

# 多變量統計分析에 의한 亞黃酸가스 濃度 豫測

大氣保全科

劉殷哲 · 曹正九 · 洪性洙 · 崔圭相

## Estimation of Sulphur dioxide concentration by Multivariate analysis

E.C.YOO, J.G.CHO, S.S.HONG, G.S.CHOI

Air Preservation division

### Abstracts

The purpose of this paper is to estimate monthly average sulphur dioxide( $\text{SO}_2$ ) concentrations in Pusan. For this, air pollution and meteorological data were collected during the period from Jan. 1989 to Dec. 1989.

The influences of meteorological parameters on daily and monthly average  $\text{SO}_2$  as well as sulfation rate were investigated using statistical analysis. Also, time-series analysis between monthly  $\text{SO}_2$  and sulfation rate, correlation analysis and factor analysis were performed. Based on these, multiple regression models for estimation of monthly  $\text{SO}_2$  concentrations were derived. Comparing with observed and estimated  $\text{SO}_2$  concentration, these models shows relatively high accuracy for each measurement sites.

As a result of factor analysis using the varimax method, the homogeneous components in the sulfation rate values at 19 sites were characterized by three principal factors. The first one(F1, Group 1) was considered to be a factor indicating that the regions of residence, business and industry were influenced by exhaust gases from heating.

automobiles and manufacturing plants. The second factor(F2, Group 2) was related to the characteristics of greenbelt regions and the third factor(F3, Group 3) was one indicating that the region of industry surrounded by water bodies was affected by gases pollutants from automobiles and plants.

## I. 緒 論

都市地域의 大氣汚染物 중에는 黃酸化物, 窒素酸化物, 一酸化炭素, 炭化水素, 오존, 먼지 등과 같은 많은 汚染物質들이 存在하며, 그 중의 하나인 黃酸化物은 각종 燃料, 특히 石炭 및 硫黃油 등의 燃燒時 많이 發生하고, 亞黃酸가스( $SO_2$ ), 三酸化黃가스( $SO_3$ ), 亞黃酸( $H_2SO_3$ ), 黃酸( $H_2SO_4$ ) 그리고 각종 黃酸鹽을 包含하며, 最近에는  $CH_3SH$ ,  $(CH_3)_2S$ ,  $CS_2$  등이 黃化合物 등도 重要한 汚染物質로 주목 받고 있다.

이러한 黃酸化物은 각종 金屬, 建築物 등의 부식과 함께 動·植物 및 人體에도 많은 影響을 주게되며, 최근에 큰 問題가 되는 酸性비의 形成에 많은 寄與를 하는 것으로 밝혀졌다.<sup>1)</sup>

大氣 中으로 排出되는 各種 大氣汚染物質에 대한 制御를 하기 위해서 各種 大氣汚染物質의 濃度를 모니터링할 必要가 있다. 우리나라의 경우는 環境處와 각 地方自治團體에서 大氣汚染物質의 常時測定을 할 수 있는 自動測定裝置를 이용하여 連續測定을 하고 있으나, 裝置의 價格이 高價이고, 維持管理 問題 등으로 인하여 모든 地域에 대해 높은 密度로 大氣汚染濃度를 常時測定하기에는 아직도 어려움이 많다.

그런데 大氣汚染은 그 地域의 人口密度, 産業活動, 地形, 氣象條件 등에 따라 地域 特有의 形態를 나타내는 경우가 많으므로 大氣汚染의 都市間 比較와 地域別 變化趨勢를 把握하기 위해서는 合理的인 試料 採取場所를 選定하고 標準화된 測定方法으로 長期間에 걸쳐서 測定을 계속할 必要가 있다.<sup>2)</sup>

地域 全體의 大氣汚染 把握을 目的으로 하는 경우에는 1時間, 1日, 1個月, 1年 등을 平均化 時間으로 하는 平均濃度를 구하는 것이 重要하며 특히,  $SO_2$ 의 경우 年間 平均値와 1日 平均値 그리고 1時間 平均値를 基準으로 環境基準이 設定되어 있다.

따라서 瞬間濃度를 連續적으로 測定하는 自動測定裝置가 도시의 大氣汚染 모니터링에 必要하며, 이런 事業을 수행함에 있어서는 試料採取 및 分析의 精密度, 操作의 容易度, 努力, 費用 등의 環境經濟적인 側面이 考慮되지 않으면 안된다.

本 研究에서는 大氣중의 長期間  $SO_2$  濃度把握에 適合하고 經濟적인 方法으로 英國의 DSIR(Department of Scientific and Industrial Research)에서 Wilsdon 등의 研究를 基礎로 提案된 亞黃酸가스 積算濃度 測定法인 二酸化鉛法<sup>3)</sup>을 使用하여 약 1個月間 大氣 中에 露出시킨  $PbO_2$  can-

tle을 收去後 分析한 黃酸鹽化 速度(sulfation rate) 資料와 Pararosaniline 方法에 基礎를 둔 自動測定裝置로 測定한 瞬間濃度資料로 구한 月平均 SO<sub>2</sub> 資料, 그리고 月平均 氣象資料인 風速, 濕度, 氣溫 등을 變量으로 하여 多變量解析法(Multivariate analysis) 중 重回歸分析(Multiple Regression analysis)을 실시하여 月平均 SO<sub>2</sub> 濃度の 推定을 위한 重回歸式을 구하고 因子分析(Factor analysis)을 통하여 분류된 sulfation rate값들의 變化傾向이 類似한 地域에 대해 이들 重回歸式을 適用하여 黃酸鹽化 速度와 日常 測定되는 氣象資料들의 月平均値로부터 月平均 SO<sub>2</sub> 濃度を 推定하고 그 結果를 考察하였다.

## II. 文獻考察

### 1. 黃酸鹽化 速度(Sulfation rate)

本 研究에서 利用한 二酸化鉛法은 원래 建築物이나 여러가지의 材料에 損傷을 미치는 亞黃酸가스의 Activity의 程度를 알아보는 目的으로 研究된 것이지만<sup>1)</sup>, 오늘날에는 亞黃酸가스에 의한 大氣汚染의 積算的인 測定法으로 利用되고 있다.

이 SO<sub>2</sub> 積算濃度 測定方法은 圓筒에 綿布를 감고 二酸化鉛을 塗布하여 벽역상 등의 셸터(Shelter)를 使用하여 大氣 中에 一定期間(約 1個月) 放置해 두었다가 다음의 反應式에 따라 生成된 황산납(PbSO<sub>4</sub>)의 黃酸이온을 定量한다.



mgSO<sub>2</sub>/day/100cm<sup>2</sup> PbO<sub>2</sub>의 單位로 sulfation rate를 구하여 이를 亞黃酸가스에 의한 大氣汚染의 指標로 삼는 것이다.

이 方法은 操作이 簡單하고 廣範圍하며 長期間에 걸쳐 測定할 수 있으므로 亞黃酸가스 濃度の 相對的인 地域差나 季節變化의 傾向을 把握할 수 있으며, 環境條件이 같으면 生成되는 PbSO<sub>4</sub>의 量은 SO<sub>2</sub>濃도에 比例한다.<sup>2)</sup>

그러나 大氣 中에 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, 또는 다른 黃酸化物과 反應하여 황산납을 生成할 수 있으며, 이 反應은 二酸化 납 試藥의 活性度, 셸터의 形態, 그리고 氣象要素 등에 의해 많이 影響을 받는다. Russell<sup>3)</sup>에 따르면 黃化水素와 二酸化납사이의 反應은 다음과 같이 進行된다.



Sulfation rate의 測定値는 生化學的 被害와 物質腐蝕에 대한 資料와 잘 一致하며<sup>11)</sup> 샘플링 期間동안에 地域間인 暴露水準을 나타낼 수 있는 資料로서 利用할 수 있다.

이와 같은 二酸化鉛法에 의한 應用 可能性 때문에 sulfation rate와 容量濃度(ppm)를 比較하기 위한 많은 研究가 되어 왔다.

Wilsdon과 McConnel<sup>12)</sup>은  $3 \text{ mgSO}_2/\text{day}/100\text{cm}^2 \text{ PbO}_2$ 가 月平均 0.1ppm에 該當하는 基準이 된다고 提案하였으며, Wilkins<sup>13)</sup>는 過酸化水素( $\text{H}_2\text{O}_2$ )法에 의한  $\text{SO}_2$ (ppm) 月平均値와 二酸化鉛法 測定值( $\text{mgSO}_2/\text{day}/100\text{cm}^2 \text{ PbO}_2$ )와의 사이에는  $0.04 \text{ mg SO}_2/\text{day}/100\text{cm}^2 \text{ PbO}_2 = 1.0 \text{ SO}_2(\text{ppm})$ 의 關係가 있다고 한다.

또 Stalker 등<sup>14)</sup>은 Nashville에서의 調査結果 West-Gaeke Method(혹은 Pararosaniline method)에 의한 測定值( $\text{SO}_2$ , ppm)와 二酸化鉛法에 의한 測定值 사이에는 다음의 關係가 있다는 것을 報告하고 있다.

冬季 :  $1 \text{ mg SO}_2/\text{day}/100\text{cm}^2 \text{ PbO}_2 = 0.042 \text{ ppm SO}_2$   
 秋季 :                      ◊                      = 0.034 ppm  $\text{SO}_2$   
 春季 :                      ◊                      = 0.015 ppm  $\text{SO}_2$

그러나 위의 報告에서처럼 단순히  $\text{PbO}_2$ 法에 의한 sulfation rate 測定値와 容量濃度(ppm)를 比較한다는 것은 根本적으로 무리가 있으며 右明地等<sup>15)</sup>에 의해서도 이러한 單位換算 係數는 測定地域의 地形과 氣象條件 등에 따라 달라진다는 事實이 證明된 바 있다.

## 2. 月平均 亞黃酸가스 濃度の 平均化時間에 따른 變化

일반적으로 大氣質 基準은 결코 超過해서는 안되거나, 超過頻度가 制限되는 時間平均濃度로 定해진다. 우리나라 環境政策基本法에도  $\text{SO}_2$  環境基準을 年間平均値 0.05ppm以下, 또는 24時間平均値 0.15ppm以下(年間 3回以上 超過하여서는 아니된다)로 規定하고 있으며, 95년부터는 年平均値 0.03ppm以下, 24時間平均値 0.14ppm以下, 1時間平均値 0.25ppm以下로 더욱 強化된 豫定이다.

眼刺激, 惡臭 등을 除外한 大氣汚染 影響은 역치(threshold limit)를 超過한 物質濃度和 暴露期間을 곱한 dosage에 比例한다는 것이 밝혀져 왔다.<sup>16)</sup>

$$\text{dosage} = (C - C_0) \cdot t$$

여기서 C ; 汚染物質濃度,  $C_0$  ; 濃度の 역치, t ; 持續된 暴露時間으로 平均濃도가 낮은 경우라 하더라도 오래동안 暴露되면 相當한 影響을 받을 수 있다. 大氣汚染物質에 長期間(몇달~몇년)

暴露되면 사람에게에는 慢性氣管支炎, 肺病, 그리고 癌을 誘發할 수 있으며, 作物收穫量의 低減이나 材料의 腐蝕이 生길 수 있다.

