

長程傳輸對台灣 PM_{2.5} 及其成份之影響

張良輝、陳杜甫、蔡長佑
雲林科技大學環境與安全衛生工程系

摘 要

本研究藉由空氣品質模式 CMAQ，對基準排放及無東亞排放二種案例分別進行 2007 年全年之模擬，並對這些模擬結果進行各種分析，計算境外傳輸對台灣 PM_{2.5} 及其組成份之影響情況，並探討未來台灣排放管制策略的可能性。

研究結果顯示，境外傳輸對全台灣 PM_{2.5} 年平均之影響濃度約為 $10.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (37%)，影響最嚴重季節為冬季約 $16.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (40%)，最輕微為夏季約 $2.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (15%)，空間上呈現西部影響濃度高於東部之現象。組成份中以硫酸鹽受到境外傳輸影響比例最高約 63%、銨鹽次之約 57%、硝酸鹽約 43%、二次有機氣膠約僅 26%，而原生性 PM_{2.5} 幾乎不受境外傳輸之影響。由於 PM_{2.5} 不同組成份受境外傳輸影響之程度有很大的差異，因此在研擬台灣排放管制策略以改善 PM_{2.5} 時，管制原生性 PM_{2.5} 應較管制衍生性 PM_{2.5} 前驅物更為有效。而在衍生性 PM_{2.5} 前驅物的管制上，管制 SO_x 與 NO_x 較管制 VOCs 及 NH₃ 具有效益。

一、前 言

近年來東亞地區隨著經濟及工業快速發展，由交通及工業所排放的空氣污染物已受到全世界之日益關切，尤以中國之京津冀、長三角、及珠三角為最。這些污染物不僅對當地空氣品質造成影響，亦經由長程傳輸使鄰近國家空氣品質受到影響。台灣隔著海峽緊鄰中國大陸，境外傳輸對台灣大氣 PM_{2.5} 應是重要的影響來源，在台灣努力要達成 PM_{2.5} 空氣品質標準的過程中，境外傳輸對管制策略的影響勢必要加以考慮。



Koo et al. (2008)使用 CMAQ 模擬 2007 年 1 月 10 日至 30 日首爾市區 PM_{10} 事件日期間來自於中國大陸 PM_{10} 貢獻量最高會超過 80%。Shimadera et al. (2009) 利用 CMAQ 搭配氣象模式 MM5 模擬兩種不同排放案例情境來研究 2005 年 3 月日本近畿地區受境外長程傳輸影響，結果顯示境外傳輸對日本近畿地區 PM_{10} 及 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 月平均濃度貢獻量分別高達 55%、69%、82%及 81%。Chuang et al. (2008) 使用 CMAQ 模擬研究台灣北部空氣污染物受亞洲高壓系統南下的影響並探討 $PM_{2.5}$ 組成份在傳輸中的變化，研究結果指出 $PM_{2.5}$ 會隨高壓系統南下對台灣北部造成影響。

當境外傳輸影響為主要的貢獻來源時，本地排放管制策略對於 $PM_{2.5}$ 改善之有效性就會降低。然而由於 $PM_{2.5}$ 中不同成份受到境外傳輸影響程度可能不同，不同成份之前驅物來源也不相同，因此針對原生 $PM_{2.5}$ 或各種前驅物之管制策略會有差異。本文利用空氣品質模式 CMAQ 進行 2007 年全年的長期模擬，探討境外長程傳輸對台灣 $PM_{2.5}$ 以及其組成份的影響，並討論境外長程傳輸對台灣排放管制策略研擬時可能之影響。

二、研究方法

(一)模擬方法

本研究使用空氣品質模式 CMAQ v4.6 (Byun and Schere, 2006)以三層套疊巢狀網格，最大模擬範圍涵蓋東亞地區，最小模擬範圍包含台灣，且網格解析度達 9 公里，如圖 1 所示。模擬系統還包括三大部分：氣象前處理：使用 MM5 所模擬之四維氣象場，經由氣象前處理程序輸出空品模式所需之氣象參數；排放資料前處理：東亞其它地區排放的人為源排放量主要使用 REAS (Ohara et al., 2007)，東亞生物源排放量則是利用東亞生物源排放量推估模式(East Asia Biogenic Emission Inventory System, EABEIS)配合氣象資料進行逐時排放推估(張等，2005)，台灣人為源排放量採用最新的 TEDS7.1，台灣生物源排放量則是透過台灣生物源排放推估模式(Taiwan Biogenic Emission Inventory System Version 2, TBEIS2)配合氣象資料進行逐時排放推估(Chang et al., 2009)；初始與邊界條件：初始與邊界條件來自一組假設或實驗之資料，並透過上述巢狀網格技術以及提前兩天開始模擬之方式來降低不正確邊界條件與初始條件之影響。

