

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

主成份因子分析應用在都會地區視程與空氣污染物關係之研究

Application of Principal Component Analysis to Relationship Between Visual Range and Air Pollutants in Urban Area

計畫編號：NSC89-2211-E-041-012

執行期限：88年11月1日至89年7月31日

主持人：蔡瀛逸(mtsaiyi@mail.chna.edu.tw) 嘉南藥理科技大學環境工程衛生系

一、中文摘要

本研究分析台南都會地區之氣象資料及環保署後甲測站之空氣品質資料，並於2000年1月之高污染冬季及7月低污染夏季，進行大氣PM₁₀懸浮微粒之密集採樣分析，探討台南都會地區空氣污染物及氣象因子對能見度的影響。結果發現雖然近40年之平均能見度為12.8±5.0 km，但年平均能見度從1960年代超過20 km的良好視程，降至近十年的僅有7-10 km，顯示視程的惡化。以空氣污染指標(Pollutant standard index, PSI)代表不同之空氣品質，比較晴朗狀態(Clear days, 24-hr PM₁₀<50 µg/m³, PSI<50)及污染事件日(hazy days, 24-hr PM₁₀>150 µg/m³, PSI>100)之能見度變化，盛行能見度變化從晴朗狀態的12.8±4.8 km，下降至PM₁₀污染事件日之5.9±3.0 km，顯示污染事件日的狀態，能見度明顯惡化。能見度與溫度呈現正相關，與微粒之SO₄²⁻、NH₄⁺、NO₃⁻及含碳成份具有高度負相關。由主成份因子分析之最大變異轉軸法(Principal component analysis, Varimax rotation)分析，可鑑別三項特徵值大於1.0以上之主成份因子，其中由第一成份因子發現PM₁₀及NO₂濃度是造成台南都會能見度變異的主要原因，顯示能見度可視為PM₁₀濃度變化之重要指標，此外管制台南都會地區之汽機車的成長，可降低能見度持續惡化。

關鍵詞：都會能見度，主成份因子分析，空氣污染物，氣膠成份，氣象因子

Abstract

Meteorological and air quality data were analyzed with the intensive data of chemical compositions of ambient aerosol particles during the high-polluted wintertime of January 2000 and low-polluted summertime of July 2000 in order to study the relationship between visibility degradation and properties of air pollutants in Tainan urban area. Although the mean hourly visibility from 1961 to 1998 was observed to be 12.8±5.0

km, the average visual range during the early 1960's was more than 20 km and had deteriorated to approximately 7-10 km over the last decade. The pollutant standard index (PSI) was widely used to report urban air quality. Comparing the statistics based on the clear days (24-hr PM₁₀<50 µg/m³, PSI<50) and the hazy episode (24-hr PM₁₀>150 µg/m³, PSI>100), the corresponding visual range was decreased from 12.8±5.0 km on clear days to 5.9±3.0 km on hazy days, demonstrating PM₁₀ concentration caused the significant deterioration in visibility during PM₁₀ episodes. Visibility had a positive correlation with temperature but had a strong negative correlation with SO₄²⁻, NH₄⁺, NO₃⁻, and carbonaceous materials of aerosol particles. Further, the result of VARIMAX principal component analysis shows the three identified factors with eigenvalues greater than one. The first factor was identified as well as an expected contribution of PM₁₀ and NO₂ to visibility reduction. Thus, reduction of vehicle-generated pollution would improve the urban visibility in Tainan area.

Keywords: urban visibility, principal component analysis, air pollutant, aerosol composition, meteorological factor

二、緣由與目的

台南都會地區近十年來重大工程陸續興建及交通路網快速發展，空氣品質不良是長期面臨的問題，其中PM₁₀及O₃乃為最主要的兩類污染物，此污染現狀除導致居民健康受損外，氣膠微粒在大氣中散射吸收太陽輻射，影響全球氣候，造成植物對陽光之吸收量下降，亦降低能見度(Lukac, 1994; Dockery and Pope, 1994)，對於陸地、空中、海上運輸之交通安全亦是一大隱憂。

