

知識天地

「細懸浮微粒」：空氣品質管理的新重心

周崇光副研究員(環境變遷研究中心)

隨著工業發展及都會區車輛密度增加，國內主要都會區的空氣品質受到明顯的衝擊，其中又以大氣氣膠(或稱懸浮微粒)及臭氧的污染情況最為嚴重。大氣氣膠(aerosols)是指懸浮在空氣中的細小顆粒，其來源可分為自然產生及人為排放兩類，前者如火山爆發、森林火災、海水飛沫、生物作用等；後者則以工業污染及車輛廢氣為主。自然產生的大氣氣膠早已存在於環境中，是生態系統運作的重要環節之一，但是人為污染所產生的氣膠微粒卻是生態系統的入侵者，這些人為的粒狀污染物對於環境的影響十分廣泛，作用機制則極為複雜：由於其對於日光的遮蔽作用，地表的太陽輻射因而減少；由於其對水氣的凝結作用，可能改變雲霧的形成及性質，並且因而影響大氣層的能量平衡；由於其對可見光的散射和吸收作用，可以導致大氣能見度的降低；也由於其所含之成份物質可經由各種沈降機制進入水體，因而牽動水體生態系的變化。此外，由於人為產生的懸浮微粒已經被證實含有許多的毒性物質，又使得包括人類在內的生物健康受到威脅。

懸浮微粒空氣品質標準的發展

「粒徑分布」是在描述大氣氣膠的各種物理及化學性質時最重要的特徵參數，一般大氣中懸浮微粒的粒徑範圍可由數個奈米(nanometers, nm)至數十微米(micrometers, μm)，比較粗大的微粒通常是源自於機械性的作用機制，在自然環境中，沙塵及海鹽微粒是最主要的「粗微粒」，也就是一般民眾最能直接感受到的塵埃，但是人為的污染源經常大量排放出粒徑在數微米，甚至於1微米以下的細小顆粒，由於這些細小的顆粒可以深入人體的呼吸系統，對人體健康的危害程度遠大於「粗微粒」。為了保護民眾健康，世界各主要國家都對大氣環境中懸浮微粒的濃度訂有空氣品質標準，但是在懸浮微粒的「粒徑」上卻有不同的進程，早期的空氣品質標準是以空氣中「總懸浮微粒」為管制基準(我國目前仍訂有此標準)，隨著各項科學研究成果的累積，美國在1987年修訂其空氣品質管制策略，改成以「可吸入性」(inhalable)的微粒做為管制的標的，在法規的定義上，則是以「空氣動力等似直徑(Aerodynamic Diameter)小於或等於10微米的粒狀物質量濃度」訂定空氣品質標準，此即目前國際上普遍採行的 PM_{10} 標準。美國的 PM_{10} 年平均濃度的標準為 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (此標準在2006年廢除)，日平均濃度的標準為 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；我國的 PM_{10} 年平均濃度的標準為 $65\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，日平均濃度的標準為 $125\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；世界衛生組織(WHO)空氣品質指引建議之 PM_{10} 年平均濃度的標準為 $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，日平均濃度的標準為 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；目前世界主要國家的 PM_{10} 濃度大多未能達到WHO要求的水準，換言之，懸浮微粒污染所導致的健康危害仍然普遍存在。

PM_{10} 標準的制定與執行確實在環境品質的改善上收到一定的成效，但是另一方面，有許多的研究明確指出懸浮微粒的健康危害主要是由粒徑顯著小於10微米的細小微粒所造成， PM_{10} 標準仍無法充分保障民眾的健康，美國環保署因而於1997年在其空氣品質標準中增訂了「細懸浮微粒」的濃度規範，「細懸浮微粒」的科學定義為「空氣動力等似直徑小於或等於2.5微米的粒狀物」，也就是通稱的 $\text{PM}_{2.5}$ ，當時美國的年平均濃度標準訂定為 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，日平均濃度標準則訂為 $65\mu\text{g}/\text{m}^3$ (三年期間之98%累積頻率)，此項標準在2006年又修訂為 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ (年平均標準不變)，此項修訂充分反應出美國政府及相關學者專家對於細懸浮微粒之健康威脅所持的嚴肅態度。在美國之後，歐盟於2008年公告 $\text{PM}_{2.5}$ 年平均濃度的環境目標值為 $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，將在2015年成為法規值，並且預計在2020年修訂為 $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。日本政府也於2009年正式公告 $\text{PM}_{2.5}$ 標準，內容與美國的標準相同。世界衛生組織空氣品質指引建議之 $\text{PM}_{2.5}$ 年平均濃度的標準為 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，日平均濃度的標準為 $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。雖然目前僅有美國和日本將 $\text{PM}_{2.5}$ 納入國家空氣品質標準之中，但是在保障民眾健康的共識之下，以「細懸浮微粒」為重心的空氣品質管制策略已經逐漸成為國際的趨勢。

