

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 地球科學科

第三名

最佳團隊合作獎

040504

穹頂之下

--高雄地區三種空氣汙染物時空特徵之探討

學校名稱：高雄市立高雄女子高級中學

作者： 高二 盧昱璇 高二 郭怡彤 高二 黃柏睿	指導老師： 陳建宏 陳建良
---	-----------------------------

關鍵詞：氮氧化物、臭氧、二氧化硫

摘要

本研究採用高雄地區前金、前鎮及美濃測站在 97-102 年的 NO_x 、 SO_2 和 O_3 濃度進行探討，並進一步分析其季節變化與假日效應，接著利用個案分析討論不同氣象因子對濃度變化的影響，重要結論如下：

1. NO_x 和 SO_2 逐時濃度大小順序為：前鎮 > 前金 > 美濃；而 O_3 的逐時濃度大小順序為：美濃 > 前金 > 前鎮。
2. NO_x 平均濃度最高值皆出現在冬季， SO_2 平均濃度主要在春季出現最高值， O_3 平均濃度主要在春秋二季出現最高值。
3. NO_x 和 SO_2 有假日效應，平均濃度：非假日 > 假日；而 O_3 的平均濃度並無明顯的假日效應。
4. SO_2 逐時濃度變化可能受風向變換影響，推測風向一致時，污染物濃度較低。
5. 逆溫現象使污染物不易擴散，可能造成高污染事件。

壹、研究動機

高雄的空氣污染一直是眾所周知的問題，高屏地區本為石化、鋼鐵、電力等高污染性工業的密集重鎮，人口及車輛的密度亦相當高，空氣污染排放量佔全國四分之一，但一般人並沒有進一步採取行動去了解自己居住環境的空氣污染情況如何。身為一個高雄人，我們應該對自己所處的環境有更深入的了解。

近來透過社群網站，得知小學母校發起許多與改善空氣污染相關的活動，突然驚覺我們都不太了解自己所處的環境，因此我們以高一學過的地球科學課程為基礎，希望透過各項研究來了解高雄地區的空氣污染狀況，實際以自己的生活環境來印證自己所學，而不是停留在認知的層面；以關心生活環境為出發點，提升大眾對這方面問題的知識與重視度。

貳、研究目的

- 一、探討高雄地區污染物(NO_x 、 SO_2 、 O_3)的逐時變化。
- 二、探討高雄地區污染物(NO_x 、 SO_2 、 O_3)的季節變化。
- 三、探討高雄地區污染物(NO_x 、 SO_2 、 O_3)的假日效應。
- 四、探討氣象要素對污染物濃度變化的影響。

參、研究設備及器材

一、環境保護署資料庫與大氣研究資料庫

在本研究中我們利用行政院環境保護署空氣品質監測站所提供，從民國97年至民國102年的資料。台灣颱風中心的大氣研究資料庫提供了本研究所需各項氣象資料。

二、紀錄與分析軟體

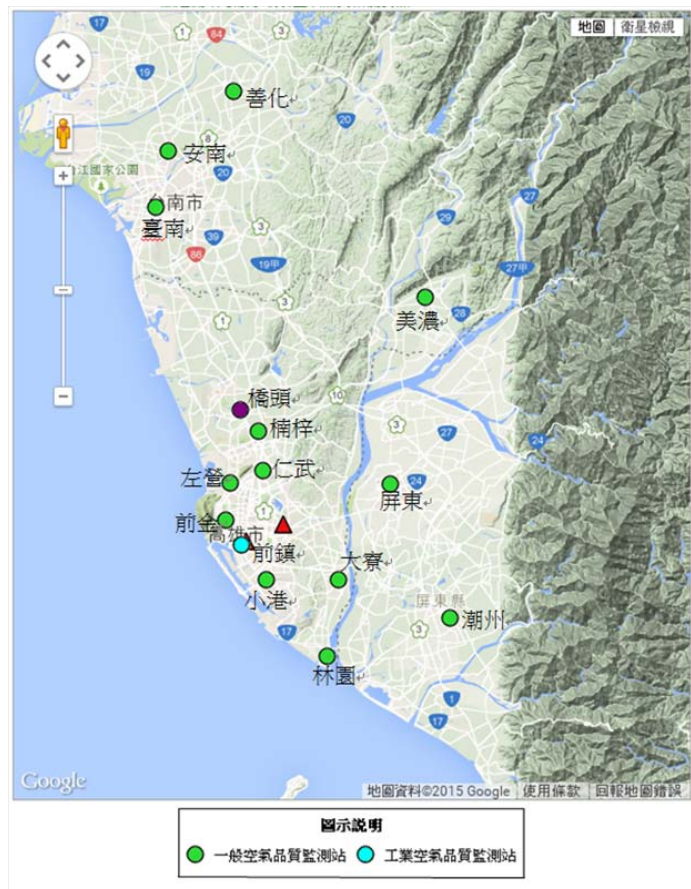
(一) Microsoft Word：進行紀錄

(二) Microsoft Excel：彙整數據、圖表

肆、研究過程與方法

一、本研究中，我們選用 NO_x 、 SO_2 、 O_3 作為研究目標，並分析高雄地區前金、前鎮、美濃測站的污染物濃度來了解高雄地區的空气污染情形。為了對我們所要探討的污染物有初步了解，我們先找尋相關的文獻。

二、接著我們做出 97-102 年各測站各污染物每月及每年的逐時折線圖，並進行圖形的觀察。另外我們還做了年度平均的圖表，以利觀察各測站 97-102 年各年度變化情形，並和高雄地區所有測站平均進行比較。高雄地區所有測站平均為 12 個測站的平均，分別是：大寮、小港、仁武、左營、林園、前金、前鎮、美濃、復興、楠梓、鳳山、橋頭測站，其分布位置如圖(一)所示。本研究中使用的濃度單位為 ppb，也就是十億分之一(用在質量上，一公斤(kg)的物質中有一微克(μg)某物質，某物質含量即為 1ppb)。



圖(一)為高雄地區各測站分布圖

三、經過研究二的探討後，我們發現每個月的逐時濃度都不盡相同，所以做出了各季節的折線圖以利探討。透過各季節的逐時平均濃度變化折線圖，研究季節變化對污染物的影響。

四、經過研究二的分析後，我們猜測污染物濃度高低可能與星期變化有關，觀察各污染物是否有假日效應。我們觀察了 102 年三測站(前金、前鎮、美濃測站)各污染物每月的星期平均，並製作出 97-102 年假日與非假日平均的比較表格，藉此印證污染物濃度高低與工廠及交通排放廢氣之間的關聯。

五、完成研究四後，我們推論 NO_x 與 SO_2 受到人為活動影響，而 O_3 則是受到自然因素影響。為了再次驗證此推論，並找出影響 O_3 濃度之氣象因子，我們設計了研究五。在研究五中，

我們先找出 97-102 年高雄地區前金、前鎮及美濃地區 NO_x、SO₂與 O₃ 濃度最高值出現的日期，並往前往後各推 7 日(共 15 日)，做出污染物濃度與氣象因子(溫度、濕度、氣壓、風速)之相關係數。另外，我們進一步比較了 SO₂ 與風向的關聯，並利用斜溫圖分析高污染事件發生時之大氣環境。

伍、研究結果與討論

研究一、文獻探討

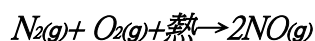
(一)基本性質

氮氧化物指的是只由氮氧兩種元素組成的化合物，氮氧化物除五氧化二氮外其餘均呈氣態，而作為空氣污染物的氮氧化物(NO_x)常指 NO 和 NO₂。二氧化硫為無色透明氣體，有刺激性臭味，溶於水、乙醇、乙醚。臭氧(O₃)為氧分子的同素異形體，常溫下為一種有特殊臭味的淡藍色氣體。

(二)排放途徑

氮氧化物及二氧化硫為一次污染物，係由污染源直接或間接排入環境的污染物，而氮氧化物的主要排放來源為工業或汽機車，其反應式如下：

高溫的引擎內，氧氣和氮氣會產生反應：

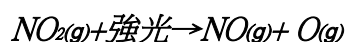


引擎內的一氧化氮排出後很快和空氣中的氧氣反應：



二氧化硫主要來自以石油或煤炭為燃料的工業；臭氧則為二次污染物，其地表主要來源為汽機車排氣中氮氧化物經光化學反應而生成。

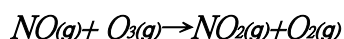
二氧化氮在強光下會產生分解：



這種反應產生的氧原子很容易和氧氣 O₂ 形成臭氧：



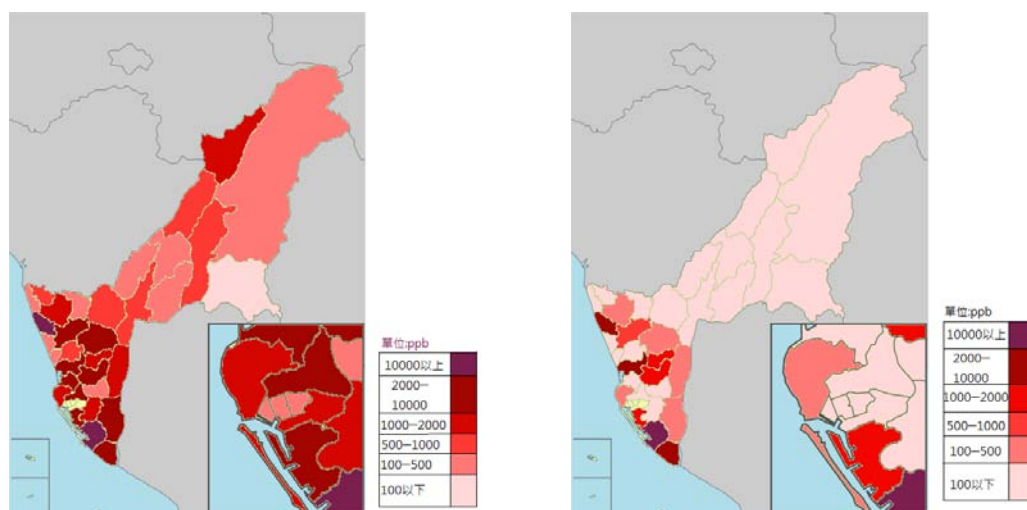
另外，到了夜間或缺乏陽光的時候，滴定效應會隨著光化反應的結束或轉弱而相對增強，逐漸取代光化反應成為影響 NO_x 與 O₃ 濃度的主要因素，滴定效應反應式如下：



(三)造成危害

NO_x 多為神經毒氣，如二氧化氮會破壞人體之中樞神經，大量吸入時會引起中樞神經麻痺，甚至死亡等病變。二氧化硫在大氣中反應可產生 H₂SO₄、H₂SO₃ 等化學物質，會形成酸雨，當二氧化硫年平均濃度達到 37 ppb 時，會增加急性呼吸道相關症狀的發生率。臭氧濃度達到 0.1—0.2mg/m³ 時，易引起哮喘發作；2mg/m³ 以上引起頭痛、胸痛、思維能力下降，嚴重時可導致肺氣腫和肺水腫。