本研究為瞭解境外傳輸對台灣的影響，分別模擬兩個不同的案例：基準排放案例與東亞零排放案例。東亞零排放案例與基準案例均使用相同的氣象輸入資料、排放資料庫及初始與邊界條件，但在排放量處理稍有不同，基準案例開啟所有人為源與生物源排放量；而東亞零排放案例關閉了東亞的人為源與生物源排放量。兩案例模擬結果差異即為境外污染物長程傳輸對台灣空氣品質影響。

(二) 模擬輸出之 PM_{2.5} 濃度計算方法

CMAQ 的輸出數據使用三個交疊的對數常態(log-normal)分佈函數來描述大氣中微粒分佈情形，此三種微粒之粒徑分布包括三個主模(mode)，由小至大分別為愛特坎模(Aitken mode) (代號為 i)，累積模(Accumulation mode) (代號為 j)，及粗模(Coarse mode) (代號為 c)。雖然這樣的輸出結果與一般認知的 PM_{2.5} 存在著相當之差異，然而，過去通常以 i 與 j modes 的總質量濃度(PM_{i+j})來代替 PM_{2.5}。這樣的替代方式適於濕度較低的地區，因其所產生的誤差不大，然而在高濕度的地區則相對具有高誤差(Jiang et al., 2006)。因此，在台灣這樣高濕度環境下，直接以 PM_{i+j} 來代替 PM_{2.5} 似乎並不適當，應計算出 PM_{2.5} 才合適。因此本文皆以 Jiang et al. (2006) 所提出之計算方法為直接使用 CMAQ 的輸出結果並透過理論計算 PM_x。

(三) 模擬結果之準確性評估

模式的模擬結果需要與空氣品質監測站的監測值比較以瞭解模擬的準確性，本研究使用「空氣品質模式模擬規範」之準確性評估方式計算基準案例的模擬與空氣品質監測站之觀測 PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂、NO₂ 日均值之常化偏差(overall bias, OB)以及絕對誤差(gross error, GE)來評估模擬結果的準確性。除了利用環保署一般測站監測資料評估模擬值準確性外，本研究進一步以超級測站的原生性與衍生性懸浮微粒及其主要成份(如硫酸鹽、硝酸鹽、銨鹽、有機碳等)之觀測資料來評估模擬值的準確性，此結果將更有助於瞭解模式模擬能力。