從過去國內外對能見度與空氣品質的相關研究顯示，世界各地的能見度因地域的不同而相異。Farber et al.(1994)於1985年

在美國洛杉磯都會地區之調查，地區之平均能見度約13 km。而能見度的下降往往代表空氣品質的惡化(Horvath, 1995)。

此外，能見度與懸浮微粒、相對濕度之關係，Dieren et al. (1985)在荷蘭的研究指出，懸浮微粒對能見度的影響，明顯大於相對濕度對能見度之影響。然而從污染源方向吹來的風有較差的視程，且風速大小亦會影響能見度，而氣膠微粒在高相對濕度下，會潮解(deliquesce)成長，降低能見度(Hering, et al., 1981; Lee, 1990)。

在污染來源鑑定上，Statheropoulos et al. (1998)在希臘雅典(Athens)利用主成份分析及典型相關分析，探討氣狀污染物與氣象條件之關係，當地氣狀污染物之貢獻，以汽油燃燒、重油燃燒及臭氧反應為主，而污染之形成，受低風速及高濕度同時發生的影響最鉅。

因此，本計畫將利用主成份因子分析法，探討台南都會地區空氣污染物及氣象因子對能見度的影響，研究之進行擬以高量採樣器採集冬季高污染時期(PSI>100)之日夜PM₁₀懸浮微粒並分析其微粒組成，且結合台南氣象站之氣象資料及環保署後甲測站之空氣品質資料，以主成份因子分析之最大變異轉軸法(Principal component analysis, varimax rotation)，獲取與能見度有關之獨立參數，探討台南都會地區之能見度與日夜PM₁₀微粒成分、氣狀污染物及氣象因子的關係，此研究成果除將探知影響能見度之主要成因外，尚可得知該地區可能之大氣污染來源，並提供PM₁₀管制策略對能見度改善所需之參考資料。

二、研究方法

(一) 研究地點

觀測台南都會地區能見度與監測空氣品質之台南氣象站及環保署後甲空氣品質監測站與污染源之相關所在位置如Fig. 1，高速公路及永康、仁德工業區與安南工業區，相對在氣象站及後甲空氣品質站之東、西方。觀測台南都會地區氣象的台南氣象站，其相關資料回溯自1961年至1998年為止，共計有38年，觀測能見度之參考目標物約有40個。此外，亦加以分析1994-1998年之後甲測站之空氣品質資料。季節的區分以3-5月為春季，6-8月視為夏季，9-11月為秋季，12-2月為冬季。此外，在2000年1月之高污染冬季及7月低污染夏季，進行大氣PM₁₀懸浮微粒之密集採樣分析，採集氣膠微粒以Andersen Instruments公司所產之高量採樣器(Model 312b Hi-Volume sampler)進行。微粒之採集以石英濾紙(Pallflex 8in×10in)收集。大氣微粒採樣時段，自清晨八點至翌日八點為止，或自清晨八點至晚上

八時，再自晚上八時至翌日八點止。

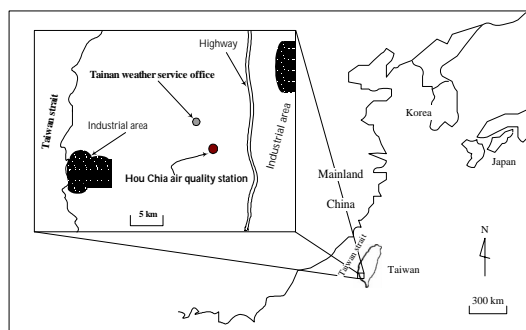


Fig. 1. Relative position of weather observation, air quality monitoring stations, major industrial areas and highway in Tainan urban area.

(二) PM₁₀氣膠微粒之化學成份分析

氣膠微粒化學成份分陰、陽離子分析及含碳分析。針對陰、陽離子，以離子層析儀(Dionex DX-100, Ion chromatography)分析微粒之Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻、NH₄⁺、Na⁺、K⁺、Ca²⁺與Mg²⁺的濃度。微粒之碳分析包括有機碳(OC)、元素碳(EC)，兩者合為總碳(TC)，乃以元素分析儀分析。

(三) 統計分析

結合能見度及污染物濃度與氣象條件，以主成份因子分析(principal component analysis, PCA)之正交轉軸的最大變異法(varimax)，抽取特徵值(eigenvalue)大於1.0以上之共同因子(common factor)為主成份因子(principal components, PCs)，其所得之相關因子負荷(loadings)以大於0.6，作為鑑別污染來源依據及能見度探討。PCs以下式展現之：

$$PC_i = a_{1i}V_1 + a_{2i}V_2 + \dots + a_{ni}V_n$$

其中PC_i為第i個主成份因子，a_{ji}為變異數V_j的負荷(loading)。

三、結果與討論

(一) 能見度之逐年及四季變化分析

Fig. 2 為台南都會地區在1961-1998年之年平均能見度之變化趨勢。然近40年之平均能見度為12.8±5.0 km，但年平均能見度從1960年代超過20 km的良好視程，降至近十年的僅有7-10 km，顯示能見度的惡化。