(四)高雄地區 NO_x、SO₂ 排放量分布

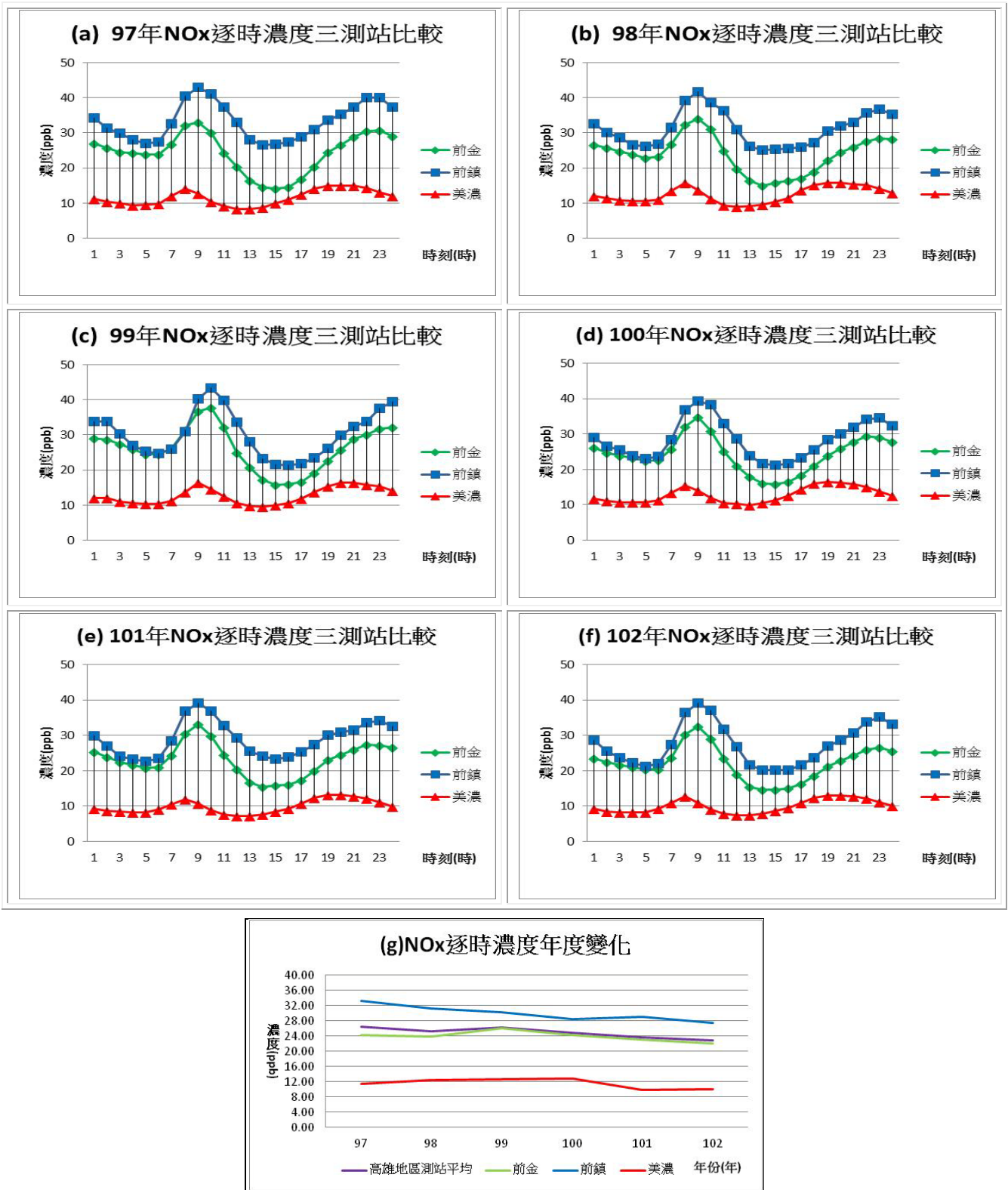


圖(二)左為高雄地區 NO_x 排放量分布圖，右為高雄地區 SO₂ 排放量分布圖。

研究二、探討高雄地區污染物(NO_x、SO₂、O₃)的逐時變化。

為了探討高雄地區污染物(NO_x、SO₂、O₃)的逐時變化，我們針對民國 97~102 年高雄地區前鎮、前金、美濃測站進行逐時濃度的統計，並製作圖表(a)~(f)，而(g)圖中的高雄地區所有測站平均為 12 個測站的平均，分別是：大寮、小港、仁武、左營、林園、前金、前鎮、美濃、復興、楠梓、鳳山、橋頭測站。以下為研究結果：

(一) NO_x---探討高雄地區污染物 NO_x的逐時變化。



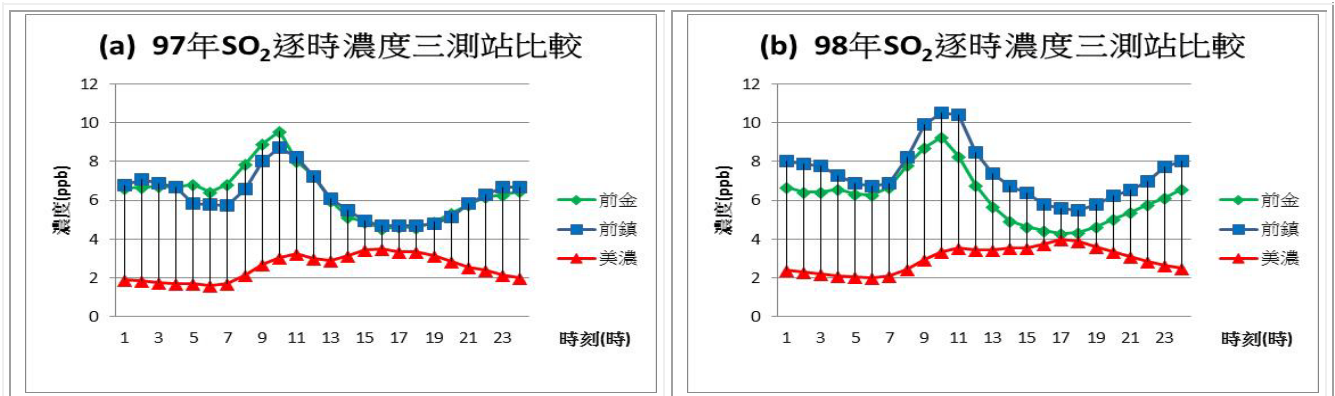
圖三(a)~(f)為民國 97-102 年高雄地區前鎮、前金、美濃測站 NO_x的逐時變化。

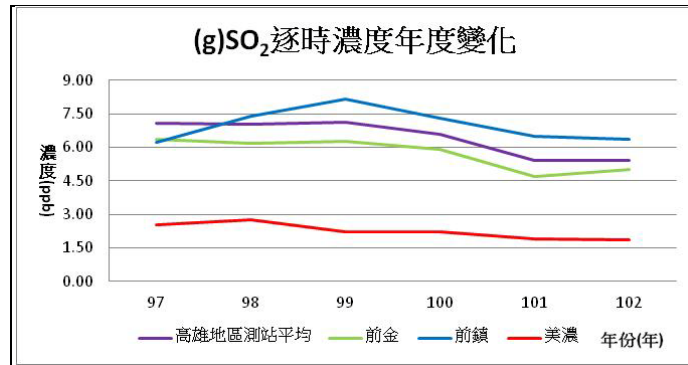
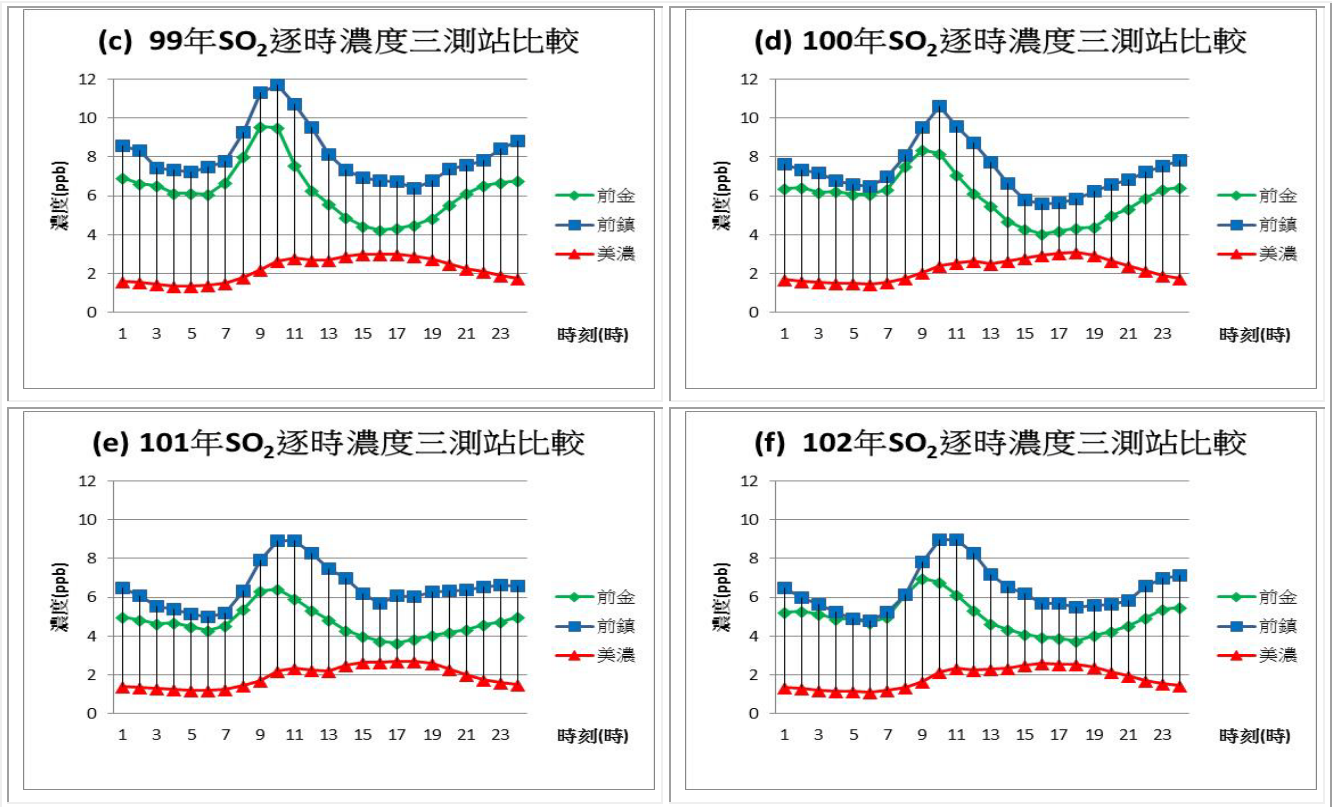
(g)為民國 97-102 年高雄地區前鎮、前金、美濃測站 NO_x各年度的平均濃度變化圖。