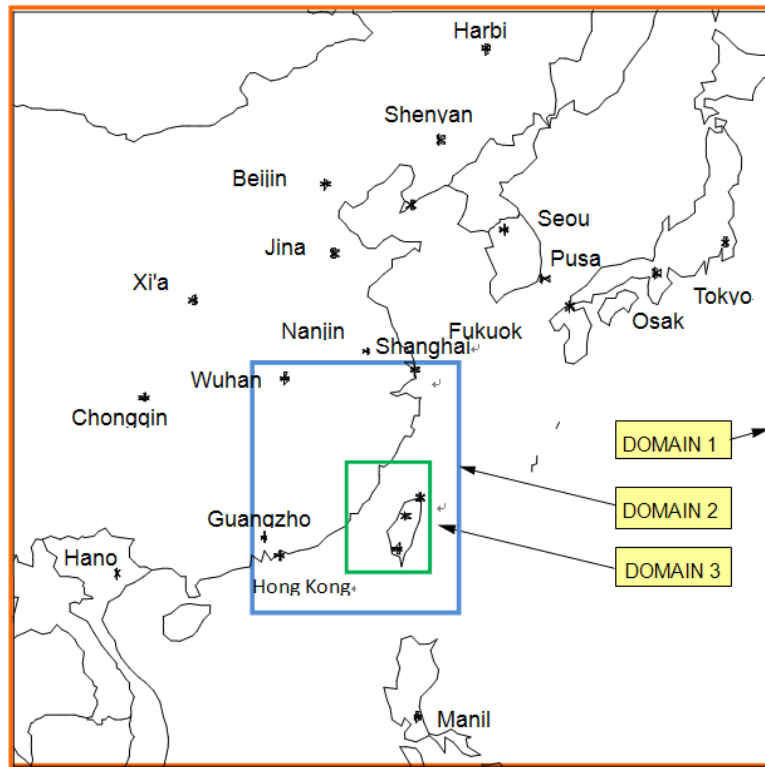


圖 1 本研究選擇之三層模擬範圍示意圖

三、結果與討論

本研究基準案例於模擬範圍 D1 至 D3 之排放量空間分布，如圖 1。在 D1 中 $PM_{2.5}$ 高排放量地區分布在中國大陸的北京、天津、山東、江蘇以及廣東沿海地區。在 D2，可以看到中國大陸東南沿海各省以及台灣的分佈情況， $PM_{2.5}$ 高排放量地區出現在上海周遭以及廣東的汕頭跟珠江三角洲區域；在台灣的部分高排放量地區主要出現在台灣西部區域。在 D3，台灣 $PM_{2.5}$ 高排放地區主要分布在台灣西部，其中以台北、台中以及高雄等三大都會區及其周圍排放量最為顯著。

在 SO_x 排放量空間分布的部分，由 D1 的空間分布可以看出中國大陸地區大部分都是高排放量，只有江西、湖南以及福建西部等 SO_x 排放量較低，而在海上也有出現 SO_x 排放量，這是海上航線所造成的，船所使用的燃料會產生 SO_x 排放。在 D2，中國大陸地區 SO_x 排放量在江西及福建西部比較低，其他區域的排放量都偏高；台灣的部分 SO_x 高排放量分布在新北市、桃園、台中以及高雄等地區。由 D3 的圖可以看到在台灣 SO_x 排放量集中在基隆、桃園、台中及高雄等區域。

在 NO_x 排放量空間分布的部分，由 D1 的空間分布可知，中國大陸地區在北京、天津、上海、江蘇與浙江交界、汕頭以及珠江三角洲等地有高排放量的 NO_x，在海上航運路線上也有 NO_x 排放。在 D2 方面，中國大陸在長江三角洲以及珠江三角洲有高排放量的 NO_x；在台灣的部分 NO_x 排放量主要在西部。在 D3 的部分，NO_x 在台灣的高排放量地區出現在台灣西部的都市地區與高速公路沿線。