Park<sup>12)</sup>에 의하면 SO<sub>2</sub> 濃度가 어떤 값 C를 超過하는 總時間 T는 다음 式과 같이 表現될 수 있다.

$$\text{Log } T = -KC + B$$

여기서 K와 B는 場所에 따라 달라지는 값이며, 특히 K는 1日平均濃度의 年間 平均値 C<sub>1</sub>의 線形 혹은 指數(exponent) 函數이다. 어떤 平均化時間에 대해서나 어떤 被害地點에서의 大部分의 大氣質 資料들은 대수 正규분포를 하고 있으며<sup>13)</sup>, 平均化時間이 길수록 그들 平均値 中 年間 最大値는 작아지고 年間 最少値는 커진다<sup>14)</sup>.

### III. 研究方法

#### 1. 研究資料

本 研究을 위해 使用된 汚染 및 氣象資料는 Table 1에 나타냈다. 大氣汚染資料는 1989年 1月에서 12月까지 3개의 大氣汚染自動測定所에서 時間平均濃度資料로부터 구한 月平均 SO<sub>2</sub> 濃度와 釜山市內 用途地域別로 總 19個所에서 月 1回 測定한 sulfation rate 資料이며, 氣象資料는 釜山地方氣象廳<sup>15)</sup>에서 觀測한 氣溫, 風速, 濕度, 風向資料이다.

Table 1. Data of Air pollution and meteorological factors.

Period	Pollution factors	Meteorological factors
1989. 1. 1~1989. 12. 31	SO <sub>2</sub>	Temperature
	Sulfation rate	Relative humidity
		Wind speed
		Wind direction

#### 2. 測定地點

本 研究에서 sulfation rate 및 SO<sub>2</sub>의 測定地點의 位置는 Fig.1과 같다. sulfation rate 測定地點은 綠地地域(A, B, C, D), 住居地域(E, F, G, H, I, J), 商業地域(K, L, M, N, O), 工業地域(P, Q, R, S) 등 19個 地點으로 用途地域別로 區分되어 있으며 K, Q, R地點은 sulfation rate 및 SO<sub>2</sub>를 同時에 測定한 地點이다.

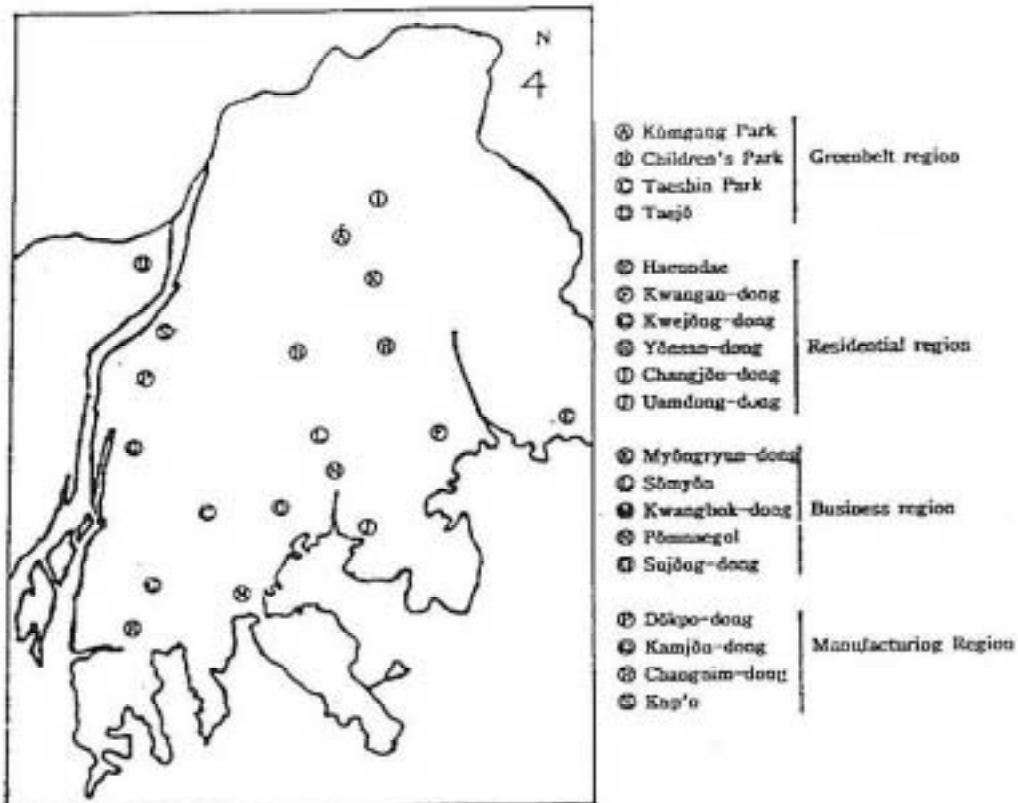


Fig. 1 Measurement sites.

### 3. 資料의 統計處理

測定된 大氣汚染資料 및 氣象資料는 統計分析 프로그램인 SYSTAT(The System for Statistics, 1990)를 使用하여 統計處理하였다.

汚染濃度와 氣象因子들간의 相關關係를 把握하였고, 또한 多變量 分析을 實施하여 月平均  $SO_2$  濃度 推定을 위한 重回歸式을 求하였으며, 因子分析을 통하여 汚染傾向이 類似한 部類로 區分하였다.

## IV. 結果 및 考察

### 1. 大氣汚染物質의 時系列分析

特定變數들간의 時間에 따른 變化樣相을 把握하기 위한 時計列分析은 過去의 時系列 形態가

그 特性을 잃지 않고 未來에도 反復된다고 假定함으로써 各 觀測值간의 相互關係를 밝힐 수 있고, 또한 그 變化原因을 科明할 수 있는 連續資料의 短期豫測도 할 수 있는 有用한 方法이다.

本 研究에서는 月平均  $SO_2$  濃度와 sulfation rate의 時間變化特性 및 相互關係의 考察을 위해 3箇 地點에 대해서 이 變量들의 時系列 資料를 Fig.2에 나타내었다.

月平均  $SO_2$  濃度는 겨울철에는 높고, 여름철에는 낮은 分布를 보이고 있어, 暖房用 燃料使用量에 따른 汚染濃度의 季節別 差異가 뚜렷하게 나타나며, 이것은 他都市에서의 調査結果와도 일치한다. sulfation rate는 季節別로 큰 差異를 보이지는 않으나 대체로 봄철이 여름철에 비해 相對적으로 낮은 分布를 보이는 것 같다.

宮本弘子 等<sup>16)</sup>의 報告를 參考하면, 溫度가 높은 여름철에  $H_2SO_4$ ,  $H_2S$ , 黃을 含有한 다른 形態의 黃酸化物을 가진 大氣 중의 Aerosol 등이 二酸化남과 쉽게 反應할 수 있는 條件이 되어 Sulfate의 生成에 많은 影響을 주기 때문에 비록 暖房用 燃料使用量의 減少로 인해  $SO_2$  濃度는 낮더라도 Sulfation rate 값은 높아지는 것 같다.

따라서 月別  $SO_2$  濃度에 따른 sulfation rate의 濃度의 變化比較를 위해서는 단순한  $SO_2$  濃度의 變化에 의한 影響 뿐만 아니라  $H_2SO_4$ ,  $H_2S$ , 그 밖에 黃을 含有한 다른 黃酸化物, 浮遊粒子狀物質과 二酸化남의 反應에 의한 Sulfate의 生成에 관한 메카니즘과 氣象要素에 의한 影響 등에 관한 檢討가 있어야 할 것이다.

Fig.3에서는 各 土地用途別 測定地點의 季節別 sulfation rate의 變化趨勢를 나타내었다. 各 地點의 季節別 變化趨勢를 살펴보면(Fig. 3(a)), 대체로 大部分의 調査地點에서 가을철의 sulfation rate가 겨울철의 그것보다 높으며 또한, 여름철의 sulfation rate가 봄철의 그것보다 높아서 가을>겨울>여름>봄의 순으로 分布함을 보였다.

또한, sulfation rate로 나타낸 地域別 大氣汚染度는 相對적으로 다른 用途地域보다 汚染物質의 排出量이 적어 汚染程度가 낮은 綠地地域에 位置한 地點이 대체적으로 낮게 나타나며 그 다음은 住居, 商業 그리고 工業地域의 順으로 나타나 地域別 相對적인  $SO_2$  排出量 水準의 順序와 一致하는 分布를 보인다.(Fig.3(b))

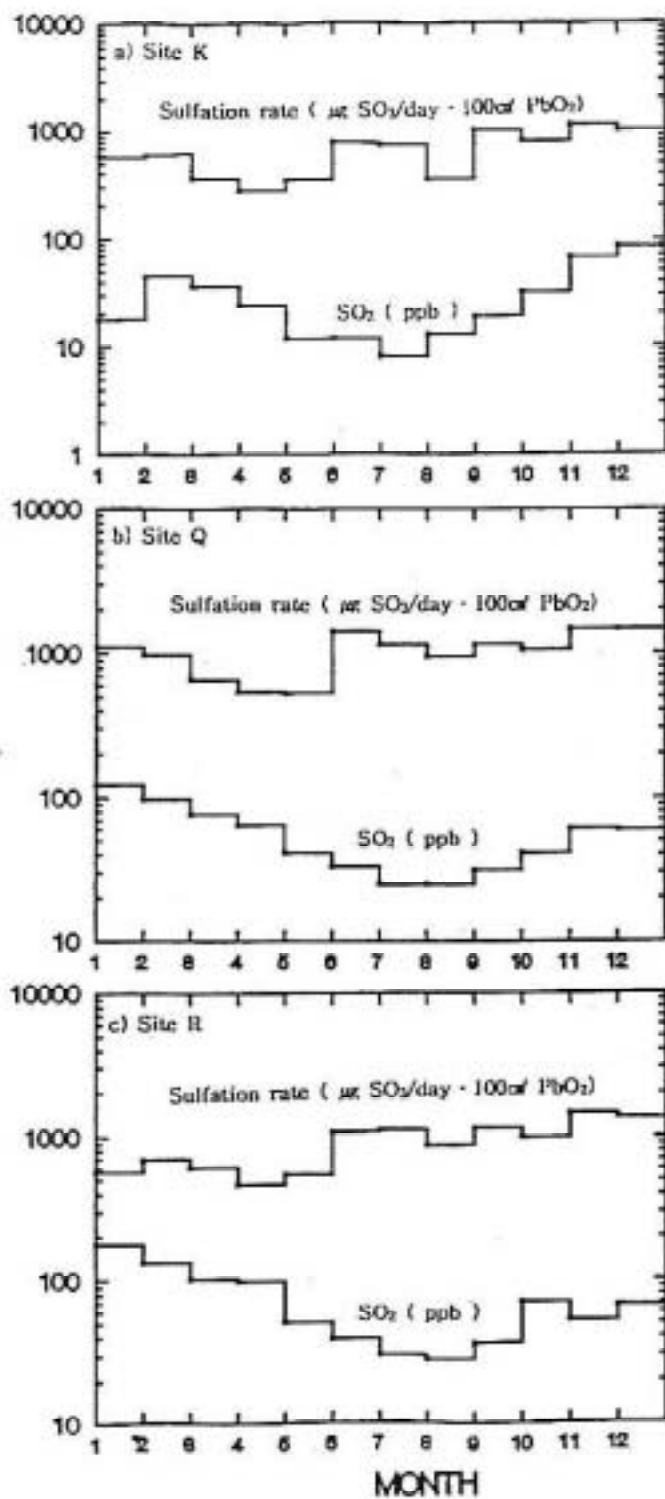


Fig. 2 Monthly average SO<sub>2</sub> concentration and sulfation rate levels at three sites.