台灣地區細懸浮微粒的時空變化

台灣地區對細懸浮微粒的長期監測工作起始於1997年，但是僅有少數的空氣品質監測站設置此項監測設備，經過十年的努力，始於2006年完成全國 $\text{PM}_{2.5}$ 監測系統的建設。圖1為古亭監測站(位於台北市)自1997年至2009年的 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度變化趨勢，由此項監測資料我們發現：經過長達十三年的努力，台北市的 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度並未能顯著的降低。圖2為2006-2009年我國各個空氣品質管制區的 $\text{PM}_{2.5}$ 日平均濃度分布，圖中同時註記各地區95-99%累積頻率的對應濃度，這四年的監測數據清楚地顯示出西部地區的細懸浮微粒濃度由北向南增加的特徵，東部的 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度則顯著地低於西部。若是以美國和日本的空氣品質標準相比較，即使是污染程度最低花東地區也無法符合該項標準，西部地區的濃度更是標準

值的2-3倍。

雖然基於空氣品質管理實務上的考量，懸浮微粒空氣品質標準的訂定是以特定粒徑定義下的總微粒質量為基礎，但是無論在探討微粒的環境影響或是健康效應的學理基礎上，微粒的化學組成都是必要的資料。為了深入瞭解台灣地區大氣氣膠的性質，本研究群自2002年春季起逐步完成台灣氣膠觀測網的設置，這個觀測網包括台北、台中、台南、屏東、花蓮等五個地區站，以及富貴角和澎湖兩個背景站。各個觀測站在每個月最後一週進行同步之氣膠採樣，分析的項目包括懸浮微粒(PM₁₀和PM_{2.5})的質量濃度和化學組成。圖3是以2003-2007年的觀測資料為基礎繪製的台灣地區細懸浮微粒分布圖。此項大規模的調查研究結果顯示，懸浮微粒的濃度呈現高度的城鄉差異，PM_{2.5}的差異性又較PM₁₀更為顯著，此項差異充分反映出都市化對大氣環境的影響。在主要的氣膠成分中，硫酸根離子(SO₄²⁻)主要存在於PM_{2.5}中，是最主要的無機離子物種。硝酸根離子(NO₃⁻)除了高度的城鄉差異之外，還呈現強烈的南北梯度，城鄉差異顯示硝酸鹽主要源自當地的污染，南北梯度則符合台灣地區南北的氣候特徵，本研究進一步配合採樣期間的臭氧濃度進行相關分析發現，各地氣膠中的硝酸鹽濃度和當地的臭氧濃度間存在顯著的相關性，顯示硝酸鹽是由氣態氮氧化物(NO_x)在當地大氣中經光化學氧化反應所產生。有機氣膠和元素碳的濃度同樣具有高度的城鄉差異，此外有機氣膠的濃度呈現和硝酸鹽及臭氧濃度一致的南北梯度。上述這些大氣觀測實驗結果顯示，由光化學反應衍生的二次氣膠是台灣地區PM_{2.5}濃度居高不下的主要因子，因此污染源直接的細微粒排放量和環境中的PM_{2.5}濃度間不再是單純因果關係，大氣反應條件的變化及半揮發性物種的相轉化等都是重要的變因。在空氣品質控制策略的研擬中必需納入大氣物理及化學的思維，從複雜的光化學反應