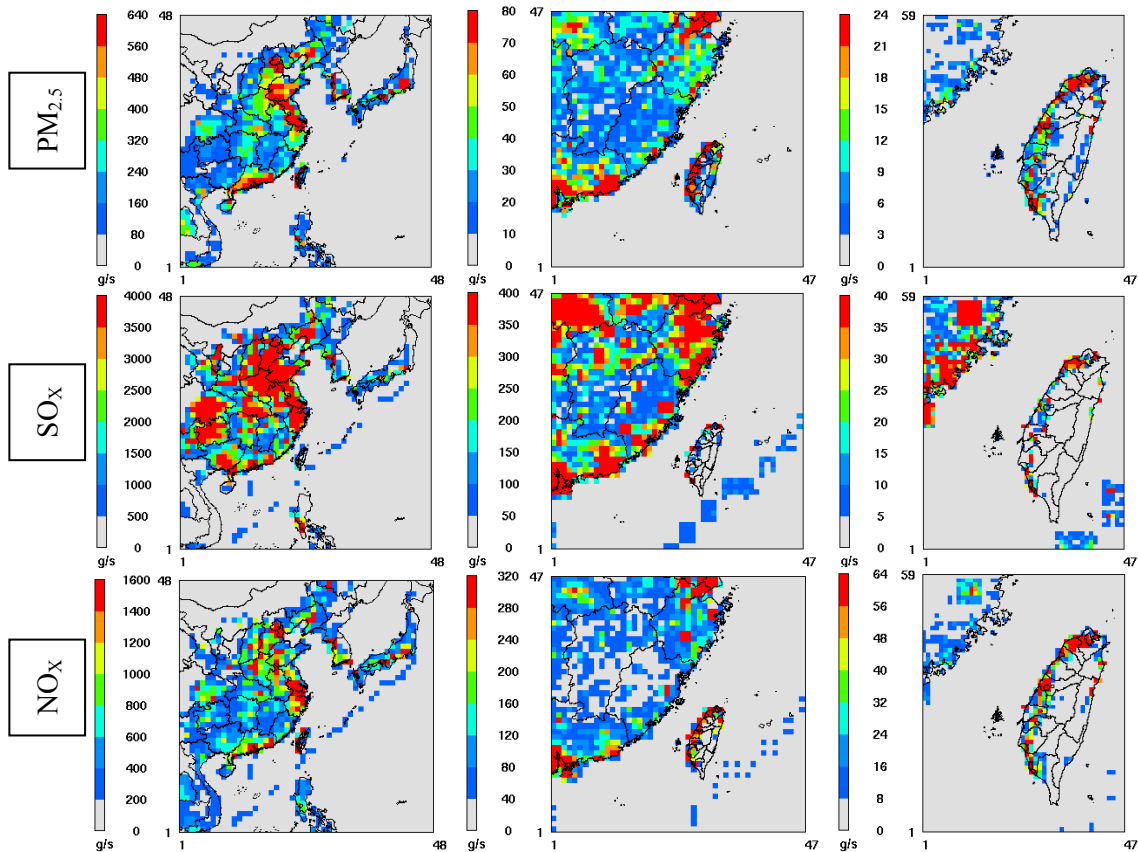


圖 1 各污染物排放量空間分布(由左至右：D1, D2, D3)

(一) 基準案例模擬結果及準確性評估

全台各空品區一般測站 2007 年各污染物觀測與模擬濃度之年平均值及其偏差如表 1 所示，全台灣測站模擬值年平均 PM_{2.5} 為 29.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。模擬值在各空品區濃度高低的趨勢在台灣西部與東部有所不同，台灣西部的濃度由北往南增加，而東部反之。雖然各空品區模擬年均值均低於觀測，但兩者分佈趨勢是非常相似的。模擬的偏差顯示雲嘉南、宜蘭空品區 PM_{2.5} 模擬較差，花東、宜蘭空品區 SO₂ 與 NO₂ 之偏差較大。雲嘉南空品區 PM_{2.5} 模擬較差之主因可能在於部分排放源掌握不佳；而宜蘭與花東空品區模擬較差，可能原因在於這兩個地區人為排放源較少，只要風場稍有明顯差異，就容易無法掌握濃度變化情形，再加上觀測濃度明顯較低，因此計算的誤差比例容易超過規



範值。

針對五個超級測站 2007 全年觀測與模擬年平均值及其偏差結果如表 2 所示，五個測站模擬值年平均的結果 SO_4^{2-} 為 $5.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 NO_3^- 為 $4.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 NH_4^+ 為 $3.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，相對於觀測值， SO_4^{2-} 及 NH_4^+ 皆為低估，而 NO_3^- 為高估，要注意的是 NH_4^+ 觀測值是利用 SO_4^{2-} 及 NO_3^- 觀測值推算出來的，因此 NH_4^+ 的準確性評估結果僅可提供參考。 SO_4^{2-} 具有較大誤差的可能原因有二，其一為觀測資料，根據「97 年度南部微粒超級測站品保查核及數據分析計畫」(吳等, 2008) 與「95-96 年度南部微粒超級測站品保查核及數據分析計畫」(林等, 2007) 結果顯示 SO_4^{2-} 與 NO_3^- 觀測值仍有相當之不確定性；另一個可能原因除了 PM 模擬技術仍未非常成熟外，台灣本地的排放量被低估以及無法確切掌握中國排放量應也具有相當之影響。至於大陸模擬結果之性能評估請參考 Chen et al. (2013)。

表 1 各空品區一般測站 2007 年觀測與模擬之年平均值及其偏差

	PM _{2.5}			SO ₂			NO ₂		
	觀測值	模擬值	偏差	觀測值	模擬值	偏差	觀測值	模擬值	偏差
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%	ppb	ppb	%	ppb	ppb	%
北部空品區	28.8	25.6	-6.9	4.66	3.00	-32.2	29.3	18.1	-16.1
竹苗空品區	29.5	25.7	-6.5	3.58	2.73	-20.9	18.1	15.1	8.2
中部空品區	37.6	33.3	-4.9	3.67	2.88	-17.6	22.8	20.0	17.5
雲嘉南空品區	40.8	31.7	-24.2	4.01	3.19	-21.9	18.7	16.7	9.1
高屏空品區	44.1	39.8	-10.0	6.56	6.77	1.6	22.1	19.7	7.5
宜蘭空品區	21.7	15.2	-23.0	3.05	1.43	-48.3	15.7	5.6	-49.6
花東空品區	18.0	15.2	-11.4	2.05	1.28	-39.6	12.3	5.2	-39.7
全台灣 測站平均	34.5	29.8	-10.6	4.53	3.60	-21.5	23.1	17.3	-2.1