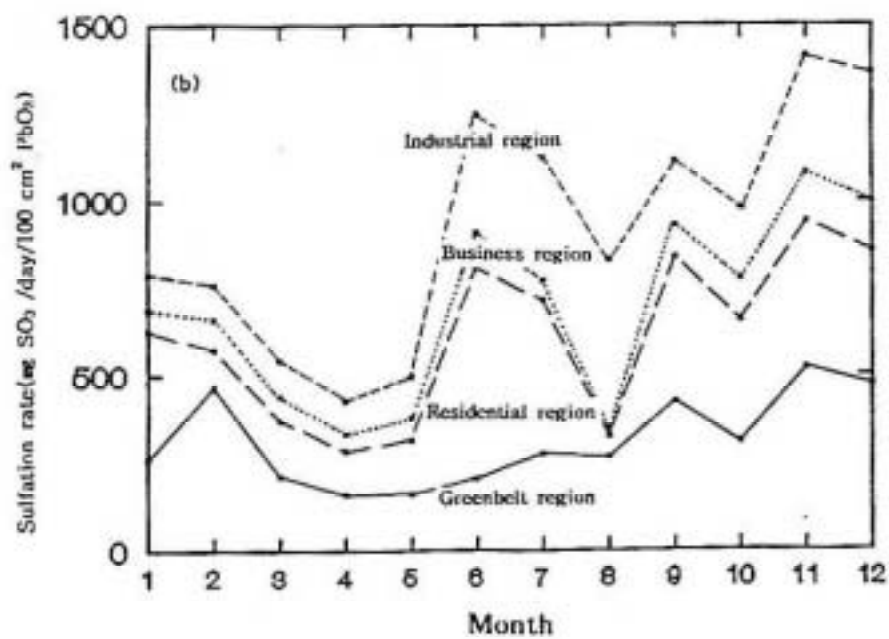
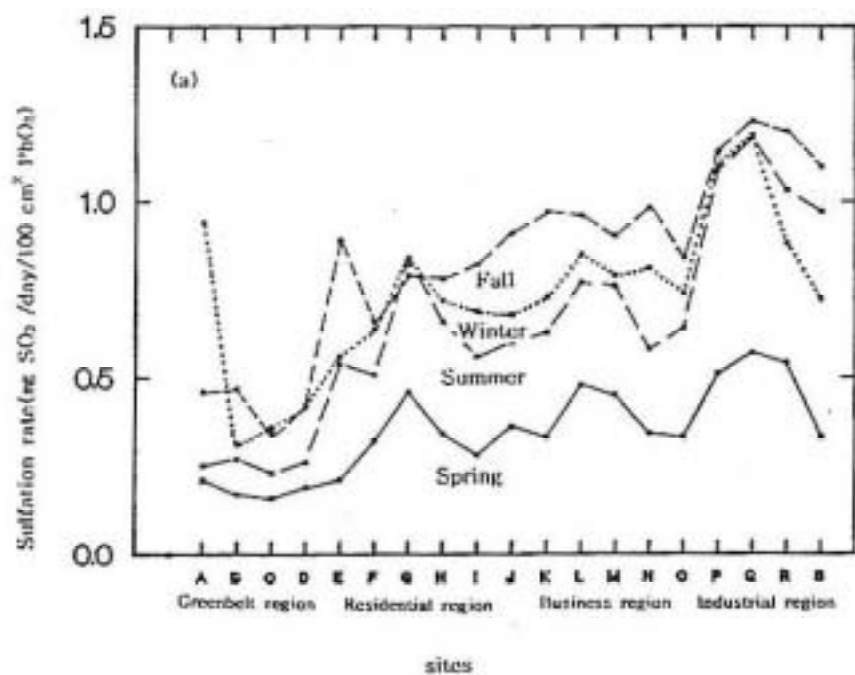


Fig. 3 Variation of sulfation rate with season and land use.

濃도와 sulfation rate의 相關關係가 有意한 相關을 가지는 것으로서 K, R 地點은 兩者 間に 相當한 關聯이 있지만, Q 地點은 거의 關聯性이 없는 것으로 나타났다.

Mayer와 Ziegler<sup>20</sup>에 의하면 美國의 13個 東部 州에서의 年平均 大氣 中 黃酸 濃度는 年平均 SO<sub>2</sub>가 80 $\mu$ g/m<sup>3</sup> 以下일 때 그것의 二次函數로 나타낼 수 있으나 80 $\mu$ g/m<sup>3</sup> 以上일 때에는 兩者 사이에는 서로 獨立的이라고 하였다.

月平均 SO<sub>2</sub> 濃도에 대한 地點別 相關關係는 事業場 등의 汚染物質 排出量이 많은 工業地域에 位置한 Q, R地點 間に 높은 相關性(0.97)이 나타나 排出源의 變動特性 등이 비슷한 것으로 보인다.

Table 3. Statistical results of air pollution concentrations and meteorological factors.

Meteorological factor	Concentration	F	Pi
Temperature	SO <sub>2</sub> (K)	7.69	0.02
	SO <sub>2</sub> (Q)	36.11	0.00
	SO <sub>2</sub> (R)	17.44	0.00
Humidity	SO <sub>2</sub> (K)	13.07	0.00
	SO <sub>2</sub> (Q)	11.09	0.01
	SO <sub>2</sub> (R)	6.97	0.03
Wind speed	SO <sub>2</sub> (K)**	17.77	0.00
	SO <sub>2</sub> (Q)**	8.76	0.01
	SO <sub>2</sub> (R)**	9.04	0.01
Wind speed*	SO <sub>2</sub> (K)**	42.25	0.00
Sulfation rate	SO <sub>2</sub> (K)	Z=20.91	Z <sub>0.05}=1.96</sub>
	SO <sub>2</sub> (Q)	Z= 8.08	
	SO <sub>2</sub> (R)	Z= 7.79	

\* wind speed data of each sites.

\*\* sulfation rate

## 2-1. 汚染濃도와 氣溫의 相關性

燃料消費量은 氣溫의 變化에 敏感하며 化石燃料 燃焼에서 起因되는 大氣汚染 潛在力의 尺度로서의 sulfation rate에 대한 寺部本次와 大道貞男<sup>19,20</sup>의 報告에 의하면 溫度가 1℃ 上昇할 때 反應率이 0.4% 增加하나, 每月의 汚染濃度 變動에 比하면 氣溫만에 의한 影響은 적다. Hickey<sup>21</sup>는 二酸化탄과 亞黃酸가스의 反應速度에 대한 溫度의 影響에 관한 研究에서 25~40℃ 範圍에서는 뚜렷한 差異가 없다고 하였다.

氣溫에 대한 大氣汚染度의 相關性을 地點別로 살펴보면(Table 2 參照), sulfation rate와 氣溫과의 相關關係는  $-0.07 \sim 0.16$ 으로 氣溫의 變動에 따른 sulfation rate 變化가 현저하지 않은 것임을 나타내었다.

한편 月平均  $SO_2$  濃度와 氣溫과는 높은 逆相關을 나타내고 있어 一般的으로 氣溫이 높아지면 暖房用 燃料 使用量의 減少에 따른 黃酸化物 排出量의 減少로 그 濃度가 낮아지고, 반대로 氣溫이 낮아지면 그 濃度가 높아지는 趨勢를 示唆하는 것 같다.

Zannetti 등<sup>22)</sup>에 의하면 이런 逆相關性은 場所에 따른 氣溫  $8^\circ C$  내지  $12^\circ C$  까지 성립하나 非暖房 季節에는 月平均  $SO_2$  濃度와 氣溫의 變動은 獨立의이고, 또한 보다 높은 溫度와 有關한 汚染 氣流의 影響이 重要할 때에는 氣溫增加에 따라 增加할 수 있다고 하였다.

그런데 R 地點에서는 風配圖(Fig. 4)에서 보인 바와 같이 주로 바다 쪽으로부터 南西風이 불고 風上側에 뚜렷한 汚染源들이 있어 배출된 高溫의 氣에 의해 sulfation rate와 氣溫사이의 陽(+)<sup>23)</sup>의 關係가 있을 것 같다.

## 2-2. 汚染濃度와 風速, 風向의 相關性

風速과 保全性 大氣汚染物質 濃度와의 關係는 逆比例한다는 여러 報告들이 있다.<sup>24), 25)</sup>

Sulfate 生成에 미치는 風速의 影響에 관한 Wilsdon 등<sup>26)</sup>의 風洞實驗에서  $SO_2$  濃度  $33 \sim 666 ppm$ , 風速  $0.2 \sim 25 cm/sec$  範圍에서 黃酸化物의 生成率은 風速의  $1/4$ 乘에 比例한다고 하였다.

여기서 大氣汚染濃度와 風速과의 相關性을 살펴보면, 日平均  $SO_2$  濃度와 風速과의 關係에서는 3個 測定地點에서  $-0.16 \sim 0.32$ 의 範圍의 逆相關을 나타내며, 이는 Turner<sup>27)</sup>가 美國 Nashville에서 32個 觀測所로부터 連續 182日間에 걸쳐 24時間 平均 汚染度를 調查分析해서 구한  $SO_2$  및 COH와 風速간의 相關係數  $-0.5$  및  $-0.4$ 보다는 다소 낮은 結果를 나타내었다.

3個 地點에서는 日平均  $SO_2$  濃度와 風速 사이에 모두 陽(-)의 相關關係를 나타내어 以前의 研究報告들<sup>24), 25), 26)</sup>과 一致하나, 月平均  $SO_2$  濃度와 風速에 대한 關係는 K 地點에서만 陰(-)의 相關이 있는 것으로 나타났고 이것은 다소 광활한 住居地域 등에서 正常的인 關係이며 Q, R 地點에서 陽(+)<sup>28)</sup>의 相關이 나타난 것은 該當地域에서의  $SO_2$  排出量 變動特性, 氣象狀態(混合高, 濕度, 露度, 大氣安定度, 風向, 風速 등) 및 地形特性 등에 의해 綜合적으로 좌우되므로 Zannetti 등<sup>29)</sup>의 報告처럼 陽(+)<sup>30)</sup>의 相關도 나타날 수 있을 것이다.

또한, 二酸化鉛法에 의해 測定된 sulfation rate와 風速간의 相關關係에서도 Wilsdon<sup>26)</sup> 및 溝口次法 등<sup>31)</sup>의 風洞實驗 結果와는 相值되며 특히, K 地點에서만 높은 逆相關이 있다는 사실은 參考가 될 것 같다.

