds of Liwu Creek and Hsiuguluan Creek (Uyli section). Usually, the sand storm is trigged by the dry weather resulting in a small visibility (maybe less than 200 m). Such event can continually last for hours. In this study, field studies including questionnaire and planting tests were performed during summer and autumn, 2005 with an aim to define the hot spots of sand storm. Advisable countermeasures in terms of time frame were proposed

Keywords： Air quality, sand storm, aerosol, naked land