表 2 各超級站 2007 年 PM_{2.5} 各組成份觀測與模擬之年平均值及其偏差

測站名	SO ₄ ²⁻			NO ₃ ⁻			NH ₄ ⁺		
	觀測值	模擬值	偏差	觀測值	模擬值	偏差	觀測值	模擬值	偏差
單位	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%
潮州站	9.34	4.62	-49.9	4.98	5.28	-7.8	4.90	3.25	-36.8
輔英站	9.45	5.52	-34.7	5.80	5.30	-13.0	5.15	3.59	-28.3
前鎮站	9.91	6.96	-25.5	4.46	5.76	24.9	4.96	4.25	-12.3
橋頭站	12.91	5.61	-50.1	4.76	4.86	-7.4	6.10	3.49	-40.9
新莊站	8.36	5.18	-29.1	1.40	1.99	63.1	3.36	2.49	-19.9
五個測級站 平均	10.00	5.58	-37.9	4.28	4.64	12.0	4.89	3.41	-27.6

*觀測與模擬PM組成份均為PM_{2.5}的成分質量濃度；觀測NH₄⁺以 $\text{SO}_4^{2-}/(96/2)+\text{NO}_3^-/(62/1))*17$ 推估

(二)境外傳輸對台灣懸浮微粒空氣品質影響分析

由於 PM_{2.5} 觀測方法之不同，會導致不同方法所觀測 PM_{2.5} 中的水分有不同程度的消失(因加熱而蒸發)，也就會使得觀測出不同之 PM_{2.5} 濃度量值。因此，本文除了計算含水份(溼基)的 PM_{2.5} 之外，也針對不含水份(乾基)的情形做討論。

基準排放與東亞零排放案例在 2007 年模擬之 PM_{2.5} 濃度年平均值及其差異，此差異可視為境外傳輸之影響如圖 3 所示。由圖可以看到東亞陸地排放污染對台灣的影響，全台受到總境外傳輸最嚴重的區域為台灣西部，影響量約在 12-16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。圖 4 為台灣四季 PM_{2.5} 境外傳輸影響濃度空間分布圖，比較四個季節之間的差異，可以發現冬季是台灣 PM_{2.5} 受境外傳輸影響最嚴重的季節，台灣西部影響量 16-20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；其次為春季，台灣受到境外傳輸影響量最高可達 12-16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；最低的季節為夏季，全台灣所受影響量低於 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。境外傳輸對全台灣 PM_{2.5} 影響濃度之量化統計如表 3，年平均值影響約為 10.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (37%)，影響最嚴重季節為冬季約 16.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (40%)，最輕微為夏季約 2.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (15%)。