各 測定地點의  $SO_2$  濃度 S는 測定所가 位置한 周邊의 局地的인 排出에 따른 汚染物質 排出量에 의한 濃度  $S_a$ 과 風上地域에서 나타나는 濃度  $S_b$ 를 합한 것으로 즉,  $S = S_a + S_b$ 이다. 各 測定所에서

## 2. 大氣汚染濃도와 氣象因자의 相互關聯性

都市地域에서의 大氣汚染濃도를 支配하는 要因 중에서 排出源을 除外하고 影響을 가장 많이 주는 要素로는 氣象因자를 들 수 있는데, 地形과 氣象條件에 의해서 大氣汚染物質이 蓄積되는 地域에서는 建物の 損傷이 加速되고 動·植物 및 人體 등에 많은 逆效果를 誘發한다. 따라서 SO<sub>2</sub>의 高濃度 發生의 경우 汚染濃도와 氣象因자들 사이의 相關關係를 說明하려는 研究가 많이 되어 왔다.<sup>17), 21), 26)</sup>

本 研究에서는 汚染濃도와 氣象因자와의 相互關聯性을 把握하기 위해 變量들간의 單純相關分析을 우선 實施하였다.

月平均 SO<sub>2</sub> 濃도와 sulfation rate에 影響을 미치는 氣象因자들(氣溫, 風速, 風向, 濕度)에 대한 相關關係를 구하여 Table 2에 나타내었다. 이 月平均値 資料들의 相關分析에 動원된 자료세트의 數 N=12이었으며, 또한 氣象因자의 日變動에 따른 SO<sub>2</sub> 汚染濃도의 變化에 대한 相關關係를 把握하기 위해 動원된 자료세트의 數 N=365이었다.

汚染濃度 資料의 氣象因자들간의 相關分析에 따른 結果에 대한 統計學籍 檢定을 위해 實施한 結果를 Table 3에 나타내었다.

여기서 月平均 汚染濃度 資料에 氣象因자들에 대한 資料세트 數 N=12, F(0.05)=4.96로서 SO<sub>2</sub> 濃도는 대체로 氣溫 및 濕度, sulfation rate는 釜山地方氣象廳에서 測定한 風速과 有意한 相關이 있으며 특히, K 地點에서는 測定所의 局地風速과도 有意한 相關關係가 있음을 나타내었다.

Table 2. Correlation coefficients between pollution and meteorological factors.

	Sulfation rate			Daily average SO <sub>2</sub> conc.			Monthly average SO <sub>2</sub> conc.			
	TEMP	-0.07	-0.06	0.16	-0.49	-0.61	-0.57	-0.66	-0.89	-0.80
WS <sup>a</sup>	-0.08	-0.68	-0.69	-0.14	-0.15	-0.05	-0.19	0.33	0.36	
WS <sup>b</sup>	-0.90	-0.10	-0.33	-0.32	-0.31	-0.16	-0.51	0.56	0.23	
RH	-0.07	-0.06	-0.08	-0.37	-0.35	-0.20	-0.76	-0.73	-0.64	
SO <sub>2</sub>	K	0.52	0.44	0.50	1.00	0.37	0.17	1.00	0.30	0.14
	Q	-0.15	-0.09	-0.43	0.37	1.00	0.71	0.30	1.00	0.97
	R	-0.28	-0.23	-0.57	0.17	0.72	1.00	0.14	0.97	1.00

1) Wind speed data of meteorological observatory in Pusan.

2) Wind speed data of each sites.

또한, 月平均 SO<sub>2</sub> 濃도와 sulfation rate의 相關分析 結果에 대한 t 檢定 結果(Table 3)를 살펴보면, K, Q, R 地點에서 각각 Z=20.91, 8.08, 7.70)Z<sub>0.05</sub>=1.960로 α=0.05에서 月平均 SO<sub>2</sub>

測定된 SO<sub>2</sub> 濃도에 대한 S<sub>1</sub>과 S<sub>2</sub>의 相對的인 寄與度를  $\gamma = S_1/S_2$ 로써 表現할 수 있으며 氣象의 變化에 따라  $\gamma$ 값이 變하게 될 것이다.

大氣擴散에 유리한 狀態인 강한 風速과 높은 混合高 存在時  $\gamma$ 값은 相對的으로 낮아지며, 大氣擴散이 불리한 낮은 風速과 낮은 混合高 存在時  $\gamma$ 값은 1以上 될 수 있을 것이다. 즉 大氣停滯狀態에서(낮은 風速) 測定地點의 濃度 S는 S<sub>2</sub> 보다 S<sub>1</sub>에 의해 주로 影響을 받을 것이다.<sup>3)</sup>

各 汚染測定所 및 釜山氣象廳에서 測定한 季節別 平均風速, 그리고 主風向 및 風向頻度는 各 Table 4 및 Fig.4와 같다.

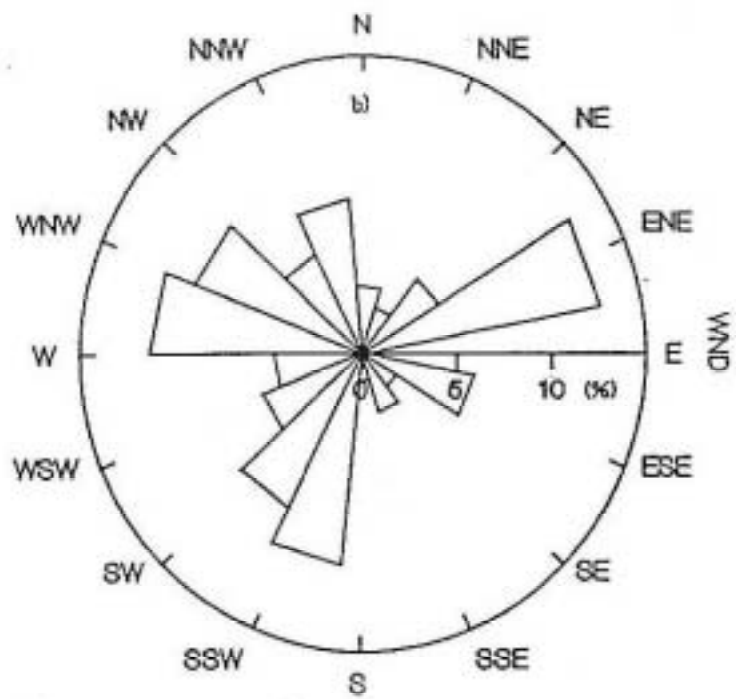
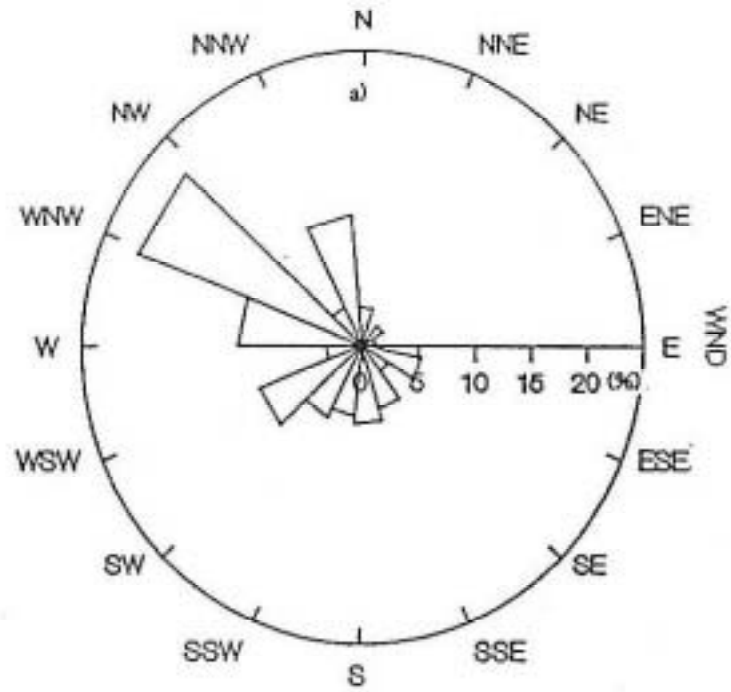
Table 4와 Fig. 4에서 年間, 季節別 風向의 頻度 및 平均風速을 比較해 보면, 釜山地方氣象廳에서 測定한 風向, 風速과 各 汚染測定所에서의 그것들이 複雜한 地形으로 인해 많은 差異를 보여 汚染物質의 移動 및 擴散能이 地域에 따라 顯著히 달라질 것으로 보인다.

따라서 各 測定地點에서 汚染濃도와 氣象變量들 사이의 回歸式을 구할 때에는 測定所의 風速과 氣象廳의 그것 사이에는 다소 差異가 있어 釜山地方氣象廳 氣象資料(風速, 風向 資料)를 適用하는 것이 무리이다.

Table 4. Wind speed and wind direction at each sites 1989.

Season	Wind direction (Frequency, %)				Wind speed(m/s)				Calm <sup>1)</sup> (Frequency, %)
	PS <sup>2)</sup>	K	R	Q	PS <sup>2)</sup>	K	R	Q	
Spring	ENE (19.3)	NW (21.6)	WSW (20.6)	E (12.8)	4.3	1.6	0.9	1.3	2.2
Summer	NE (22.1)	NW (12.3)	NNE (14.3)	NNE (12.3)	4.0	1.0	1.3	1.0	1.8
Fall	NE (22.6)	NW (29.6)	WSW (22.1)	NW (20.7)	3.6	1.0	0.6	0.8	2.8
Winter	ENE (19.3)	NW (31.5)	WSW (27.5)	NW (27.7)	4.1	1.3	0.7	1.0	1.7

1), 2), 3) Data of Pusan meteorological observatory(1989).



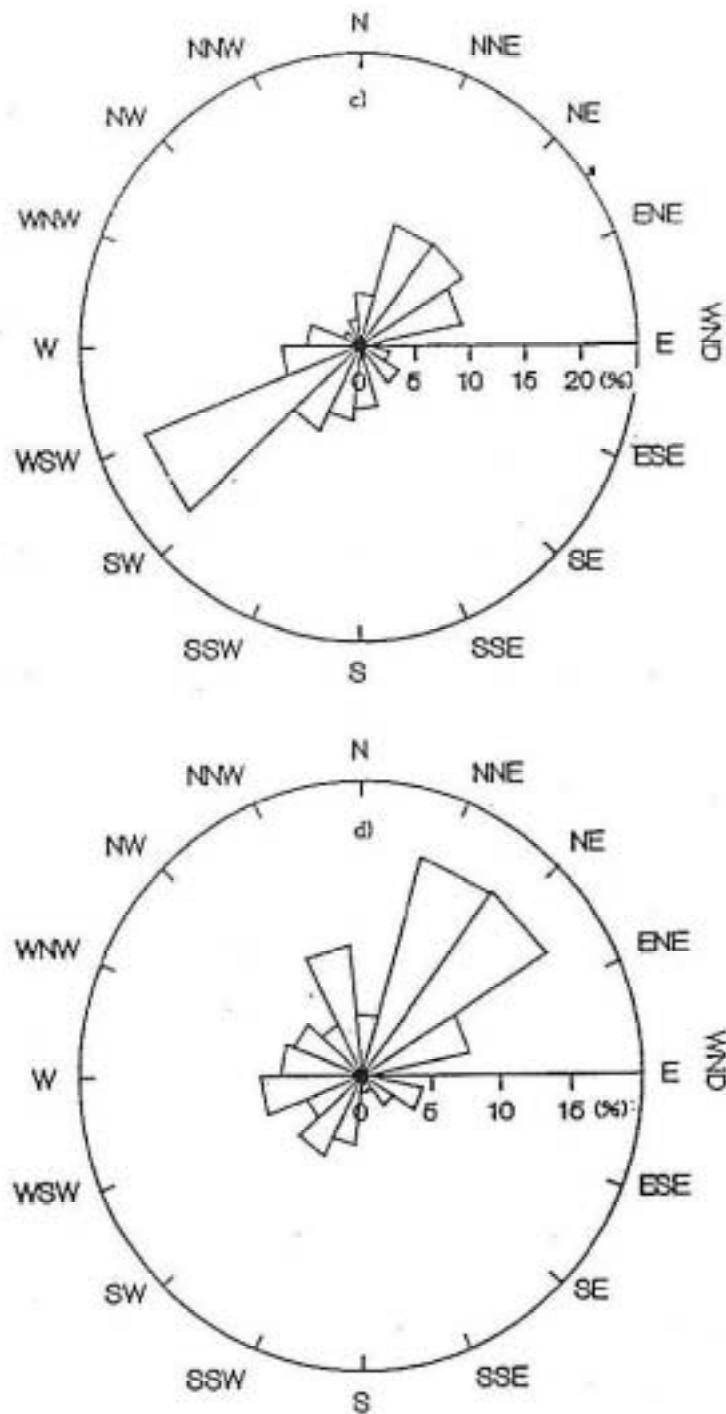


Fig. 4 Frequency distribution of wind direction at various stations in 1989.  
 (a) Station K, b) Station Q, c) Station R, d) Pusan meteorological observatory)