發現與討論

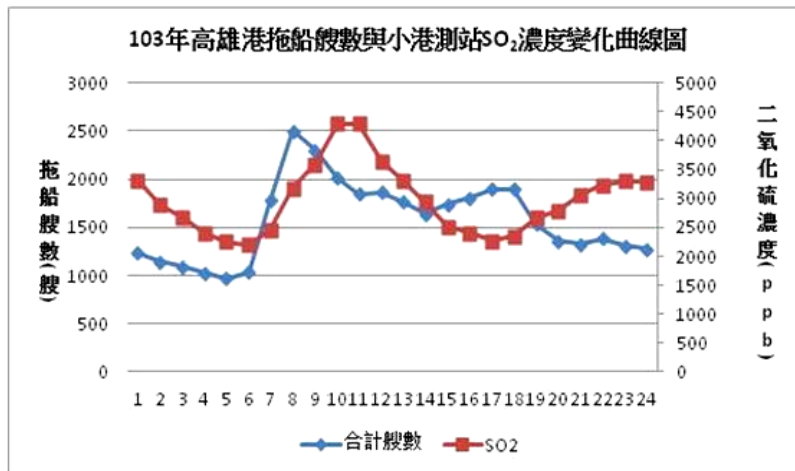
1. 觀察圖三(a)~(f)之後,我們發現 97-102 年高雄地區前金及前鎮測站一天的逐時濃度變化趨勢相近:一天中清晨濃度先降後升,約於 9 點攀升至一天中的最高值,正午後濃度持續下降,於 14-15 點降至最低值,之後濃度又略微升高;美濃雖然也有相似的變化趨勢,但因數值較小,因此變化並不顯著。
2. 觀察圖三(a)~(f)後,我們發現 97-102 年高雄地區前金及前鎮測站一天的 NO_x 逐時濃度在 9-10 點有最高值,而美濃測站一天的逐時濃度最高值約出現在 20 點左右。另外 NO_x 逐時濃度的高值出現在上午 8-11 點時,我們猜測與交通排放廢氣有關。
3. 由圖三(g)可發現,前鎮測站 NO_x 濃度高於高雄地區測站的平均值,美濃測站低於高雄地區測站的平均值,而前金測站介於前鎮及美濃測站之間,與高雄地區測站平均數值相近;再對照圖一(a)~(f)可得知, NO_x 的逐時濃度大小順序為:前鎮 > 前金 > 美濃。
4. 觀察圖三(g)後,我們發現 97-102 年前金、前鎮及美濃測站 NO_x 濃度持續下降,其中以前鎮測站的變化量最為明顯,約下降了 6 ppb。
5. 雖然傍晚時有下班車潮排放大量 NO_x ,但由於缺乏陽光,且大氣中有高濃度 O_3 ,所以 NO_x 與 O_3 產生滴定效應而被分解,直到 O_3 被反應到一定濃度, NO_x 才開始堆積,導致第二次高峯值出現在晚間 8 時,而不是傍晚時的通勤時間。

(二) SO_2 ---探討高雄地區污染物 SO_2 的逐時變化。





圖四(a)~(f)為民國 97-102 年高雄地區前鎮、前金、美濃測站 SO₂的逐時變化。
 (g)為民國 97-102 年高雄地區前鎮、前金、美濃測站 SO₂各年度的濃度變化圖。

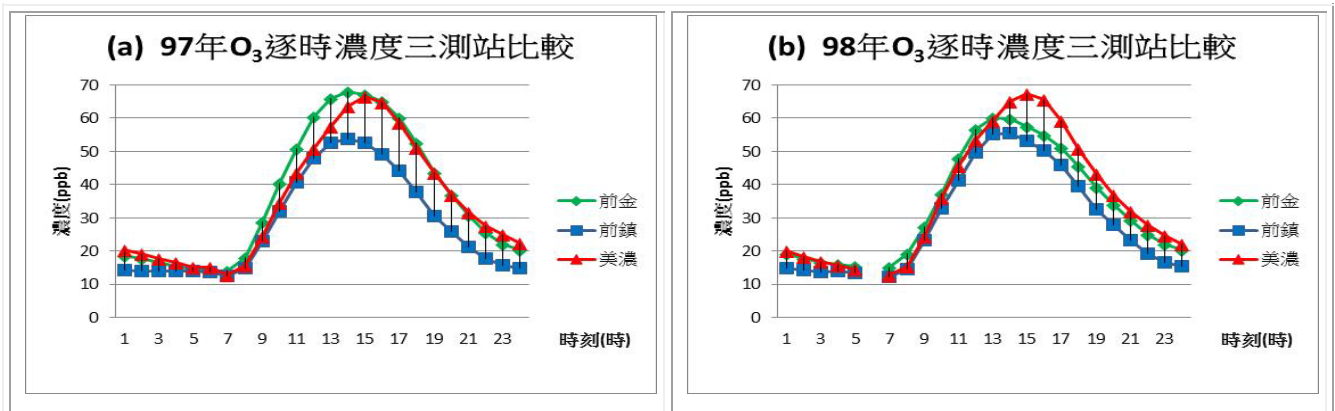


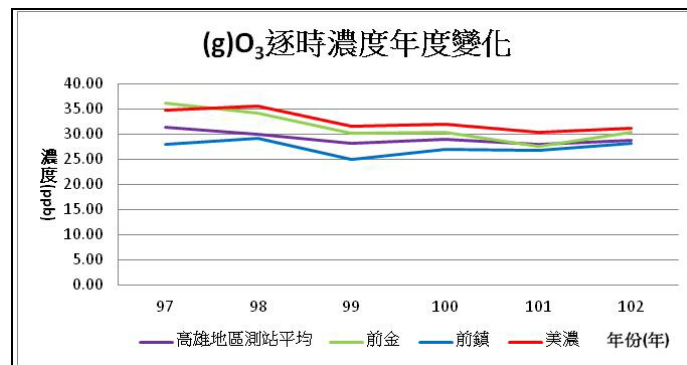
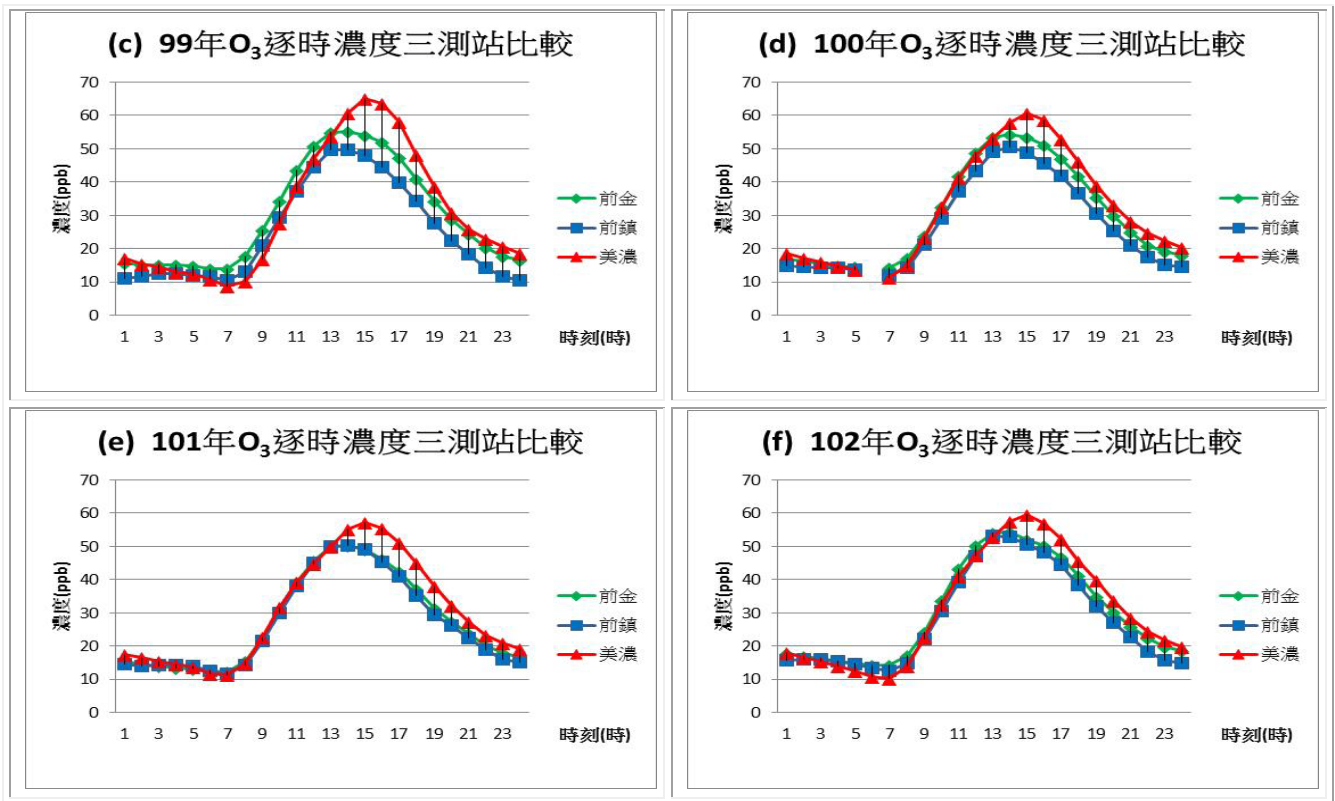
圖(五)為民國 103 年高雄港拖船艘數與小港測站 SO₂濃度變化曲線圖。

發現與討論

1. 觀察圖四(a)~(f)，我們發現 97-102 年高雄地區前金及前鎮測站一天的逐時濃度變化趨勢相近：清晨濃度略降後，約於 9-11 時攀升至一天中的最高值，正午後濃度下降，過傍晚之後濃度又略微升高，與美濃測站的變化不同；美濃測站逐時濃度在上午時漸漸上升，直到 21 時都維持在較高的濃度，之後略微下降。
2. 觀察圖四(a)~(f)，發現 97-102 年高雄地區前金及前鎮測站一天的逐時濃度最高值與最低值的差距在 6ppb 內，美濃測站約在 2ppb 內，可得知前鎮及前金測站的逐時濃度起伏較大。
3. 我們發現前金及前鎮測站 SO_2 的逐時濃度幾乎大於高雄地區測站的平均值，而美濃則是完全低於平均值， SO_2 的逐時濃度偏低。因此可得 SO_2 逐時濃度大小順序為：前鎮 > 前金 > 美濃。
4. 觀察圖四(g)，可看出 97-99 年逐時濃度稍有上升，但 99-102 年逐時濃度則有逐年減少的趨勢。又根據行政院環保署民國 102 年空氣汙染防制總檢討，推測是因為對交通工具及相關產業(例如：石化業、燃煤工業)的空氣汙染物排放有所限制，造成 SO_2 的濃度下降。
5. 由第 4 點可看出，交通工具對 SO_2 的濃度也有相當的影響，由於高雄港是繁忙的大港，我們進一步推測高雄港船隻燃煤發電所排放的廢氣也可能會影響高雄地區 SO_2 的濃度。因此我們做出高雄港拖船艘數與小港測站 SO_2 濃度變化曲線圖；由圖五可看出早上拖船艘數上升而 SO_2 濃度也隨之上升。