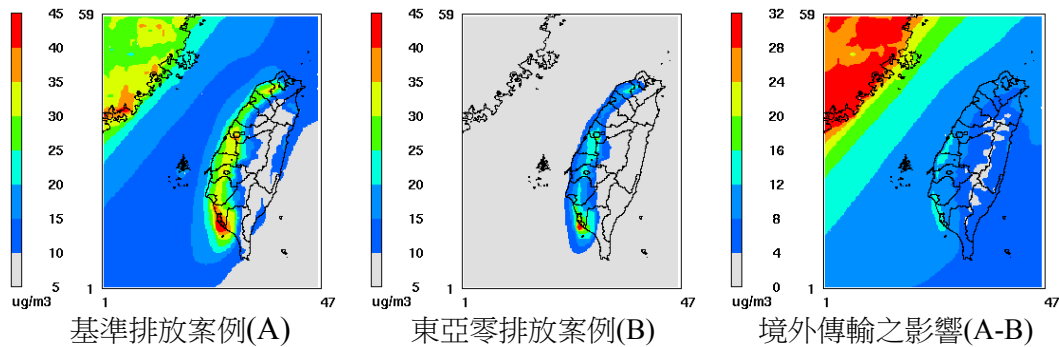


圖 3 2007 年 PM_{2.5} 模擬濃度年平均值及其差異，此差異可視為境外傳輸影響

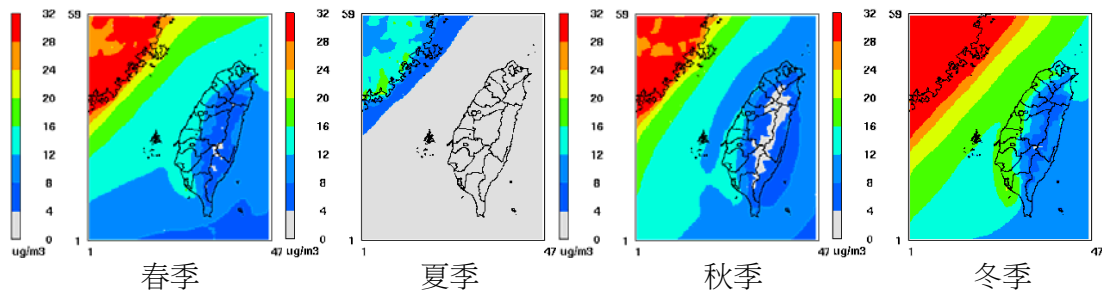


圖 4 2007 年全年台灣 PM_{2.5} 各境外傳輸情境之空間分佈圖



表 3 全台測站平均 2007 年各季節 PM_{2.5} 濃度受境外傳輸之影響

	基準排放 案例($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	東亞零排放 案例($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	境外傳輸影響	
			濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	比例(%)
	A	B	A-B	(A-B)/A
春季	33.5	20.0	13.5	40.3
夏季	14.8	12.6	2.2	14.6
秋季	29.2	17.8	11.4	38.9
冬季	41.5	24.8	16.7	40.2
全年	29.8	18.8	10.9	36.8

境外傳輸對台灣各空氣品質區一般測站 PM_{2.5} 空氣品質影響之量化統計結果如表 4 所示，全台所有測站全年受到境外傳輸的影響量約為 $10.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，影響比例為 37%。各空品區中受影響最嚴重區域為雲嘉南空品區($11.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$)，最低為花東空品區($8.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$)。由影響比例觀察，可將台灣區分為三個區塊，花東與宜蘭空品區雖然受影響濃度量最少，但所占比例卻是最顯著(53% ~ 56%)；其次為北部與竹苗空品區(41-42%)；中部以南的三空品區則是相對比例最低，但亦有 28-37%。

表 4 2007 全年各空品區測站 PM_{2.5} 濃度受境外長程傳輸影響統計

PM _{2.5}	基準排放 案例($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	東亞零排放 案例($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	境外傳輸影響	
			濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	比例(%)
	A	B	A-B	(A-B)/A
北部	25.6	14.8	10.7	41.9
竹苗	25.7	15.1	10.5	41.0
中部	33.3	22.0	11.3	33.9
雲嘉南	31.7	19.8	11.9	37.4
高屏	39.8	28.3	11.5	28.8
宜蘭	15.21	6.8	8.5	55.7
花東	15.1	7.1	8.0	53.1
全台平均	29.8	18.8	10.9	36.8

2007 全年全台灣 PM_{2.5} 組成份受境外傳輸影響的定量結果如表 5 所示。其中可以發現，原生性氣膠受境外傳輸影響是呈現負效應(約 9%)，即境外污染物傳輸會造成 PM_{2.5} 中原生性成分濃度降低。這是由於當境外污染物傳輸進入台灣，會造成氣膠粒徑增加(即氣膠變大)，使得部分本來未超過粒徑 2.5