## 2-3. 汚染濃도와 相對濕度の 相關性

한 地域의 大氣 中에 水分이 存在하면 地球에서 放出되는 輻射에너지를 吸收하여 對流圈 大氣의 溫暖化에 기여하므로 對流에 의한 汚染物質의 鉛直方向 擴散에 결국 影響을 준다. 또한, 降水에 의한 Washout 現象으로 大氣를 淨化시킨다.

大氣汚染도와 相對濕度の 相關성을 살펴보면, 二酸化鉛法에 의한 sulfation rate는 바람과 濕도에 의해 많은 影響을 받는다는 報告<sup>2)</sup>와는 달리 sulfation rate와 相對濕度사이에는 아주 낮은 相關(-0.07~0.08)을 보이는 반면에, 月平均 SO<sub>2</sub> 濃도와 相對濕度 사이에는 높은 逆相關(-0.64~-0.76)이 있음을 나타내어 濕도가 높을 수록 SO<sub>2</sub>가 黃酸에로의 轉換이 빨라지는 것으로 보인다.

그런데 朴·安<sup>30)</sup>이 1976년에 地形이 평탄하고 광활한 호주의 New South Wales州의 6個 汚染測定所로부터 收集한 1日平均 COH 및 SO<sub>2</sub> 濃度資料와 氣象要素들 사이의 相關性 分析을 한 바에 따르면 COH와 SO<sub>2</sub> 사이에는 높은 陽(+)의 相關이 있고, 이는 都市에서의 浮游粒子 狀物質의 대부분이 燃料의 燃機過程에서 起因되었음을 의미하며, COH와 相對濕度 및 蒸氣壓(絶對濕度) 사이에는 場所에 따라 陽(+) 또는 陰(-)의 相關이 있다. 따라서 SO<sub>2</sub>와 濕度 사이에는 陽(+) 또는 陰(-)의 相關이 있다고 할 수 있을 것이다.

Zanneti 등<sup>31)</sup>도 Venice에서의 汚染 및 氣象資料를 分析하고 SO<sub>2</sub>와 濕度 사이의 陽 또는 陰의 相關성은 場所에 따라 달라짐을 報告하였으며 SO<sub>2</sub>와 濕度사이에 陽(+)의 相關이 있는 경우는 濕한 바람이 불어오는 風上側에 汚染源이 많이 있는 경우임을 지적하였다.

Sulfation rate에 대한 濕度の 影響은 相關性 分析에 따른 結果를 보면 아주 낮은 相關關係를 보여 相關성이 거의 없는 것으로 나타났지만, 大氣중의 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, 다른 形態의 黃酸化물을 가진 Aerosol(海鹽起源의 黃酸鹽 등), 浮游粒子狀 物質 등은 濕도가 높아지면 濕한 PbO<sub>2</sub>의 圓筒表面이 乾燥한 狀態보다 쉽게 黃酸化合物 등과 反應할 수 있는 條件이 되어 Sulfate 生成 可能性이 높아지므로 間接的인 影響을 미치는 것으로 判斷된다.

그런데 Sulfate aerosol 濃도에 미치는 相對濕度の 影響을 조사한 Smith와 Jeffery<sup>32)</sup>에 의하면 그 影響은 相對濕도가 70% 以下일 때 급격히 減少한다고 한다.

## 2-4. 單純回歸分析

地點別 月平均 SO<sub>2</sub> 濃도와 sulfation rate와의 單純回歸分析에 의해 구한 月平均 SO<sub>2</sub> 濃度 豫測에 사용될 回歸式은 Table 5와 같다.

月平均 SO<sub>2</sub>와 sulfation rate의 單純回歸式들의 決定係數 r<sup>2</sup>가 0.01~0.33으로 낮게 나타났다. 그래서 物質輸送 및 擴散에 좌우하는 氣象因子인 風速을 追加하여 [SO<sub>2</sub>/WS]項의 函數로 구해 보았던 바, 그 結果도 決定係數 r<sup>2</sup>가 0.03~0.31에 머물므로서 크게 改善되지 않았음을 보였다. 여기서 [SO<sub>2</sub>/WS]項을 취한 理由는 그 次元이 SO<sub>2</sub> 濃度 次元과 같기 때문이었다.



그러므로 sulfation rate와 氣象資料를 利用하여 月平均 SO<sub>2</sub> 濃度를 推定함에 유용하고 적합한 模型을 구하기 위해 多數量分析 方法 中에서 重回歸分析에 의해 重決定係數(coefficient of multiple determination, R<sup>2</sup>)가 큰 回歸式을 구하고 回歸式의 適合性에 대한 統計的 檢定을 할 必要가 있다고 생각된다.

Table 5. Regression equations for SO<sub>2</sub>(ppb) and sulfation rate(μg SO<sub>2</sub>/day/100cm<sup>2</sup> PbO<sub>2</sub>)

site	regression equation
K	[SO <sub>2</sub> ]=2.2+0.04[SO <sub>2</sub> *], r <sup>2</sup> =0.27, SEE=21.6
	=5.3+0.96[SO <sub>2</sub> /WS], r <sup>2</sup> =0.17, SEE=23.0
Q	[SO <sub>2</sub> ]=65.5-0.01[SO <sub>2</sub> *], r <sup>2</sup> =0.01, SEE=31.9
	=70.3-0.51[SO <sub>2</sub> /WS], r <sup>2</sup> =0.03, SEE=31.6
R	[SO <sub>2</sub> ]=145.9-0.08[SO <sub>2</sub> *], r <sup>2</sup> =0.33, SEE=40.0
	=132.9-2.51[SO <sub>2</sub> /WS], r <sup>2</sup> =0.31, SEE=40.6

\* sulfation rate

### 3. 多變量統計分析

大規模 資料處理와 變數選定이 比較的 자유로운 多變量 統計技法 中 多重重回歸分析法를 利用하여 4個 測定所에서 從屬變數인 月平均 SO<sub>2</sub> 濃度를 豫測하기 위해 sulfation rate, 氣溫, 風速 및 濕度 등의 獨立變數들은 選定하여 이들 變數들의 函數로 表現된 重回歸式을 구하여 月平均 SO<sub>2</sub> 濃度를 豫測하고 이 計算值들과 比較 檢討하였다. 또한, 市内 19個 測定地點에서 1989年度에 測定된 sulfation rate 資料를 因子分析(Factor analysis)을 實施하여 濃度變化 特性이 類似한 同質集團을 分類하고, 重回歸式을 求한 3個地點(K, Q, R)과 類似한 濃度變化 特性을 나타내는 分類된 地點들에 대해서 月平均 SO<sub>2</sub> 濃度 豫測回歸式을 適用시켜 月平均 SO<sub>2</sub> 濃度를 推定하는 問題를 檢討하였다.

#### 3-1. 重回歸分析

SO<sub>2</sub> 濃度의 影響因子를 알아보기 위해 月平均 SO<sub>2</sub> 濃度를 從屬變數로 취하고 月別 sulfation rate, sulfation rate/風速, 氣溫 및 濕度를 獨立變數로 취하여 重回歸分析을 實施하였다. 여기서 sulfation rate/風速의 項을 獨立變數로 취한 理由는 이 項의 次元이 SO<sub>2</sub> 濃度의 次元과 一致하며, sulfation rate는 氣象條件들이 同一한 境遇 排出強度에 比例하고, 風速은 輸送 및 擴散을 통한 汚染物質 濃度의 稀釋能을 代表的으로 나타내는 것이기 때문이다. 또한 氣象資料로서 風速, 氣溫,

그리고 濕度를 취한 것은 이런 因子들이 한 經費로 日常的으로 測定되는 것들이기 때문이다.

重回歸式들을 구하기 위하여 適用한 變量들 중 氣溫資料를 月平均值로 취하는 境遇와(15℃-月平均 日中最低氣溫)을 취하는 境遇를 檢討하였는 바, 後者를 檢討하게 된 理由는 Fig. 5에서 나타난 바와 같이 日中 最低氣溫이 15℃ 以下일 때는 그 差異에 比例해서 暖房 燃料使用量 增加로 인해 日中 平均 SO<sub>2</sub> 濃度가 增加하는 傾向이 있음을 確認했기 때문이다.

또한, 風速資料로서 局地 風速資料를 適用한 境遇와 釜山地方氣象廳 風速資料를 適用한 境遇를 對照하였으며, 이는 局地 風速資料가 없는 PbO<sub>2</sub> candle shelter 設置 地點들에 대한 月平均 SO<sub>2</sub> 濃度 豫測時에 釜山地方氣象廳 速度資料의 援用 可能性을 檢討하기 위해서 였다. 그리고 風速資料를 重回歸式에서 獨立項으로 취하는 境遇와(黃酸鹽化 速度/風速)項에 포함시키는 境遇를 對照 檢討하였다.

以上과 같은 3가지 事項들을 考慮하여 Table 6에 나타난 바와 같이 總 8가지 境遇들에 대한 重回歸式들을 구하였다.

Table 6에서 重回歸式의 決定係數 R<sup>2</sup> 값들을 고려할 때, 月平均 氣溫을 適用한 境遇와(15℃-日中 最低氣溫의 月平均)을 適用한 境遇에 대해 구한 重回歸式 사이에 豫測 正確度에 있어 顯著的한 差異가 없으며, 月平均 氣溫은 擴散能을 間接적으로 나타내는 하나의 파라미터로서의 機能을 갖는 것 같다.

局地 月平均 風速資料의 範圍는 Fig. 6에서 보인 바와 같이 0.6~1.8m/s이고 그 平均은 대체로 地域에 따라 0.9 내지 1.3m/s임에 대해 釜山地方氣象廳 月平均 風速의 範圍는 3.5~5.0m/s이고 그 平均은 3.7m/s로서 顯著的한 差異가 있음에도 불구하고 局地 月平均 風速資料를 適用한 境遇와 釜山地方氣象廳 風速資料를 適用한 境遇에 구한 重回歸式들의 豫測 正確度(R<sup>2</sup>; 資料分析을 說明할 수 있는 정도) 사이에는 顯著的한 差異가 없었다. 이는 黃酸鹽化 速度 資料와 風速 사이에는 完全한 獨立性이 없고, 또한 月平均 風速資料의 變動 範圍가 작기 때문이 아닌가 생각된다.