(三) O_3 ---探討高雄地區汙染物 O_3 的逐時變化。





圖六(a)~(f)為 97-102 年高雄地區前鎮、前金、美濃測站 O₃ 的逐時變化。
 (g)為 97-102 年高雄地區前鎮、前金、美濃測站各年度 O₃ 的濃度變化圖。

發現與討論

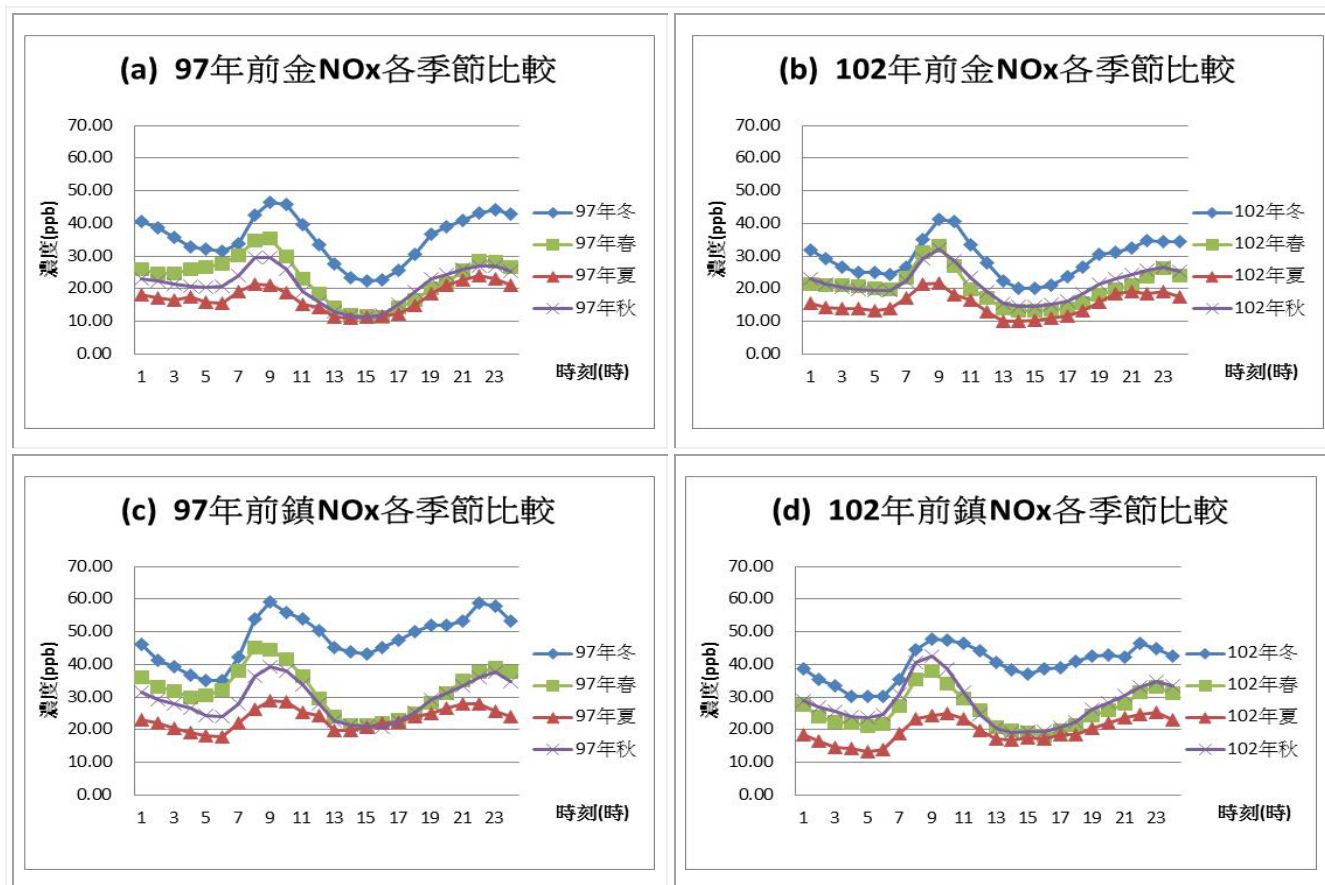
1. 觀察圖六(a)~(f)之後，我們發現 97-102 年高雄地區前金、前鎮及美濃測站一天的逐時濃度變化相近：一天中濃度從 7 時開始上升，約於中午過後到下午 3 時達到最高值，之後持續下降到隔日 7 時，沒有第二個高點。此現象可能與清晨及傍晚近地處易形成逆溫層，不利於污染物之擴散有關，和我們發現 O₃ 濃度從清晨開始增加，傍晚後逐漸下降的趨勢相似。
2. 將圖六(a)~(f)的趨勢與其他污染物比較，如圖一(a)~(f)及圖二(a)~(f)，發現 O₃ 有延遲的現象：O₃ 濃度開始上升下降與高峰出現時間都較晚，當其他污染物，如 NO_x 在 9 點高峰時，O₃ 才正準備上升，而當 O₃ 為最高值時，NO_x 卻是最低值。

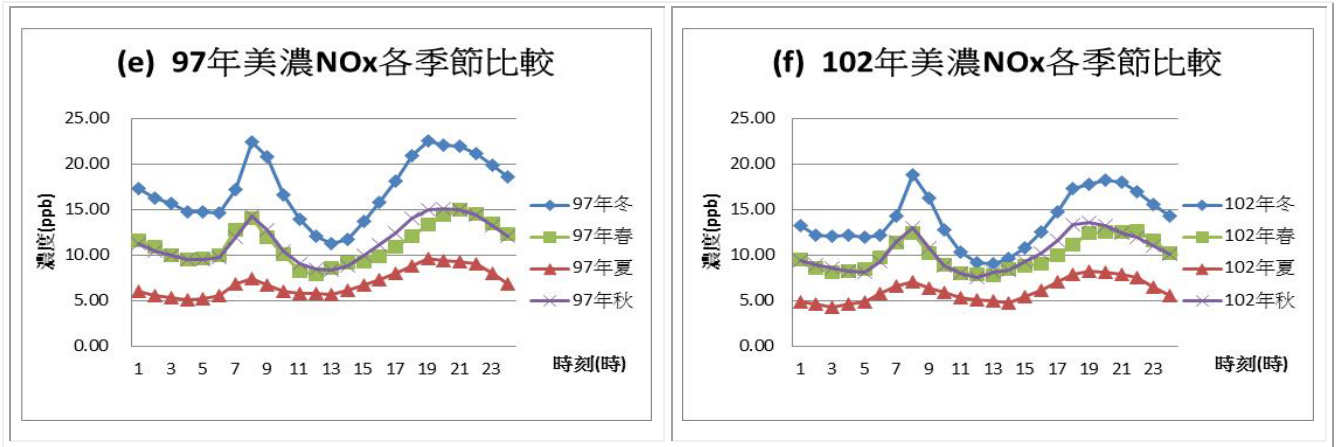
3. 觀察圖六(a)~(f)可發現，前金與前鎮高峰值出現時間均較美濃早，大約在 12 時到 14 時間，美濃高峰值出現較晚，發生在 15 時左右。
4. 由圖六(a)~(f)，也可得知 O₃ 的高峰值與低峰值差距甚大，至少都相差 50ppb，有時候甚至會超過 60ppb。而 O₃ 的反應活性強，容易生成也容易分解，則是造成此現象的主因。
5. 由圖六(g)可看出，美濃與前金測站 O₃ 濃度較相近，且大於高雄地區所有測站之平均，而前鎮測站 O₃ 濃度平均值。因此可得逐時濃度大小順序為：美濃 > 前金 > 前鎮，與其他兩項污染物相反。

研究三、探討高雄地區污染物(NO_x、SO₂、O₃)的季節變化。

經過研究結果二的分析後，我們發現各個月份的逐時濃度變化並不一致，其中又以 SO₂ 最為明顯，所以就想到有人常說冬天的空氣品質較差。為了探討此種說法是否正確，因此設計了研究三，研究季節變化對污染物的影響。

(一) NO_x濃度的季節變化





圖七(a)~(f)為民國 97 年及 102 年高雄地區前鎮、前金、美濃測站各季節 NO_x 的逐時變化。

表(三)-1 為民國 97-102 年高雄地區前鎮、前金、美濃測站各季節 NO_x 的平均濃度。
(紅底表示該年該測站四個季節中平均濃度的最高值，綠底表示平均濃度的最低值)
(單位：ppb)

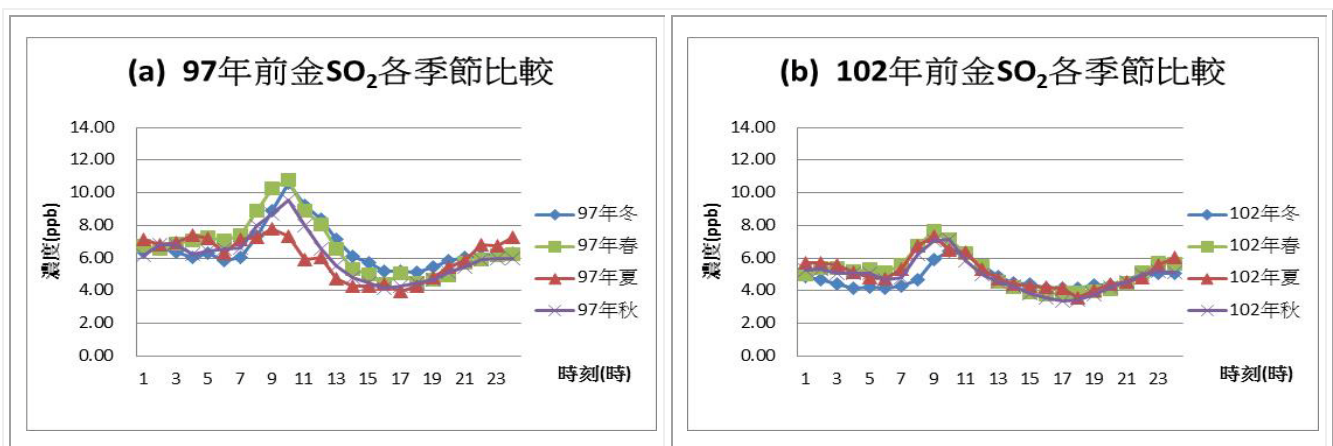
年份	測站	春	夏	秋	冬
97	前金	23.26	17.22	21.18	35.46
	前鎮	32.25	23.39	29.27	47.96
	美濃	11.22	6.92	11.52	17.23
98	前金	23.26	17.55	23.07	31.60
	前鎮	28.71	21.89	31.74	42.27
	美濃	12.41	7.95	12.17	17.07
99	前金	24.00	19.60	25.80	34.86
	前鎮	27.90	21.73	29.85	41.83
	美濃	13.21	8.00	11.73	17.76
100	前金	23.43	16.58	23.02	34.02
	前鎮	26.54	19.44	28.39	39.69
	美濃	14.84	7.60	11.22	17.46
101	前金	22.09	16.57	22.43	30.45
	前鎮	26.28	21.23	26.31	42.01
	美濃	10.13	5.59	9.98	13.73