μm 的氣膠有機會超出 $\text{PM}_{2.5}$ 進入粗粒徑，因而「損失」部分濃度。此損失效應當然不僅會發生在原生性氣膠也會發生在二次氣膠，當傳送進來的濃度量大於損失，統計表就不會出現負值，二次氣膠即是如此；而原生氣膠則是損失大於傳送進台灣的量值，因而產生負值。整體而言，台灣硫酸鹽年均值受境外傳輸影響幅度最大約 63%，其它依次為銨鹽(約 57%)、水分(約 54%)、硝酸鹽(約 43%)及二次有機氣膠(26%)。此外，在境外傳輸影響 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度量的組成份中，水分及衍生性氣膠占的比例都很高，均約 54%，衍生性 $\text{PM}_{2.5}$ 中又以 SO_4^{2-} 較其他成分占有較高比例，而原生性 $\text{PM}_{2.5}$ 則是有上述之負效應而有約 -7%。換言之，長程傳輸對於台灣原生性 $\text{PM}_{2.5}$ 的影響非常低，而且對衍生性 $\text{PM}_{2.5}$ 的影響遠遠超過原生性 $\text{PM}_{2.5}$ 。

表 5 全台灣所有一般測站 2007 年 $\text{PM}_{2.5}$ 組成份受境外傳輸影響之年平均值

全台平均		基準排放 案例($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	東亞零排放 案例($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	境外傳輸影響		
				濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	比例(%)	
代號		A	B	A-B	(A-B)/A	
濃度單位		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%	
衍生性 $\text{PM}_{2.5}$	硫酸鹽(SO_4^{2-})	4.74	1.76	2.98	62.8	
	硝酸鹽(NO_3^-)	2.80	1.61	1.19	42.5	
	銨鹽(NH_4^+)	2.55	1.11	1.44	56.6	
	二次有機 碳(OMS)	人為源	0.19	0.11	0.08	41.9
		生物源	0.74	0.57	0.16	22.2
	小計		11.02	5.16	5.86	53.1
原生性 $\text{PM}_{2.5}$	原生有機碳(OMP)	2.19	2.44	-0.25	-11.4	
	元素碳(EC)	0.95	1.06	-0.11	-11.4	
	土壤 $\text{PM}_{2.5}$	0.48	0.43	0.05	10.5	
	海鹽 $\text{PM}_{2.5}$	0.16	0.14	0.02	11.4	
	其他 $\text{PM}_{2.5}$	4.21	4.68	-0.47	-11.2	
	小計		7.99	8.75	-0.76	-9.5
含水分(H_2O)		10.78	4.92	5.86	54.4	
$\text{PM}_{2.5}$ 合計		29.8	18.8	10.9	36.8	

(三) 管制策略研擬之角色分析

由上節的討論可以知道，長程傳輸對於台灣原生性 $\text{PM}_{2.5}$ 的影響非常低，而且對衍生性 $\text{PM}_{2.5}$ 的影響遠遠超過原生性 $\text{PM}_{2.5}$ 。因此，表示台灣本身的原生性 $\text{PM}_{2.5}$ 排放量的減量成效可以幾乎完全反應在 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度的降低上，且其減量效應會趨近線性。意即，表 6 所示原生性 $\text{PM}_{2.5}$ 佔 $\text{PM}_{2.5}$ 的 27%，可以直接透過 PM 排放的削減獲得 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度的改善。而衍生性 $\text{PM}_{2.5}$ 部分，雖然其佔 $\text{PM}_{2.5}$ 比例



更高(37%)，但其中亦有一半以上來自境外長程傳輸之貢獻，因此台灣減量能獲得的實際效應可能僅有 17%，再加上由於光化學反應並非線性而會使前驅物初期減量所獲得二次 $PM_{2.5}$ 改善有限，因此在研擬台灣排放管制策略時，初期應管制原生性 $PM_{2.5}$ 較管制衍生性 $PM_{2.5}$ 前驅物有效。而在衍生性 $PM_{2.5}$ 前驅物的管制上，雖然光化反應並非線性但 $PM_{2.5}$ 成分濃度仍應與其直接前驅物(例如， SO_4^{2-} 對應 SO_2) 具有較大相關，而由表得知台灣排放所貢獻 SO_4^{2-} 與 NO_3^- 高於其它衍生性 $PM_{2.5}$ ，因此應優先針對台灣 SO_x 與 NO_x 排放進行管制。此外，在 NH_3 的管制上，由於其在衍生性 $PM_{2.5}$ [$(NH_4)_2SO_4$ 與 NH_4NO_3] 生成上扮演一個非常關鍵的角色，在境外影響濃度量中，可能有相當程度是境外 SO_4^{2-} 與 NO_3^- 傳送至台灣後才與台灣本地的 NH_3 反應生成衍生性 $PM_{2.5}$ ，因此藉由台灣本地 NH_3 的排放控制或有可能獲得 $PM_{2.5}$ 濃度改善，但此部分在本篇文章尚未有實際的數據，有賴後續研究更進一步探討。