四季之能見度變化如Fig. 3所示，夏、春兩季之能見度較秋、冬兩季為佳，而夏季是能見度最好的一季，平均能見度在70年代初期之前，約23 km以上，在80年代至90年代，降至約為15 km。能見度次佳的季節為春季，其能見度從60年代中期前的20 km以上，降至70年代中期的10-13 km，到

近十年僅約8 km。而秋、冬兩季的能見度，則從60年代中期以前的15 km以上，降至近十年的5-8 km。1988-1998年之夏季平均能見度為 14.2 ± 1.2 km，較冬季的 6.2 ± 0.9 km約高出8.0 km，顯示能見度因季節性影響而有顯著差異。

分析1961-1998年之能見度，其一天當中，平均能見度之日變化走勢如Fig. 4，以中午時分能見度較佳，傍晚時段，能見度逐漸降低，至翌日清晨五時因晨霧，能見度降至最差。然而各時間點之能見度變化甚大，尤其以中午時分的能見度變化最大，達8.6 km之變異。

(二) 不同空氣品質之能見度差異

比較1994-1998年之不同空氣品質的能見度差異，共分為 $PSI < 50$ 之晴朗狀態、 $50 < PSI < 100$ 之普通狀態及 $PSI > 100$ 之污染事件日，其中這三類空氣品質以24-h PM_{10} 作為分類依據，結果顯示空氣品質多在普通狀態。在 PM_{10} 之污染事件日，其平均濃度高達 $172.3 \pm 20.5 \mu g/m^3$ ，較晴朗狀態之 $36.1 \pm 8.0 \mu g/m^3$ 高約4-5倍。此外，相對應之平均能見度，由晴朗狀態之 12.8 ± 5.0 km，下降至污染狀態之 5.9 ± 3.0 km，氣狀污染物 NO_x 、 CO 、 SO_2 濃度，亦從由晴朗狀態之物種濃度，增至污染狀態之0.8-1.2倍，但風速與濕度之變化差異不大，而高污染狀態多出現在較低溫時，晴朗狀態之出現則多在較高溫。

(三) 能見度與 PM_{10} 之主要組成時間序列

由Fig. 5之不同 PM_{10} 濃度狀態下，能見度與主要微粒組成 SO_4^{2-} 及總碳含量之時間序列發現，冬季之 PM_{10} 高污染狀態時， SO_4^{2-} 及總碳含量分別可高達 $41 \mu g/m^3$ 及 $87 \mu g/m^3$ ，而在夏季之 PM_{10} 濃度較低時， SO_4^{2-} 及總碳含量約為 $2-6 \mu g/m^3$ 及 $10-25 \mu g/m^3$ 。而能見度很明顯隨 SO_4^{2-} 與總碳含量的多寡呈負相關之趨勢。此外一月發生之大陸沙塵暴，亦造成 PM_{10} 濃度的急遽上升，但 SO_4^{2-} 濃度並未顯著增加，但 Ca^{2+} 之濃度，由平均