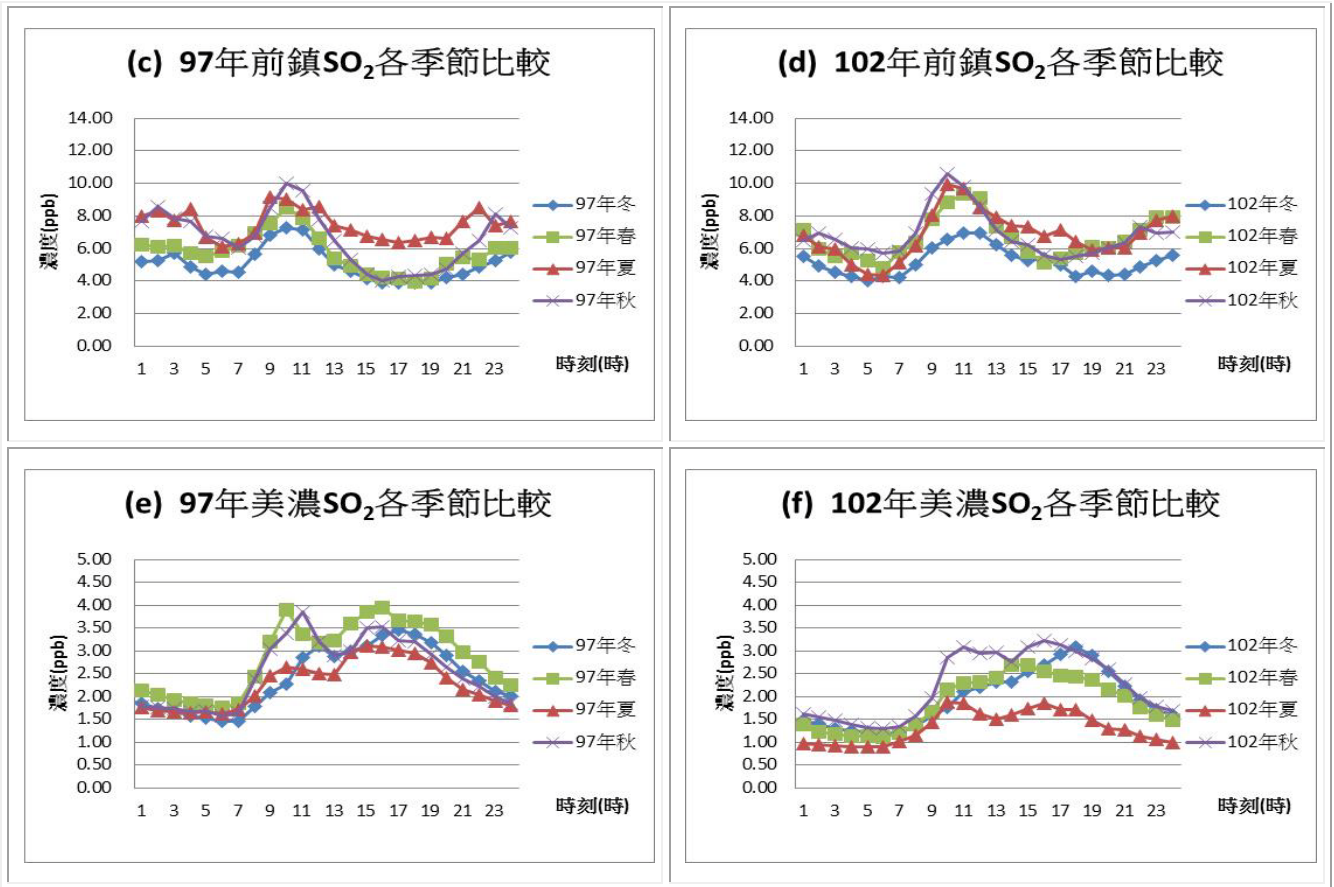
102	前金	20.51	15.33	21.64	29.09
	前鎮	25.90	19.60	27.92	39.98
	美濃	9.93	6.05	10.20	13.75

發現與討論

1. 由圖七(a)~(f)，我們發現 97-102 年高雄地區前金及前鎮測站各季節一天中的 NO_x 平均逐時濃度在 8-10 時有最高值；而美濃測站各季節一天中的 NO_x 平均逐時濃度最高值約出現在 8 時或 19 時左右。
2. 97-102 年高雄地區前金、前鎮及美濃測站四個季節的 NO_x 濃度比較約為：冬 > 春 > 秋 > 夏。春、秋二季圖形幾乎重和，不過 97 年前金及前鎮測站上午春季 NO_x 濃度明顯較高。
3. 由圖七(a)~(f)，我們發現 97-102 年高雄地區前金及前鎮測站各季節一天中的 NO_x 逐時濃度在 14、15 時有最低值；而美濃測站因為 NO_x 濃度數值低，變化較不明顯。
4. 我們發現 97 年高雄地區前金及前鎮測站各季節中的 NO_x 平均逐時濃度最高值與最低值的差距約在 30ppb 內，而美濃測站約在 10ppb 內；102 年前金及前鎮測站最高值與最低值的差距有減少的現象，約在 20 ppb 內。

(二) SO₂ 濃度的季節變化





圖八(a)~(f)為民國 97 年及 102 年高雄地區前鎮、前金、美濃測站各季節 SO₂ 的逐時變化。

表(三)-2 為民國 97-102 年高雄地區前鎮、前金、美濃測站各季節 SO₂ 的平均濃度。
 (紅底表示該年該測站四個季節中平均濃度的最高值，綠底表示平均濃度的最低值)
 (單位：ppb)

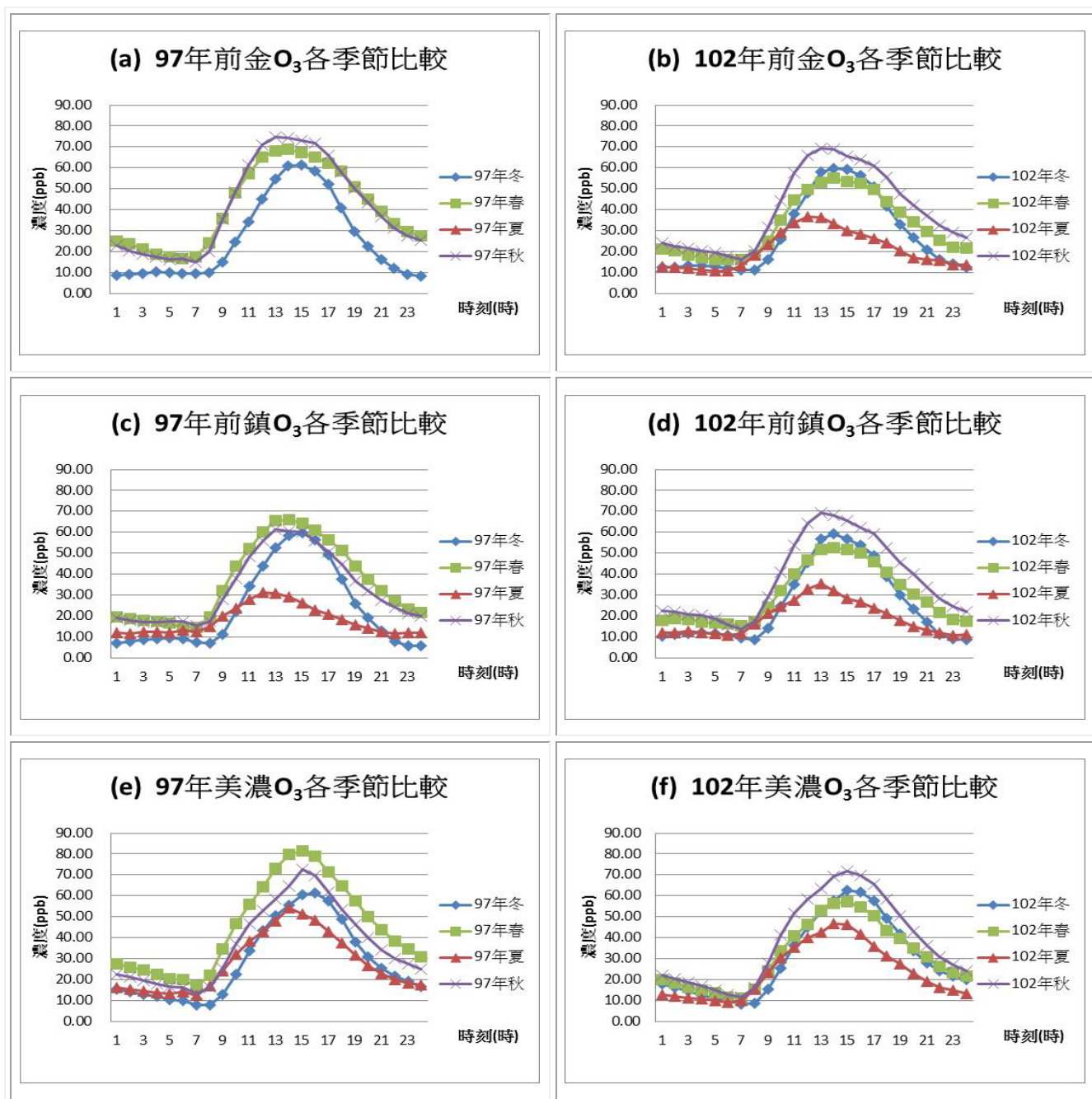
年份	測站	春	夏	秋	冬
97	前金	6.68	6.10	6.13	6.61
	前鎮	5.76	7.45	6.64	5.06
	美濃	2.86	2.28	2.55	2.40
98	前金	6.18	5.83	5.97	6.68
	前鎮	7.51	7.91	7.53	6.65
	美濃	2.91	2.50	3.04	2.59
99	前金	6.46	5.59	6.24	6.78
	前鎮	8.64	7.84	7.88	8.26
	美濃	2.43	1.70	2.32	2.38

100	前金	6.15	5.88	5.83	5.71
	前鎮	7.42	8.52	7.05	6.16
	美濃	2.80	1.98	2.27	1.79
101	前金	5.06	4.49	4.86	4.40
	前鎮	7.07	7.10	6.25	5.62
	美濃	2.06	1.43	2.12	2.06
102	前金	5.15	5.17	4.89	4.74
	前鎮	6.64	6.82	6.85	5.17
	美濃	1.87	1.33	2.24	1.95