따라서 局地 風速資料가 없는 地點들에 있어서 釜山地方氣象廳 月平均 風速 資料를 援用하더라도 結果적으로 重回歸式 適用의 正確度는 顯著히 低下되지 않음을 示唆한다.

그리고 風速을 (黃酸鹽化 速度/風速)項에 포함시켜 反映한 경우와 獨立項으로 다룰 경우를 比較해 보면 後者의 境遇가 R<sup>2</sup> 값을 微小하게 改善시키는 것 같다.

Table 7은 8가지 case 중에서 case II의 地點別 亞黃酸가스 濃度에 대한 重回歸分析(Multiple regression)의 階段式分析(Stepwise analysis) 結果로서 Q, R 地點에서는 月平均 亞黃酸가스 濃度와 가장 큰 關聯이 있는 因子는 氣溫으로 나타났으며, K 地點에서는 濕度인 것으로 나타났다.

Table 8에서는 3個 獨立變數로 된 月平均 亞黃酸가스 濃度 決定 回歸式(case II)의 R<sup>2</sup>는 0.08~0.86으로 Table 6에서 보듯이 case IV 보다 微小하게 작지만, 本 研究에서는 月平均 SO<sub>2</sub> 濃度를 推定함에 있어 氣象 및 sulfation rate 資料를 利用하여 檢討하고자 하므로 sulfation rate項이 모두 包含되어 있는 case II를 採擇하였다.

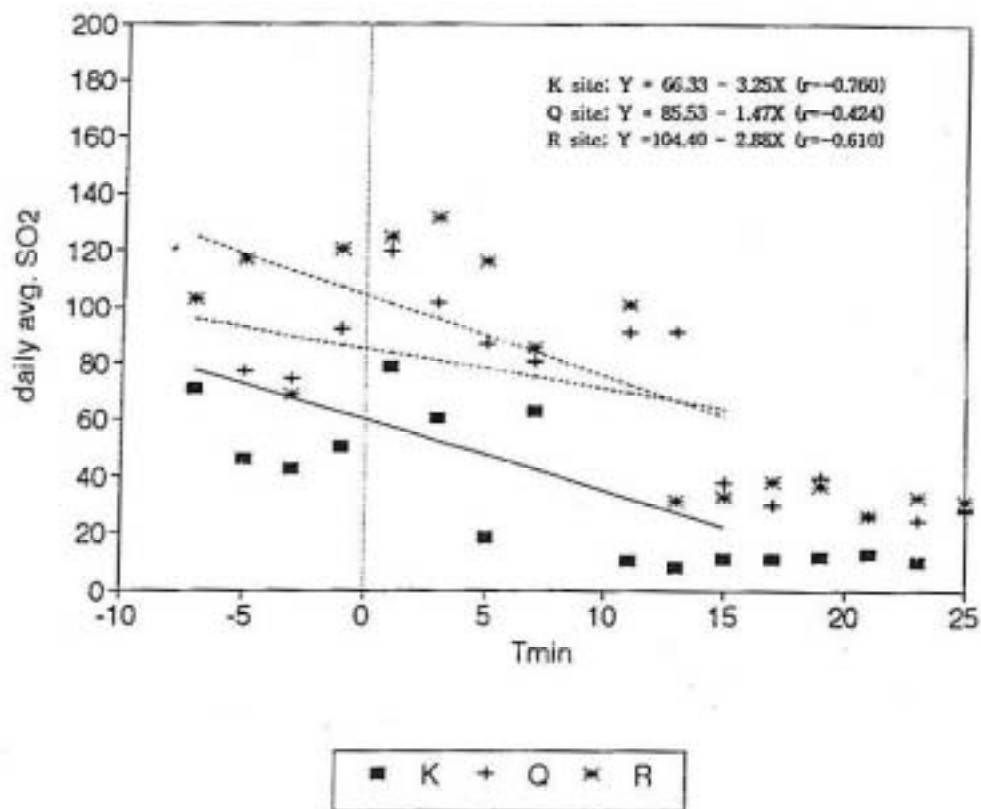
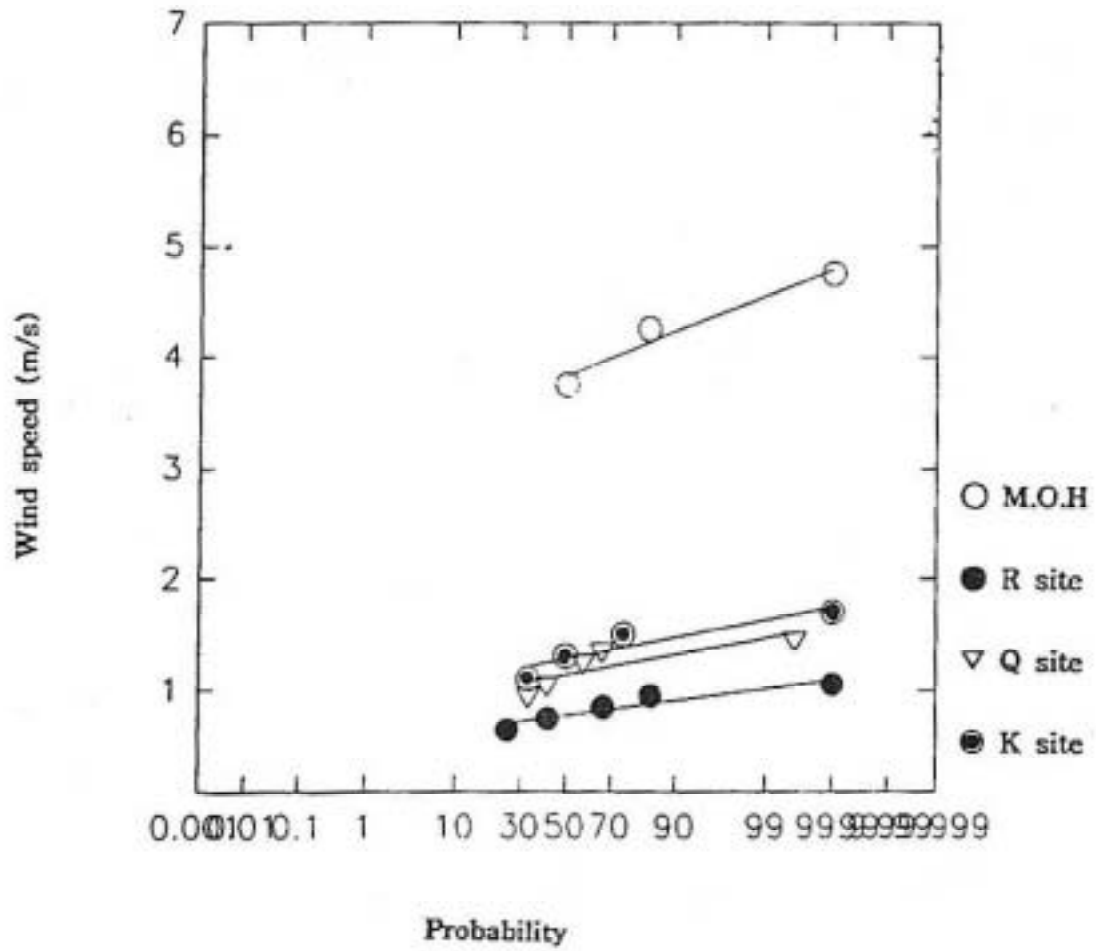
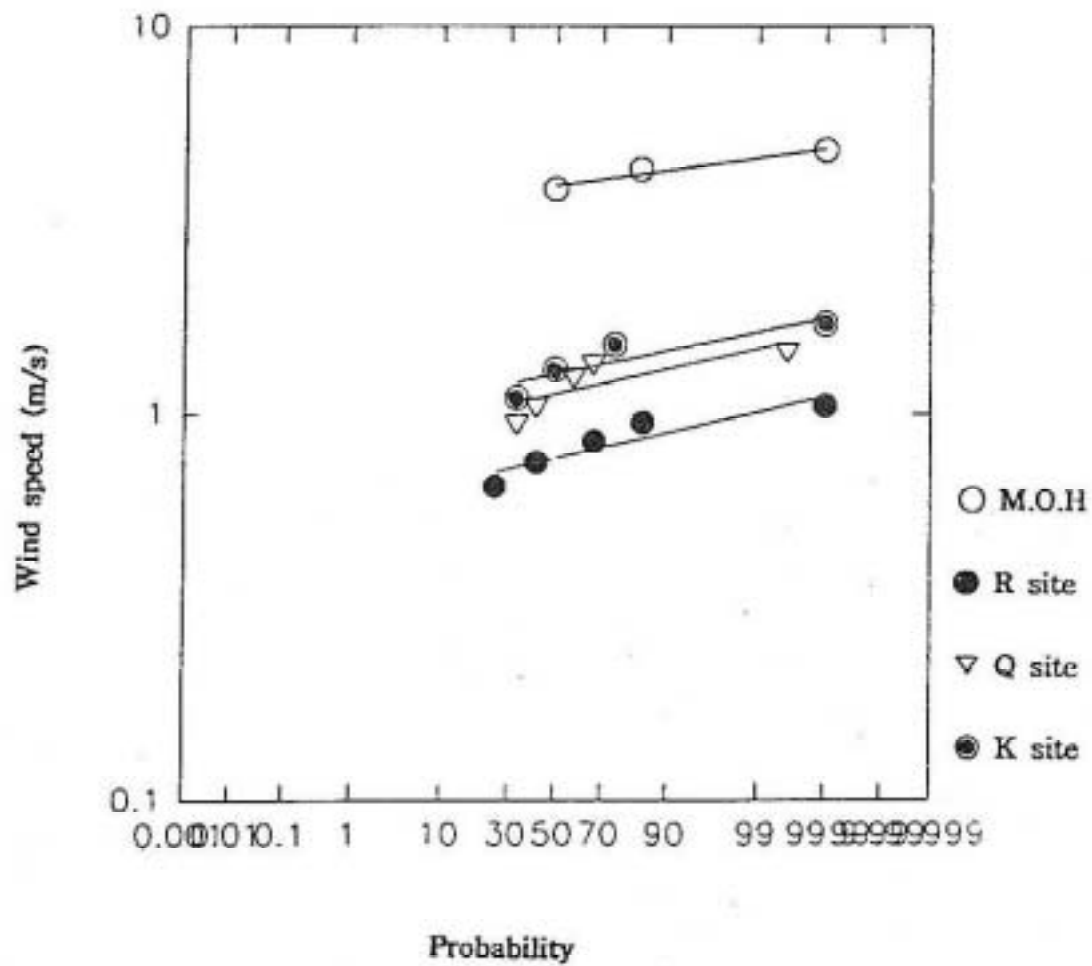


Fig. 5 Atmospheric temperature dependence of daily average SO<sub>2</sub> concentration.



(a)



(b)

Fig. 6 Comparison between normality and log-normality of monthly wind speed data.