四、結論與建議

本研究進行 2007 年全年長期模擬，模擬分析境外傳輸對台灣 $PM_{2.5}$ 空氣品質之影響，並探討境外傳輸對 $PM_{2.5}$ 組成份的影響。在境外傳輸對台灣 $PM_{2.5}$ (濕基) 的影響部份，2007 年全台灣平均 $PM_{2.5}$ 受到傳輸影響濃度為 $10.9 \mu g/m^3$ ；占基準案例濃度 37%；在各空品區中，雲嘉南空品區是受長程傳輸影響濃度最高的空品區。根據 $PM_{2.5}$ 組成份受境外傳輸影響的結果，長程傳輸對於台灣原生性 $PM_{2.5}$ 的影響非常低，而且對衍生性 $PM_{2.5}$ 的影響遠遠超過原生性 $PM_{2.5}$ 。再加上 $PM_{2.5}$ 排放削減對於 $PM_{2.5}$ 濃度改善趨近線性，而衍生性 $PM_{2.5}$ 前驅物削減對於 $PM_{2.5}$ 濃度改善並非線性且初期通常效益不高。因此，在研擬台灣排放管制策略時，原生性 $PM_{2.5}$ 之管制較衍生性 $PM_{2.5}$ 前驅物有效。而在衍生性 $PM_{2.5}$ 前驅物的管制上，應優先針對台灣 SO_x 與 NO_x 排放進行管制較有效益。此外， NH_3 的排放控制效益需要進一步研究與探討。

五、參考文獻

1. Byun, D., K.L. Schere, 2006, Review of the Governing Equations, Computational Algorithms, and Other Components of the Models-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) Modeling System, *Applied Mechanics Reviews*, 59, 51-77.
2. Chang, K.-H., J.-Y. Yu, T.-F. Chen., Y.-P. Lin, 2009, Estimating Taiwan biogenic VOC emission: Leaf energy balance consideration, *Atmospheric Environment*, 43, 5092-5100.
3. Chen, T.-F., C.-Y. Tsai, K.-H. Chang, 2013, Performance Evaluation of atmospheric particulate matter modeling for East Asia, *Atmospheric Environment*, 77, 365-375.
4. Chuang, M.-T., J.-S. Fu, C.-J. Jang, C.-C. Chan, P.-C. Ni, C.-T. Lee, 2008, Simulation of long-range transport aerosols from the Asian Continent to Taiwan by a Southward Asian high-pressure system, *Science of the Total Environment*, 406, 168-179.
5. Jiang, W., S. Smyth, E. Giroux, H. Roth, D. Yin, 2006, Differences between CMAQ fine mode particle and PM_{2.5} concentrations and their impact on model performance evaluation in the lower Fraser valley, *Atmospheric Environment*, 40, 4973-4985.
6. Koo, Y.-S., S.-T. Kim, H.-Y. Yun, J.-S. Han, J.-Y. Lee, K.-H. Kim, E.-C. Jeon, 2008, The simulation of aerosol transport over East Asia region, *Atmospheric Research*, 90, 264-271.
7. Ohara, T., H. Akimoto, J. Kurokawa, N. Horii, K. Yamaji, X. Yan, T. Hayasaka, 2007, An Asian emission inventory of anthropogenic emission sources for the period 1980-2020, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7, 4419-4444.
8. Shimadera, H., K.L. Shrestha, A. Kondo, A. Kaga, Y. Inoue, 2008, Fog simulation using a mesoscale model in and around the Yodo River Basin, Japan, *Journal of Environmental Sciences*, 20(7), 838-845.
9. 吳義林、賴進興、林清和，2008，南部微粒超級測站品保查核及數據分析計畫，行政院環境保護署委託專案研究計畫期末報告，EPA-97-FA11-03-A019。
10. 林清和、吳義林、賴進興，2007，南部微粒超級測站品保查核及數據分析計畫，行政院環境保護署委託專案研究計畫期末報告，EPA-96-FA11-03-D036。
11. 張良輝、林義儉、張育禎，2005，東亞地區生物源排放量模式之建立與推估，第廿二屆空氣污染控制技術研討會，中壢。