發現與討論

1. 由圖八(a)~(f)，我們發現 97-102 年高雄地區前金及前鎮測站各季節一天中的 SO₂ 平均逐時濃度在 9-11 時有最高值；而美濃測站各季節一天中的 SO₂ 平均逐時濃度最高值約出現在 17 時左右。
2. 我們統計出 SO₂ 各季節的平均濃度春天出現當年度高值的次數最多(7 次)，其次為夏季(5 次)。其中前鎮夏季出現最高值的次數為 4 次，與一般污染物的狀況(夏季最低)不同，推測 SO₂ 濃度與固定污染源及風向有關，例如：夏季南風將小港地區的污染物帶至前鎮地區，造成其值上升。
3. 觀察圖八(a)~(f)，我們發現 97-102 年高雄地區前金及前鎮測站各季節一天中的 SO₂ 平均逐時濃度在清晨(5-7 時)或下午(15-19 時)有最低值；而美濃測站各季節一天中的 SO₂ 逐時濃度最低值約出現在午夜過後至清晨這段時間。

(三) O₃濃度的季節變化



圖九(a)~(f)為民國 97 年及 102 年高雄地區前鎮、前金、美濃測站各季節 O₃的逐時變化。
(民國 97 年前金夏季缺資料)

表(三)-3 為民國 97-102 年高雄地區前鎮、前金、美濃測站各季節 O₃ 的平均濃度。
 (紅底表示該年該測站四個季節中平均濃度的最高值，綠底為平均濃度的最低值)
 (民國 97 年前金夏季缺資料)

年份	測站	春	夏	秋	冬
97	前金	41.12	###	41.48	25.88
	前鎮	36.56	17.96	33.53	32.74
	美濃	45.32	28.09	37.10	28.73
98	前金	41.23	25.12	39.30	30.50
	前鎮	35.77	20.82	34.55	25.41
	美濃	41.07	29.45	38.79	32.72
99	前金	33.73	23.82	34.48	28.55
	前鎮	27.57	18.60	29.82	23.64
	美濃	35.12	26.57	35.06	29.46
100	前金	39.36	22.58	37.08	22.36
	前鎮	35.67	19.26	33.08	19.42
	美濃	39.48	26.74	36.00	25.67
101	前金	29.56	17.24	40.54	22.74
	前鎮	28.70	18.54	39.28	20.58
	美濃	31.99	26.59	38.79	24.19
102	前金	32.40	20.87	40.08	28.17
	前鎮	30.13	18.86	38.00	25.77
	美濃	31.59	24.12	38.49	30.52

表(三)-4 為民國 97-102 年高雄地區前鎮、前金、美濃測站各季節中 O₃ 的最高值。
(紅底表示該年該測站四個季節中平均濃度的最高值，綠底表示平均濃度的最低值)

(民國 97 年前金夏季缺資料)(單位：ppb)

年份	測站	春	夏	秋	冬
97	前金	68.72	###	74.81	61.25
	前鎮	66.16	31.23	61.33	59.76
	美濃	81.54	54.23	72.87	61.28
98	前金	67.01	41.65	70.48	66.20
	前鎮	61.65	36.32	66.97	61.43
	美濃	74.13	54.56	73.38	69.48
99	前金	56.40	41.19	64.51	62.46
	前鎮	49.74	35.50	61.20	56.70
	美濃	66.40	51.92	67.67	64.36
100	前金	65.09	36.69	66.19	51.11
	前鎮	61.63	30.85	61.57	49.13
	美濃	69.47	49.44	69.21	55.29
101	前金	51.55	29.72	72.08	51.41
	前鎮	51.17	31.79	69.92	51.67
	美濃	59.22	47.16	71.67	51.56
102	前金	55.09	36.86	69.14	59.84
	前鎮	52.47	35.35	69.20	59.35
	美濃	57.16	46.69	71.96	62.64

發現與討論

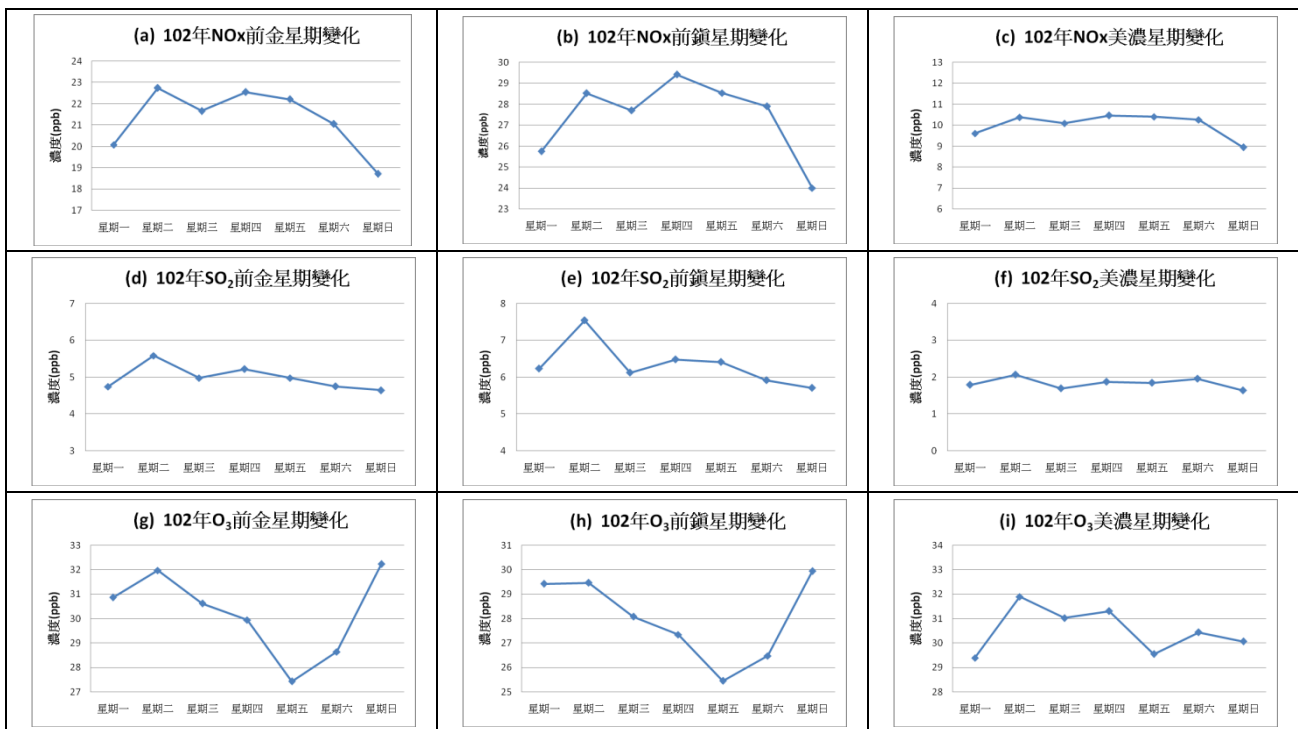
1. 由圖九(a)~(f)可以發現，O₃ 無論各季節各測站圖形皆為單峰型，只有數值上的差異，相較於 SO₂ 各測站各季節的圖形，O₃ 的趨勢圖都較為穩定與一致。
2. 觀察 97-102 年的季節比較圖後，發現冬季不是 O₃ 濃度最高的季節，反而由春秋兩季位居首位，春季污染物有逐年下降的跡象，導致近年秋季都位居首位，成為 O₃ 污染最嚴重的

一個季節。如：由圖九(e)、(f)可比對出 97 年美濃測站春季出現四個季節中的最高值，但至 102 年轉為秋季出現最高值。

- 若由表(三)-3 的平均值則可發現春季為最高的發生次數與秋季為最高的發生次數各占一半(各九次)，由表(三)-4 得知最高值發生次數秋季遠高於春季(秋季 13 次、春季 5 次)，而這六年來前金最高值皆發生在秋季。
- 由圖九(a)~(f)，我們發現高雄地區 O₃ 濃度在春、秋二季較高，推測與季風風向轉變有關。

研究四、探討高雄地區污染物(NO_x、SO₂、O₃)的假日效應。

經過研究二的分析後，我們猜測污染物濃度高低與工廠及交通排放廢氣有關，因此打算進一步分析星期變化，觀察各污染物是否有假日效應，藉此印證污染物濃度高低與工廠及交通排放廢氣之間的關聯。



圖十(a)~(i)為民國 102 年高雄地區前金、前鎮及美濃測站各測站 NO_x、SO₂、O₃ 濃度之星期變化。

表(四)為 97-102 年高雄地區前金、前鎮及美濃測站
 NO_x 、 SO_2 、 O_3 非假日濃度平均與假日濃度平均比較表。
 (ΔC 表示非假日-假日之數值)(藍色代表 $\Delta C > 0$ ，紅色代表 $\Delta C < 0$)
 (單位：ppb)

		NO_x			SO_2			O_3		
		非假日	假日	ΔC	非假日	假日	ΔC	非假日	假日	ΔC
97	前金	24.57	23.26	1.31	6.63	5.76	0.87	36.20	35.58	1.02
	前鎮	34.69	31.33	3.36	6.36	5.83	0.53	28.82	27.18	1.64
	美濃	11.84	10.74	1.10	2.66	2.55	0.11	34.24	35.52	-1.28
98	前金	24.49	22.82	1.67	6.24	6.03	0.21	33.25	34.66	-1.41
	前鎮	30.73	29.13	1.60	6.36	5.83	0.53	28.75	29.46	-0.71
	美濃	12.87	11.84	1.03	2.97	2.94	0.03	35.10	35.74	-0.64
99	前金	26.91	24.50	2.41	6.42	5.91	0.51	29.65	30.72	-1.07
	前鎮	31.52	28.55	2.97	8.29	8.01	0.28	24.45	25.01	-0.56
	美濃	13.01	12.06	0.95	2.24	2.14	0.10	30.24	30.79	-0.55
100	前金	25.02	22.58	2.44	5.94	5.69	0.25	29.91	30.65	-0.74
	前鎮	29.86	25.65	4.21	7.41	6.90	0.51	26.36	27.19	-0.83
	美濃	13.18	12.24	0.94	2.24	2.20	0.04	32.06	31.50	0.56
101	前金	23.78	21.30	2.45	4.74	4.61	0.13	27.88	26.37	1.51
	前鎮	29.82	25.67	4.15	6.65	6.15	0.50	27.37	25.44	1.93
	美濃	10.13	9.29	0.84	1.83	1.70	0.13	30.85	29.12	1.73
102	前金	21.85	19.89	1.96	5.10	4.70	0.40	30.17	30.44	-0.27
	前鎮	27.99	25.95	2.04	6.56	5.81	0.75	27.95	28.21	-0.26
	美濃	10.19	9.60	0.59	1.85	1.80	0.05	30.65	30.25	0.40

發現與討論

1. 由圖十(a)~(i)，我們發現 102 年高雄地區前金、前鎮及美濃測站 NO_x 濃度一周中的最低值皆在星期日。三個測站星期一數值皆為一周中第二低，星期二升高，星期三又降至一周中第三低後，星期四又升高，之後持續下降。