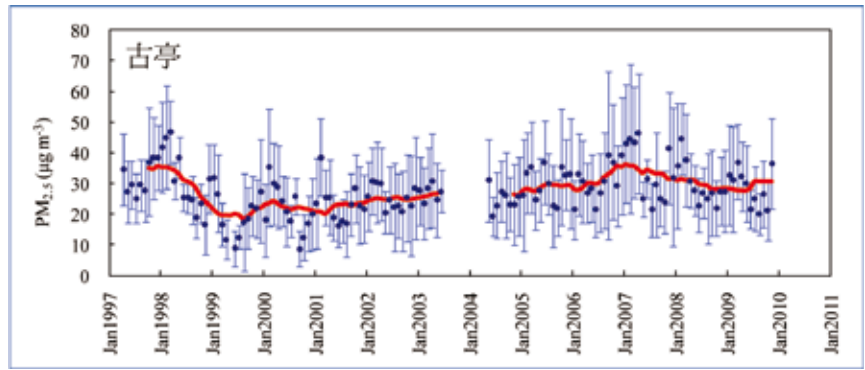


圖1 1997-2009年間古亭空氣品質監測站細懸浮微粒日平均濃度之變化趨勢。圖中資料點為每月監測值的平均值及標準偏差，紅色趨勢線為12個月的移動平均值。

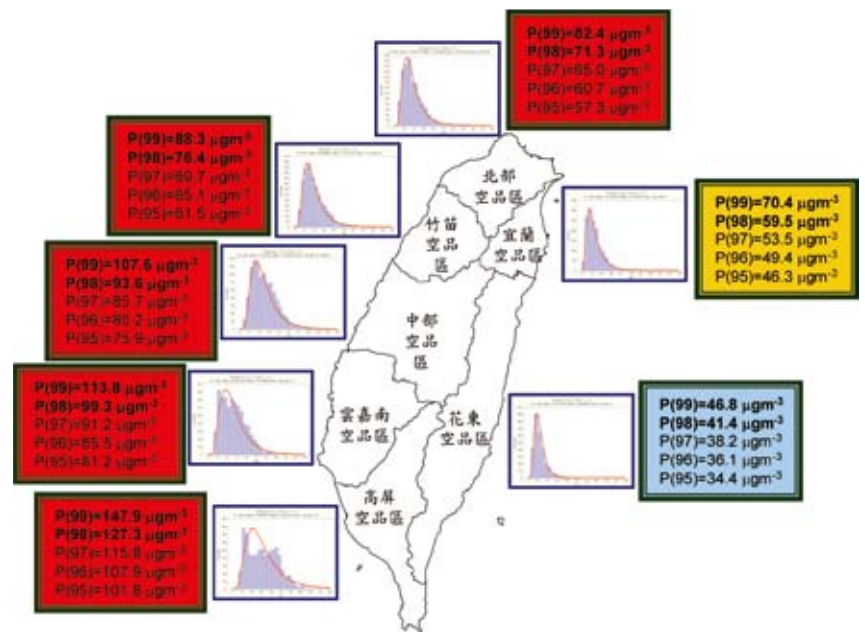


圖2 2006-2009年台灣各空品區PM_{2.5}日平均濃度的統計分布。圖中紅線為對數常態分布的擬合結果，P(95)-P(99)為依據對數常態分布函數所計算出95%-99%累積頻率所對應的濃度值。

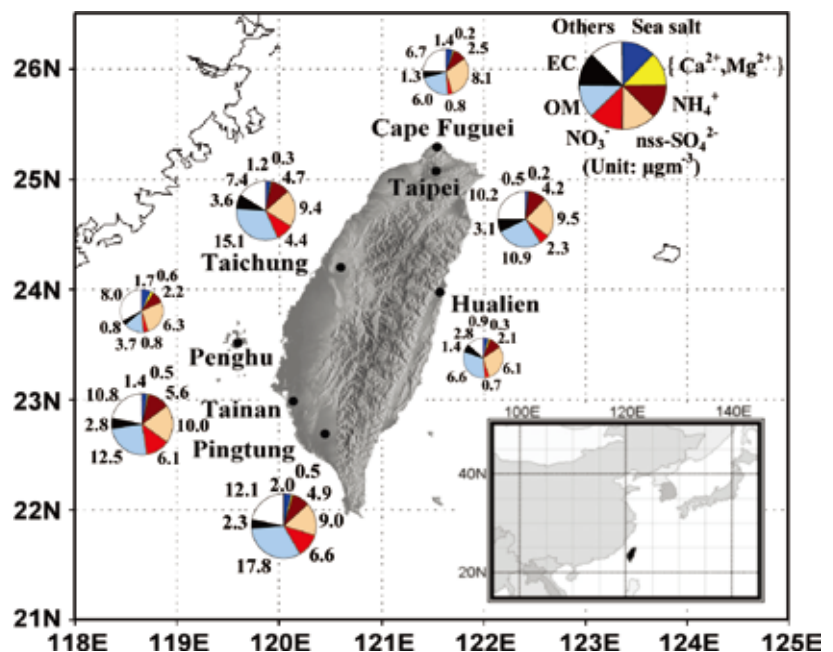


圖3 2003-2007年中研院氣膠觀測網所測得台灣地區PM_{2.5}的平均濃度與化學組成。

中找出行政和工程控制技術所能掌握的關鍵要素。

結語

在台灣有限的土地面積上，我們的人口、車輛及工業密度使得我們的環境負荷無比的沉重，當我們以我國現行的PM₁₀空氣品質標準認為各地懸浮微粒的污染問題已經獲得控制之時，圖1及圖2呈現的數據卻反映出一項嚴峻的事實：民眾的健康風險尚未得到有效的改善。這不僅是突顯出控制細懸浮微粒濃度的困難度，也刺激我們思考是否應當跟隨歐美及日本的策略，透過制定細懸浮微粒的空氣品質標準，帶動整體空氣品質管理觀念的變革，讓台灣的空氣品質提昇工程突破現有的瓶頸，為國人創造更健康的未來。

誌謝

此項研究是由本院環境變遷研究中心和台灣大學、中央大學、中興大學、成功大學、中山大學、屏東科技大學及大漢技術學院的研究團隊共同參與。由本院、環保署及國科會提供經費支持。特此致謝。