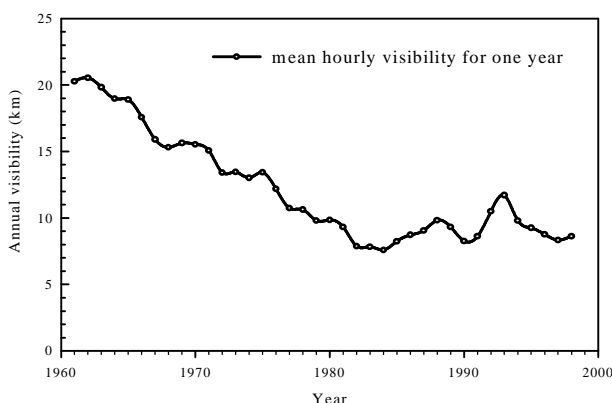


Fig. 2. Time series of mean annual visibility in Tainan City from 1961-1998

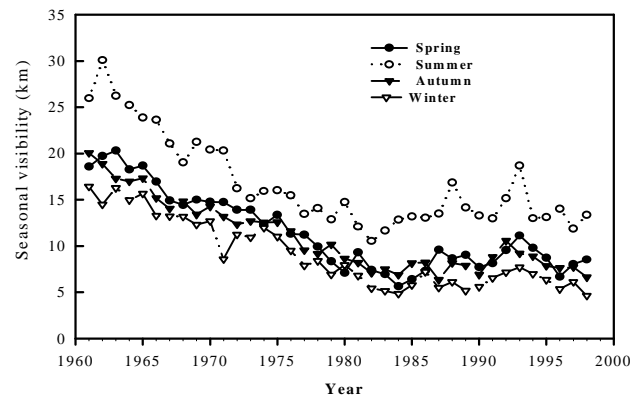


Fig. 3. Time series of various seasonal visibility in Tainan, 1961-1998.

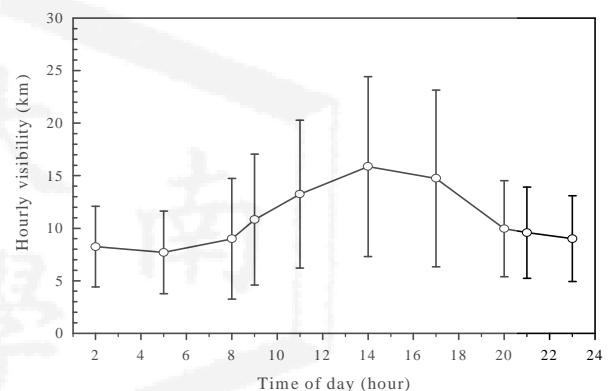


Fig. 4. Daily variation (mean and standard deviation) of hourly visibility in Tainan City, 1961-1998. Error bars represent ± 1 standard deviation.

(四) 主成份因子分析與經驗模式推估

運用PCA之正交轉軸最大變異法分析台南都會地區視程與空氣污染物關係，其結果如Table 1所示，鑑別出三項特徵值大於1.0以上之主成份因子，三項因子可解釋總變異量的71%，由相關因子負荷判斷，第一主成份(PC1)可代表約近4個變數的變化，解釋約28%之總變異量，此主成份與 PM_{10} 及 NO_2 之空氣污染物有關，且與氣象參數之氣溫呈高度負相關，而能見度與 PM_{10} 及 NO_2 呈現高度負相關，與氣溫呈現高度正相關，顯示第一主成份主要為影響能見度之空氣污染物種及氣溫變化。此外，都會地區之風速大小，並未明顯影響能見度的良窳。因此，能見度之經驗模式推估，則可以 PM_{10} 為主要因子。

第二主成分代表2個變數變化，解釋約22%之變異量，為 O_3 形成之相關主成分因子，此成分因子與濕度、日照時間及 O_3 呈現高度相關。顯示在有日照之白天，濕度較低， O_3 之光化生成反應明顯。第三主成

份與燃燒排放有關，其eigenvalue為1.27，解釋約21 %變異量，主要根據SO₂、CO及NO₂之高相關性，此外，風速與此氣狀污染物呈負相關，顯示風的帶動與否，影響污染物之擴散。綜合各主成分因子之探討，由第一成份因子發現，PM₁₀及NO₂濃度是造成台南都會能見度變異的主要原因，顯示能見度可視為PM₁₀濃度變異的重要指標，此外，與光化反應有關的第二主成份，尚與

Eigenvalue	3.75	2.03	1.27
1. Factor loadings greater than 0.60 were in bold.			

濕度有所關聯。第三成份因CO、NO₂及SO₂之高相關性，視為各式燃燒排放之污染。整體顯示，PM₁₀變異對能見度具有顯著之影響。

五、計畫成果自評

本計畫之執行已順利達成預期目標，除了瞭解台南都會能見度之長期變化及季節性差異，並探討高污染(PSI>100)時段及空氣品質良好(PSI<50)狀態時，能見度與空氣污染物之間的關係。利用主成份因子分析，推估可能之大氣污染來源，並建立經驗模式推估PM₁₀管制策略對改善能見度之成效。由減少移動污染源PM₁₀及NO_x排放，可降低空氣品質之惡化程度，進而改善能見度。本計畫的執行，除了訓練數位學生，在空氣污染領域上，有關能見度之理論探討及實際大氣採樣與分析之各項儀器設備運用外，其部份成果除已投稿Journal of Aerosol Science外，近期也將在第十七屆空氣污染控制技術研討會發表，此外尚再將擇其本研究之主要成果投稿學術期刊。