2. 觀察圖十(a)~(i)後,我們發現 102 年高雄地區前金及前鎮測站 O₃ 濃度一周中的最低值皆在星期五,而 NO_x 濃度出現最低值的星期日,則出現 O₃ 一周當中的最高值,兩者恰好相反。美濃測站最高值出現在星期一,圖形與前金、前鎮並不同。
3. 由表(四)可以發現,高雄地區前金、前鎮及美濃測站的 NO_x 及 SO₂ 濃度變化為非假日 > 假日,我們將此現象定義為假日效應。藉由此發現,我們可以猜測 NO_x 與人為活動有關,可能受交通排放廢氣影響。在前面的研究中,我們始終無法推斷 SO₂ 來源與人為或自然影響的關聯。依據表(四)可以看到,雖然 SO₂ 濃度變化假日及非假日差值較 NO_x 小,但依然符合假日效應,因此我們推論 SO₂ 濃度受到人為活動的影響。
4. 表(四)中我們發現,高雄地區前金、前鎮及美濃測站的 O₃ 濃度變化主要為非假日 < 假日,97 年前金及前鎮測站和 100 年美濃測站與 101 年的前金、前鎮及美濃測站則是非假日 > 假日。從表(四)中無法看出 O₃ 濃度變化與假日效應的關係,我們推測:O₃ 濃度變化主要受到自然因素的影響,與人為活動較無關聯。

研究五、探討氣象要素對高雄地區污染物(NO_x、SO₂、O₃)濃度變化的影響。

為了再次驗證 NO_x 及 SO₂ 濃度變化主要受到人為影響,並進一步探討各氣象因子與 O₃ 濃度的關係,我們設計了研究五進行分析。我們先找出 97-102 年高雄地區前金、前鎮及美濃地區 NO_x、SO₂ 與 O₃ 濃度最高值出現的日期,並往前往後各延展 7 日(共 15 日),做出污染物濃度與氣象因子(溫度、濕度、氣壓、風速)之相關係數。

(一) NO_x---探討氣象因子(溫度、濕度、氣壓、風速)對高雄地區污染物 NO_x 濃度變化之影響。

表(五)-1 為高雄地區前金、前鎮及美濃測站 NO_x 濃度與氣象因子(溫度、濕度、氣壓、風速)之相關係數

NO _x 相關係數	前金 99 1/7~1/21	前鎮 98 1/13~1/27	美濃 99 1/17~1/31
乾球氣溫(°C)	-0.19	-0.03	-0.21
相對溼度(%)	0.14	0.21	0.08
測站氣壓(百帕)	0.30	0.11	0.30
平均風風速(m/sec)	-0.33	-0.57	-0.06

發現與討論

1. 由表(五)-1，我們發現高雄地區前金及前鎮測站 NO_x 逐時濃度受到風速影響：當風速升高時， NO_x 逐時濃度有下降的趨勢。我們推測在風速較大時， NO_x 較易擴散至其他地區，因此逐時濃度下降；而美濃因本身測站附近沒有主要污染源，逐時濃度偏低，難以推論其受何種氣象因子影響。
2. 觀察表(五)-1，我們得知高雄地區前金及前鎮測站 NO_x 逐時濃度主要受到風速影響，與溫度、濕度及氣壓關聯性較小；而美濃測站 NO_x 逐時濃度與上述四種氣象因子皆無明顯關聯。由此我們可以再度驗證 NO_x 逐時濃度主要受到人為因素的影響，而非自然因素。

(二) SO_2 ---探討氣象因子(溫度、濕度、氣壓、風速)對高雄地區污染物 SO_2 濃度變化之影響。

表(五)-2 為高雄地區前金、前鎮、美濃測站 SO_2 濃度與氣象因子(溫度、濕度、氣壓、風速)之相關係數

相關係數 SO_2	前金 99/12/25~100/1/8	前鎮 97 9/31~10/14	美濃 98 4/17~5/1
乾球氣溫($^{\circ}\text{C}$)	0.02	-0.08	0.21
相對溼度(%)	-0.05	0.07	-0.15
測站氣壓(百帕)	0.13	-0.01	-0.02
平均風風速(m/sec)	-0.24	-0.09	0.18

發現與討論

由表(五)-2，我們發現高雄地區前金、前鎮及美濃測站 SO_2 的逐時濃度變化沒有明顯受到上述四種氣象因子的影響，推測 SO_2 與人為因素的關係較大。

(三) O_3 ---探討氣象因子(溫度、濕度、氣壓、風速)對高雄地區污染物 O_3 濃度變化之影響。

表(五)-3 為高雄地區前金、前鎮、美濃測站 O_3 濃度與氣象因子(溫度、濕度、氣壓、風速)之相關係數

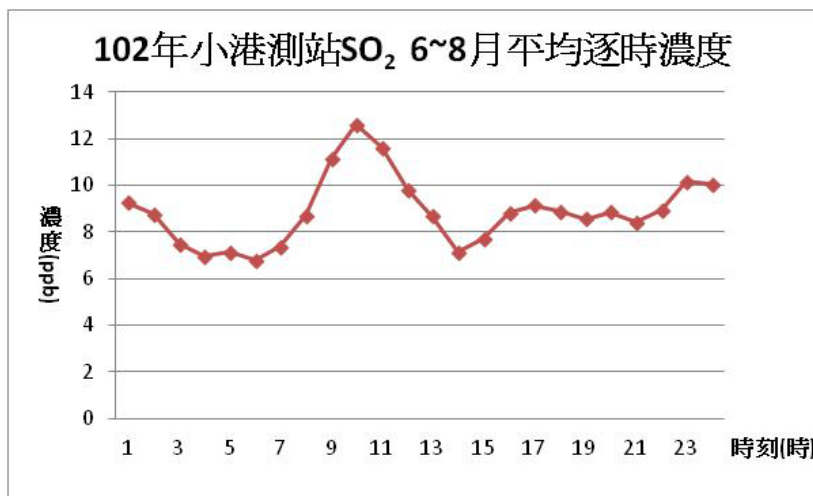
相關係數 O_3	前金 102 10/3~10/17	前鎮 97 9/26~10/10	美濃 97 1/4~1/18
乾球氣溫($^{\circ}\text{C}$)	0.65	0.51	0.75
相對溼度(%)	-0.31	-0.56	-0.60
測站氣壓(百帕)	0.00	0.22	0.44
平均風風速(m/sec)	0.28	0.04	0.12

發現與討論

1. 由表(五)-3，我們發現高雄地區前金、前鎮及美濃測站的 O_3 逐時濃度與溫度呈正相關，與濕度則呈負相關。
2. 由表(五)-3，我們發現高雄地區前金、前鎮及美濃測站的 O_3 逐時濃度變化與氣壓、風速較無關聯性，主要受到溫度與濕度影響。

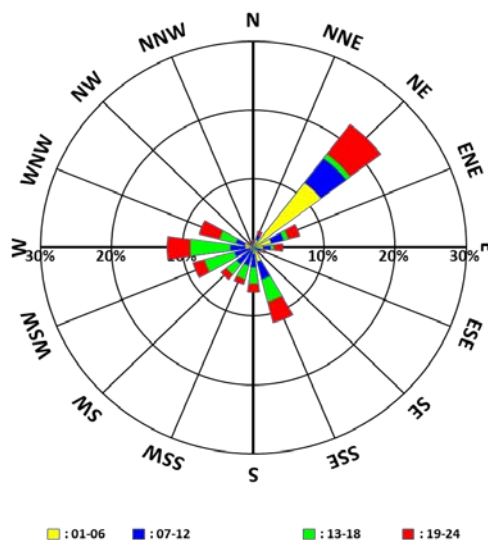
(四) ---探討風向對高雄地區 SO_2 濃度之影響。

我們選出民國 102 年小港測站 6~8 月(夏季) SO_2 平均逐時濃度，與其各個時段風向出現頻率互相對照，以研究兩者之間的關聯性。



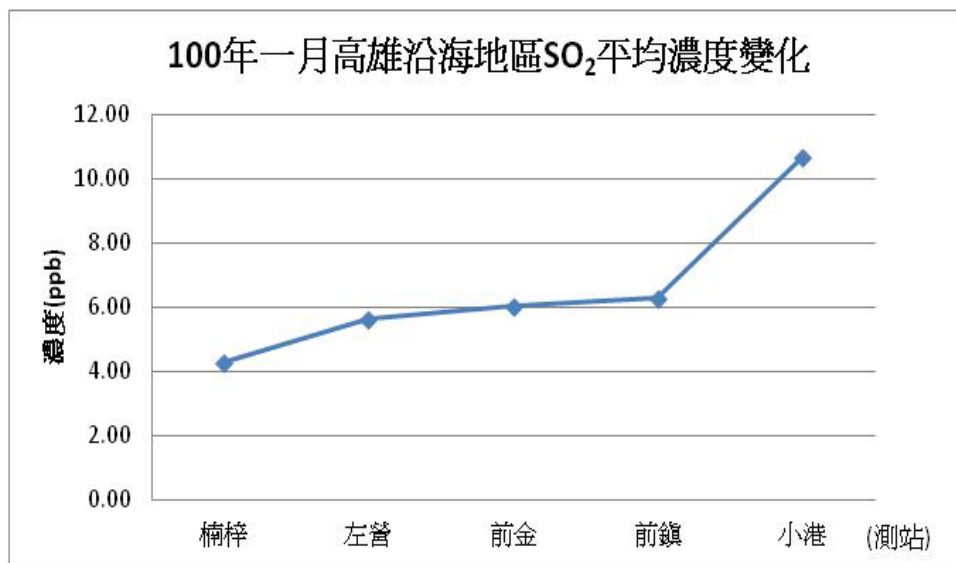
圖(十一)為民國 102 年 6~8 月高雄地區小港測站 SO_2 平均逐時濃度變化圖。

STATION: 小港 YEAR: 2013 MONTH: 6~8月

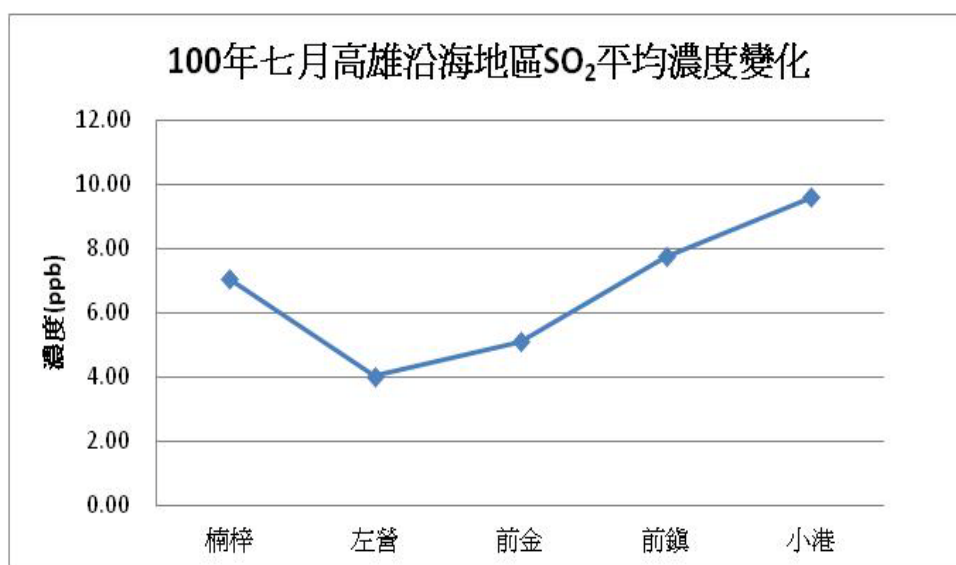


圖(十二)為民國 102 年 6~8 月高雄地區小港測站 4 個時段風向出現頻率。
(其中黃色代表 01~06 時、藍色代表 07~12 時、綠色代表 13~18 時、紅色代表 19~24 時)