Table 6. Multiple regression equations for each combination of variables.

case	site	regression equations	R <sup>2</sup>
I	K	$160.925 - 2.156[\text{TEMP}] + 0.036[\text{S/W}]$	0.80
	Q	$4.224 + 2.081[\text{TEMP}] - 5.878[\text{S/W}]$	0.83
	R	$187.846 - 4.408[\text{TEMP}] - 0.034[\text{S/W}]$	0.81
II	K	$158.206 - 2.206[\text{RH}] - 0.039[\text{S}]$	0.80
	Q	$18.791 + 2.019[\text{RH}] - 5.918[\text{TEMP}] - 0.013[\text{S}]$	0.85
	R	$83.272 + 2.147[\text{RH}] - 0.647[\text{TEMP}] - 0.060[\text{S}]$	0.86
III	K	$165.484 + 0.127[\text{S/W}] - 2.254[\text{RH}]$	0.79
	Q	$20.066 - 0.051[\text{S/W}] + 1.977[\text{RH}] - 5.843[\text{TEMP}]$	0.85
	R	$68.267 - 0.188[\text{S/W}] + 2.247[\text{RH}] - 7.101[\text{TEMP}]$	0.85
IV	K	$66.472 - 2.043[\text{RH}] + 0.058[\text{S}] + 16.976[\text{WS}]$	0.82
	Q	$-49.832 + 1.958[\text{RH}] - 5.691[\text{TEMP}] + 13.842[\text{WS}]$	0.86
	R	$83.272 + 2.147[\text{RH}] - 6.974[\text{TEMP}] - 0.060[\text{S}]$	0.86
V	K	$158.206 - 2.206[\text{RH}] + 0.039[\text{S}]$	0.80
	Q	$-138.931 + 2.526[\text{RH}] + 6.080[15 - T_{\text{sea}}]$	0.83
	R	$100.038 + 4.544[15 - T_{\text{sea}}] - 0.034[\text{S/W}]$	0.80
VI	K	$158.206 - 2.206[\text{RH}] + 0.039[\text{S}]$	0.08
	Q	$-138.931 + 2.526[\text{RH}] + 6.080[15 - T_{\text{sea}}]$	0.93
	R	$-88.659 + 2.732[\text{RH}] - 0.055[\text{S}] + 7.199[15 - T_{\text{sea}}]$	0.86
VII	K	$165.484 - 2.254[\text{RH}] + 0.127[\text{S/W}]$	0.79
	Q	$-119.440 + 2.406[\text{RH}] + 5.955[15 - T_{\text{sea}}] - 0.040[\text{S/W}]$	0.85
	R	$-109.338 + 2.880[\text{RH}] + 7.384[15 - T_{\text{sea}}]$	0.85
	K	$66.472 - 2.043[\text{RH}] + 0.058[\text{S}] + 16.976[\text{WS}]$	0.82
	Q	$-185.849 + 2.348[\text{RH}] + 13.412[\text{ws}] + 5.877[15 - T_{\text{sea}}]$	0.86
	R	$-88.695 + 2.723[\text{RH}] - 0.055[\text{S}] + 7.199[15 - T_{\text{sea}}]$	0.86

case I : original temp., local wind speed, part of S/W

case II : original temp, local wind speed, independent

case III : original temp., M.O.H wind speed, part of S/W

case IV : original temp., M.O.H wind speed, independent

case V :  $(15 - T_{\text{sea}})$ , local wind speed, part of S/W.

case VI :  $(15 - T_{\text{sea}})$ , local wind speed, independent

case VII :  $(15 - T_{\text{sea}})$ , M.O.H wind speed, part of S/W.

case VII : (15-T<sub>em</sub>), M.O.H wind speed, independent

Table 7. Stepwise analysis of monthly average SO<sub>2</sub> concentration with respect to several variables.(case II)

site	step	variable	Multiple	Determination	Overall	Signifi-
			R	coefficient R <sup>2</sup>	F	cance (Pi)
K	1	Humid.	0.760	0.578	13.705	0.004
	2	SO <sub>2</sub>	0.893	0.807	9.734	0.012
Q	1	Temp.	0.887	0.787	36.963	0.000
	2	Humid.	0.911	0.829	2.216	0.171
	3	SO <sub>2</sub>	0.922	0.850	1.131	0.319
R	1	Temp.	0.800	0.640	17.274	0.008
	2	SO <sub>2</sub>	0.917	0.840	28.877	0.000
	3	Humid.	0.927	0.860	1.113	0.322

\* S/W : Sulfation rate / wind speed.

Table 8. Multiple regression equations(case II) for monthly average SO<sub>2</sub> concentration.

site	multiple regression eq.(*)
K	Y = 158.206 - 2.206X <sub>1</sub> + 0.039X <sub>2</sub> R <sup>2</sup> = 0.80, SEE = 11.977, F = 17.705
Q	Y = 18.791 + 2.019X <sub>1</sub> - 5.918X <sub>2</sub> - 0.013X <sub>3</sub> R <sup>2</sup> = 0.85, SEE = 13.870, F = 15.146
R	Y = 83.272 + 2.147X <sub>1</sub> - 0.674X <sub>2</sub> - 0.060X <sub>3</sub> R <sup>2</sup> = 0.86, SEE = 20.435, F = 16.318

\* Y = monthly average SO<sub>2</sub> concentration(ppb)

X<sub>1</sub> = relative humidity(%)

X<sub>2</sub> = temperature(°C)

X<sub>3</sub> = sulfation rate[(μgSO<sub>2</sub>/day/100cm<sup>2</sup>PbO<sub>2</sub>)/(0.1m/s)]

그 결과 月平均 SO<sub>2</sub> 濃度와 sulfation rate에 대한 單純回歸에 의한 回歸式의 決定係數 r<sup>2</sup> 0.01~0.33보다는 훨씬 높으며, 또한 回歸式에 대한 統計學的 檢定 結果도 F > F(0.05) = 4.07로서 月平均 SO<sub>2</sub> 濃度를 推定함에 있어 높은 精度를 가질 것으로 判斷된다.

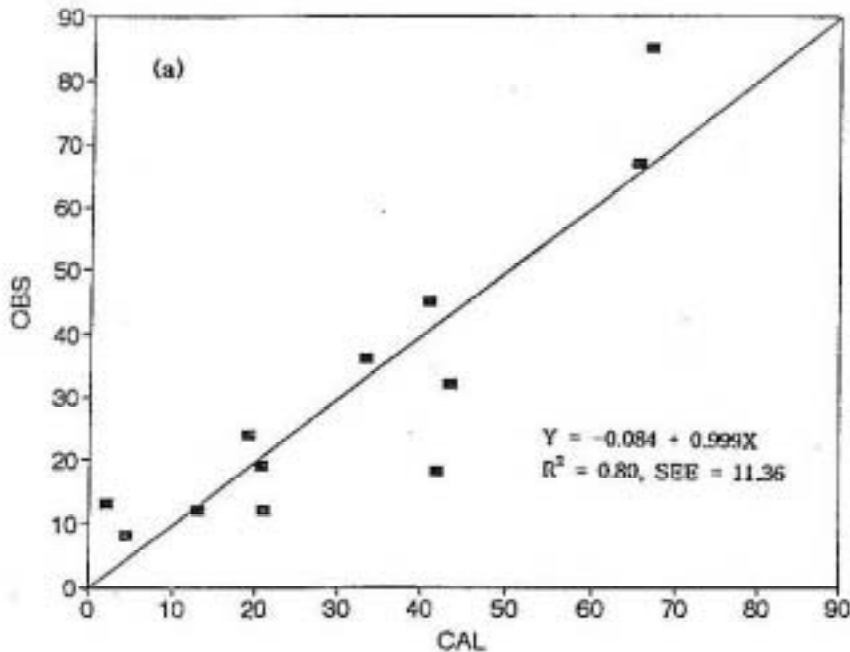
各 地點의 回歸式에서 Q, R 地點에서는 月平均 SO<sub>2</sub> 濃度가 溫度의 增加에 따라 增加하는

반면에, 氣溫 및 sulfation rate項의 增加에 따라 減少하는 傾向을 나타내었다.

K 地點에서는 위의 두 地點과는 달리 sulfation rate는 SO<sub>2</sub>에 (+)의 影響을 주며 溫度는 SO<sub>2</sub> 濃度에 (-)影響을 주는 것으로 나타났다. 調査地點別 月平均 SO<sub>2</sub> 濃度에 대한 重回歸式들은 地域의 大氣汚染度가 地域 汚染發生源의 排出特性과 地形 및 氣象因子에 의한 輸送 및 擴散 效果 등에 의해서 局地的인 特有的 汚染特性을 가진다는 사실을 示唆하는 것 같다.

Fig. 7 (a), (b), (c)는 각각 K, Q, R 地點에 대한 月平均 SO<sub>2</sub> 濃度の 重回歸式에 의한 豫測値와 實測値를 나타낸 것으로서 각 地點들에 대한 決定係數 값들이 0.80~0.86 사이에 속하여 높은 水準을 보이고 있으며 SEE 값들은 11.36~18.27의 範圍에 있다.

Fig. 8은 앞의 重回歸式들을 사용하여 3個 地點에 대한 月別 SO<sub>2</sub> 濃度 豫測値들과 測定値를 나타낸 것으로 3個 地點 모두 月別 SO<sub>2</sub> 濃度の 豫測値와 測定値의 變動이 類似한 傾向을 보이나 특히, K 地點은 決定係數 값이 他 地點보다 약간 작듯이 豫測値와 實測値 사이에 一致하는 程度가 다소 떨어지는 것 같다.