六、誌謝

本研究承蒙學生林易玄、簡偉庭、鍾昭全、張元銘之協助，在此一併敬致謝意。

七、參考文獻

1. Diederer, H.S.M.A., R. Guicherit, J.C.T. Hollander, "Visibility Reduction by Air Pollution in the Netherlands," Atmos. Environ., 19, pp. 377-383 (1985).
2. Dockery, D.W. and C.A. Pope, "Acute Respiratory Effects of Particulate Air Pollution," Annual Reviews of Public Health, 15, pp. 107-132 (1994).
3. Farber, R.J., P.R. Welsing and C. Rozzi, "PM₁₀ and Ozone Control Strategy to Improve Visibility in the Los Angeles Basin", Atmos. Environ., 28 (20), pp. 3277-3283 (1994).
4. Hering, S.V., J.L. Bowen, J.G. Wengert and L.W. Richards, "Characterization of the Regional Haze in the Southwestern United States," Atmos. Environ., 15 (10/11), pp. 1999-2009 (1981).
5. Horvath, H., "Estimation of the Average Visibility in Central Europe," Atmos. Environ., 29 (2), pp. 241-246 (1995).
6. Lukac, J., "Trend of Solar Radiation Attenuation by Atmospheric Aerosols," Atmos. Environ., 28, pp. 961-962 (1994).
7. Statheropoulos, M., N. Vassiliadis and A.

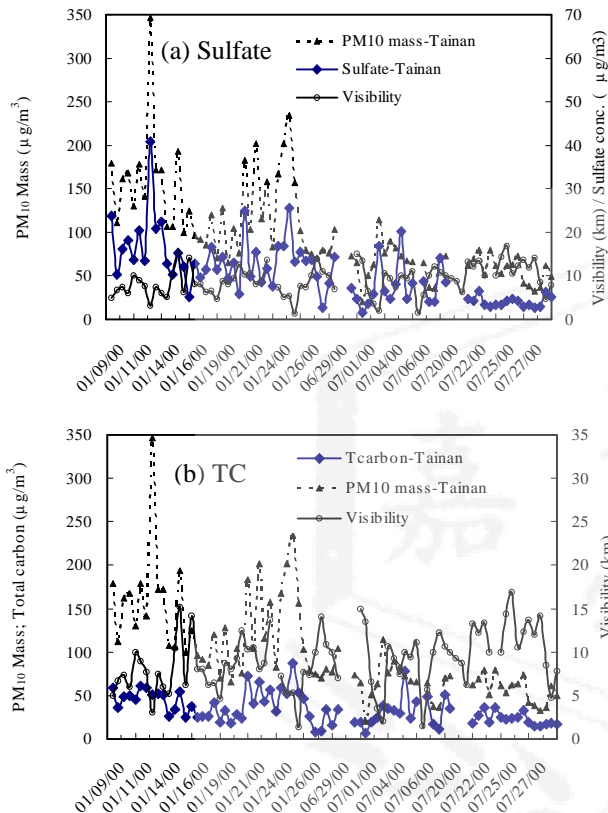


Fig. 5. Variations of visibility and major species in PM₁₀ during the period of January 2000 and July 2000 in Tainan urban area, (a) sulfate; (b) total carbon.

Table 1. Factor loadings for visibility, air pollutants and meteorological parameters in Tainan urban area

Variable	PC 1	PC 2	PC 3
Visibility	-0.85¹	0.15	-0.08
Temp	-0.74	0.35	-0.03
RH	0.15	-0.85	0.05
Ws	0.02	0.12	-0.70
Solarisation	-0.43	0.64	0.22
SO ₂	0.18	0.08	0.79
CO	0.56	-0.23	0.62
O ₃	0.08	0.81	-0.28
PM ₁₀	0.69	0.42	0.27
NO ₂	0.68	0.01	0.61
% Variance	27.70	21.87	20.98

Pappa, "Principal Component and Canonical Correlation Analysis for Examining Air Pollution and Meteorological Data," *Atmos. Environ.*, 32 (6), pp. 1087-1095 (1998).