另外，我們選用高雄地區楠梓、左營、前金、前鎮及小港測站(由北而南)繪製 SO₂ 一月、七月的平均濃度分布曲線(其中小港及楠梓地區為高雄地區主要污染源)。以下以民國 100 年為例：



圖(十三)為民國 100 年一月高雄沿海地區 5 個測站 SO₂ 平均濃度變化圖。



圖(十四)為民國 100 年七月高雄沿海地區 5 個測站 SO₂ 平均濃度變化圖。

發現與討論

1. 由圖(十一)及圖(十二)可發現，SO₂ 逐時濃度變化可能受風向變換的影響。清晨大多為 45° (陸風)，此時 SO₂ 濃度較低；接著 8-10 風向較不一定，SO₂ 濃度則有上升的趨勢；午後海

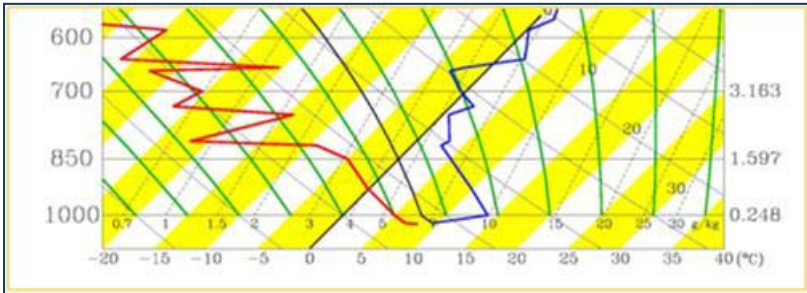
風較強，SO₂濃度漸漸下降；之後風向不固定，SO₂濃度又略有提升。因此我們推測風向較單一時，汙染物濃度較低。

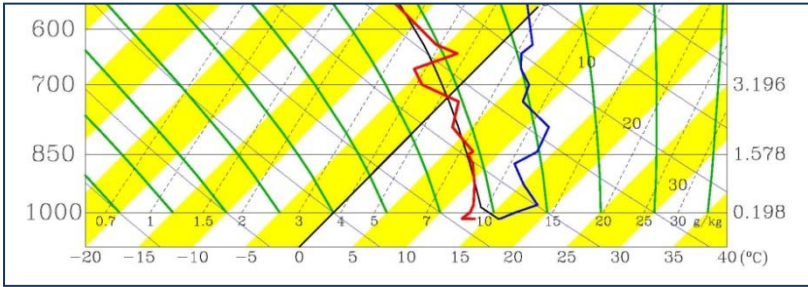
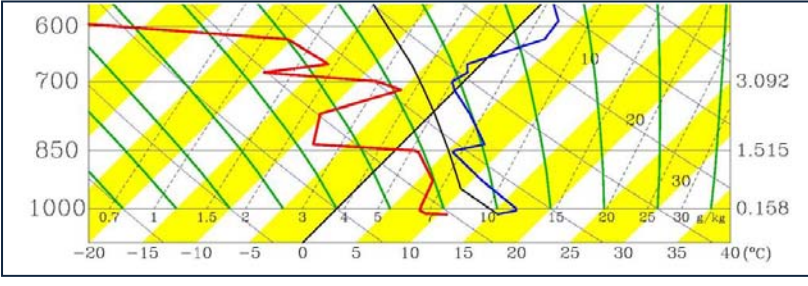
2. 由圖(十三)一月高雄沿海地區 SO₂ 平均濃度變化圖可看出，楠梓測站雖為汙染源但其濃度是最低的；左營、前金及前鎮濃度相當，濃度居中；而小港測站濃度為最高，可達楠梓測站兩倍。
3. 由圖(十四)七月高雄沿海地區 SO₂ 平均濃度變化圖可看出，小港濃度還是最高的，楠梓與前鎮其次，左營及前金最低。
4. 楠梓地區為汙染源但其濃度在一月卻是最底的，我們推論此現象可能與冬季吹北風有關：北風將汙染物帶至位於南方的測站，導致楠梓地區濃度下降，而左營、前金濃度上升；但夏季吹南風，小港測站濃度下降幅度不大，我們推測可能是冬季北風較單一，而夏季風向較不單一，因此南風造成汙染物移往其他地區的量較少。

(五) ---探討大氣環境對高雄地區高汙染事件之影響。

我們利用先前找出的民國 97-102 年中高雄地區前金、前鎮及美濃地區 NO_x、SO₂ 與 O₃ 濃度最高值出現的日期(共 9 日)，定義為個案日，並分析斜溫圖，找出大氣環境對汙染物濃度的影響。(其中舉 99/1/14、99/1/24、100/1/1 為例)

表(五)-5 為個案日與斜溫圖之比較

NO _x	當日最高濃度	東港斜溫圖
99/1/14 (前金)	138.2 (ppb)	<p>8時地面至 250 公尺出現逆溫，3000 公尺上下也有逆溫；20時地面至 200 公尺出現逆溫，1500 公尺-3000 公尺處有逆溫。</p>  <p>圖為 99/1/14 8時資料</p>

<p>99/1/24 (美濃)</p>	<p>72.32 (ppb)</p>	<p>8 時地面至 400 公尺出現逆溫，1500-2000 公尺左右有逆溫；20 時 1200-1300 公尺處有薄層逆溫。</p>  <p>圖為 99/1/24 8 時資料</p>
<p>SO₂</p>	<p>當日最高濃度</p>	<p>東港斜溫圖</p>
<p>100/1/1 (前金)</p>	<p>61 (ppb)</p>	<p>20 時地面-150 公尺薄層逆溫；8 時資料缺。</p>  <p>圖為 100/1/1 20 時資料</p>

發現與討論

1. 在逆溫層中，較暖且輕的空氣位於較冷而重的空氣上面，形成一種穩定的空氣層，籠罩在近地層的上空，阻礙了空氣的對流運動，使近地層空氣中的有害氣體無法擴散出去。
2. 由表(五)-5 中的斜溫圖，我們可以發現在污染物 NO_x 及 SO₂ 濃度較高時，天氣系統中有逆溫現象。此現象可能造成污染物不易對流，分布在地表附近，造成測站測出較高的濃度。

陸、結論

- 一、民國 97-102 年高雄地區前金及前鎮測站一天的 NO_x 和 SO_2 逐時濃度，皆在 9-11 時出現最高值。美濃測站因為數值較小，濃度變化較不顯著； NO_x 在 20 時出現最高值，而 SO_2 則在 17 時左右出現最高值。 O_3 在前金、前鎮及美濃測站逐時濃度趨勢相近，約於 12-15 時達到最高值。
- 二、民國 97-102 年高雄地區前金及前鎮測站的 NO_x 和 SO_2 逐時濃度大小順序皆為：前鎮 > 前金 > 美濃；而 O_3 的逐時濃度大小順序正好相反，為：美濃 > 前金 > 前鎮。
- 三、交通運輸活動對 SO_2 的濃度可能有所影響，例如：103 年小港地區早上拖船艘數上升時， SO_2 濃度也隨之上升。
- 四、在進行各季節變化的比較後，發現民國 97-102 年高雄地區前金、前鎮及美濃測站的 NO_x 濃度最高值皆出現在冬季，夏季濃度最低； SO_2 濃度最高值主要出現春季，夏季與冬季濃度較低； O_3 濃度最高值主要出現在春季與秋季，夏季濃度最低。
- 五、高雄地區前金、前鎮及美濃測站的 NO_x 及 SO_2 濃度為非假日 > 假日，由此推論 NO_x 與人為活動有關。雖然 SO_2 假日及非假日差值較 NO_x 小，變化較不明顯，但依然符合假日效應，因此我們推論 SO_2 濃度也有受到人為活動影響。
- 六、高雄地區前金、前鎮及美濃測站的 O_3 濃度主要為非假日 < 假日，97 年前金及前鎮測站和 100 年美濃測站與 101 年的前金、前鎮及美濃測站則是非假日 > 假日。因為無法看出 O_3 濃度變化與假日效應的關係，我們推論 O_3 濃度變化主要受到自然因素所影響。
- 七、在四項氣象因子中(氣溫、相對濕度、氣壓、平均風風速)，高雄地區前金、前鎮測站 NO_x 濃度受風速影響較大，但美濃測站的 NO_x 濃度無明顯受到何種氣象因子的影響； SO_2 的三測站與前述四項氣象因子亦無明顯關聯性；而三測站中的 O_3 濃度和溫度呈正相關、溼度呈負相關。
- 八、風向的變化可能也會影響污染物的濃度。例如：102 年小港夏季 SO_2 濃度變化可能與風向有關，風向較一致時污染物濃度較低。另外，逆溫現象使污染物不易擴散，可能造成高污染事件。

柒、參考資料與其他

- 一、行政院環境保護署(2008~2013)-「空氣品質監測網」，
取自：<http://taqm.epa.gov.tw/taqm/tw/default.aspx>
- 二、大氣資料庫(2008~2013)，取自：<https://dbar.tfri.narl.org.tw/NewInfoweb.aspx?NewsID=88>
- 三、蔡詠安(2002)-「氣象條件與臭氧事件日相關性之探討：以高高屏地區為例」，國立中山大學環境工程研究所碩士論文。
- 四、李貞瑩(2004)-「高雄都會區大氣環境中硫氧化物涵容能力之研究」，國立台灣大學環境衛生研究所碩士論文。
- 五、廖琇怡(2005)-「高雄市臭氧特性與氣象因子之相關性探討」，國立中山大學環境工程研究所碩士論文。
- 六、陳鴻烈、羅惠芬(2009)(國立中興大學)-「空氣污染物及其光化反應生成臭氧濃度之日變化分析」，取自 中興大學農資學院 [期刊-水土保持學報]第 41 卷第 01 期。
- 七、吳育魁(2010)-「海陸風及熱島效應對台中都會區空氣污染物之影響分析」，東海大學環境科學與工程學系碩士論文。
- 八、王建文(2010)-「台灣三大都會區空氣汙染物之周末效應」，國立嘉義大學史地學系研究所碩士論文。

【評語】 040504

1. 以三種污染物在三個地點之詳細分析來探討高雄市區污染之逐時、季節、季節、假日及各種氣象要素之影響，科學方法很適切，且很有實用性。
2. 團隊分工清楚，合作進行融洽值得獎勵。
3. 對於各污染物變化之原因與關係，以及氣象要素與天氣型態對污染物之影響，可以做再深入一點之探討與說明。