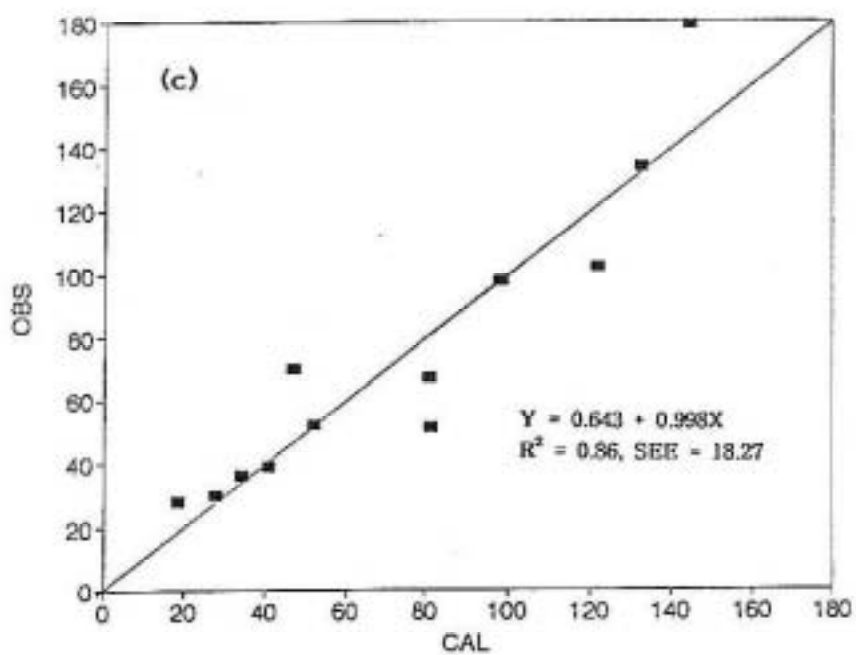
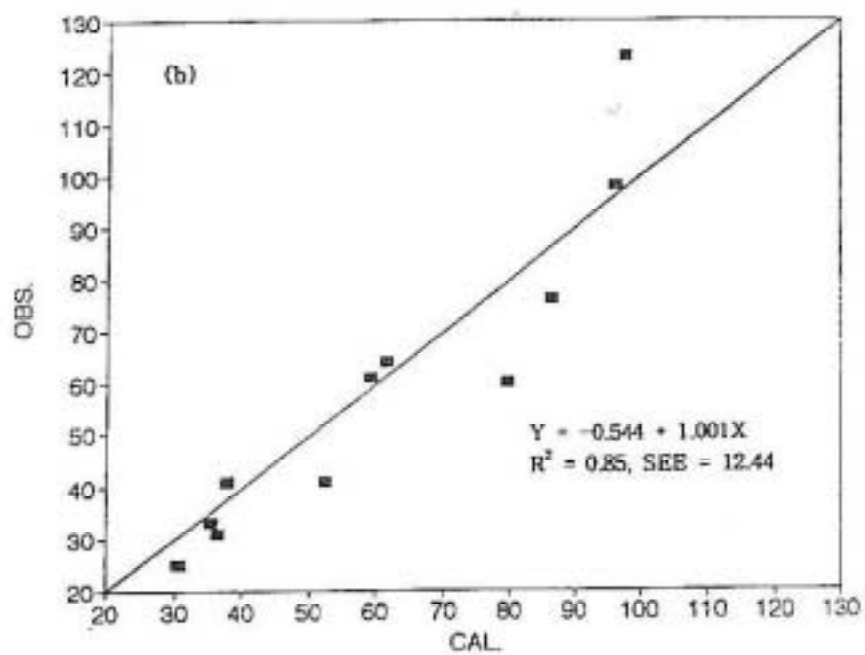
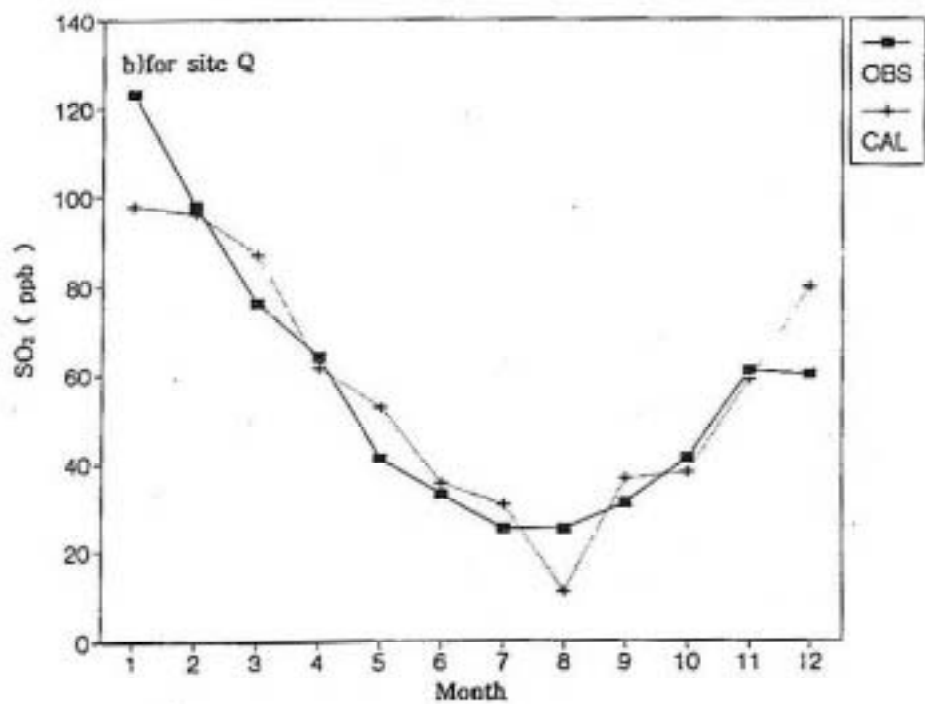
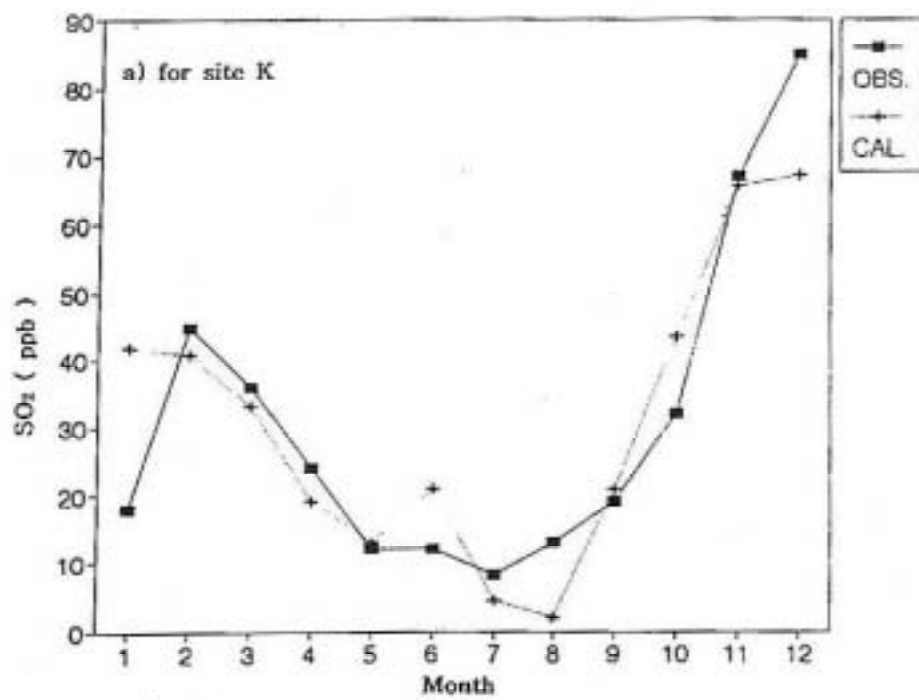


Fig. 7 Comparison of observed  $\text{SO}_2$  concentrations with calculated ones.  
 (a) for site K, b) for site Q, c) for site R



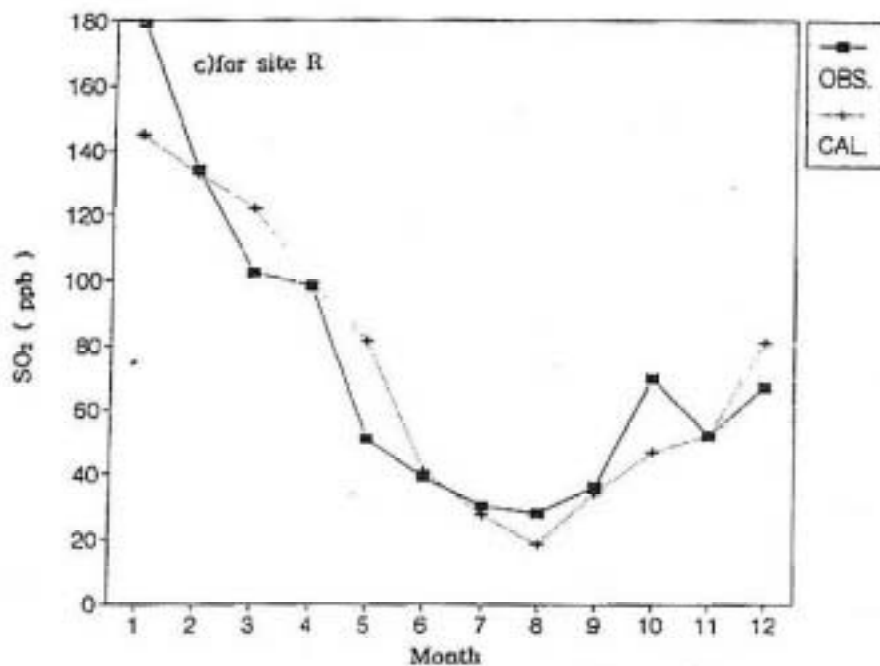


Fig. 8 Variation pattern of observed concentrations and calculated ones.

### 3-2. 因子分析

因子分析은 여러개의 變數가 共存하고 있는 현상으로부터 同質의 變化性을 갖는 變數들을 찾아내어 몇 개의 因子로 解析할 수 있도록 하는 바, 19個 地點의 sulfation rate 資料를 여러 變數로 보고 因子分析한 結果, 몇 개의 因子에 該當되는 各 地點을 同質의 變化性을 갖는 小集團으로 分類하였다.

因子分析에서 因子 軸回轉은 直角回轉方法(Orthogonal rotation 中 varimax法)을 利用하였으며 缺測值는 pairwise方法으로 處理하였다. 固有值(Eigen value)가 1.0以上인 것을 모두 抽出하는 것이 一般的이나,<sup>30</sup> 19個 地點에서의 sulfation rate 資料에 대한 因子分析을 함에 있어 汚染濃度의 變化特性이 類似한 同質集團을 더욱 細分化하기 위해 固有值가 0.5以上인 因子들을 抽出, 分類하였다.

Table 9는 19個 測定地點에서 測定한 sulfation rate를 人力資料로 하여 固有值와 共通性(Communality)을 나타낸 것으로 固有值 0.5以上인 因子가 3個 抽出되었으며, 因子 1, 因子 2 및 因子 3이 각각 總分散의 83.7%, 8.7%, 3.0%를 說明하며 3個의 因子로서 總分散의 95.5%가 說明됨을 나타내고 있다.

大氣汚染濃度 變化線相이 類似한 地點들을 分類하기 위해 因子分析한 結果를 Table 10 및 Table 11에 나타내었는 바, 이들은 각각 初期因子들(initial factors)과 直角回轉(orthogonal rotation) 方法으로 軸回轉시킨 因子들을 나타낸 것이다. 地點別 Sulfation rate로 因子(factor)를 明確하게 區分하기 위해 直角回轉시킨 結果(Table 11)를 토대로 共通性을 갖는 地點들을 部類別로 Fig. 9에 나타내었다.

Table 9. Eigen value and communality percentage.

Factor	Eigen value	percent variation explained	cummulative percent variation explained
1	15.088	83.8	83.8
2	1.557	8.7	92.5
3	0.544	3.0	95.5
4	0.413	2.4	97.9
5	0.165	1.3	99.2
6	0.101	.8	100.0
7	0.064	.0	100.0
8	0.032	.0	100.0
9	0.019	.0	100.0
10	0.013	.0	100.0
11	0.006	.0	100.0

Table 10. Factor matrix

site	Factor 1	Factor 2	Factor 3
A	0.761	-0.505	0.277
B	0.810	-0.525	-0.181
C	0.834	-0.389	0.083
D	0.805	-0.502	0.159
E	0.965	-0.056	-0.017
F	0.888	0.294	0.330
G	0.793	0.534	-0.001
H	0.978	0.165	0.018
I	0.991	0.041	0.082

J	0.968	-0.061	-0.083
K	0.987	-0.068	0.022
L	0.965	0.201	0.062
M	0.968	0.213	-0.035
N	0.953	0.029	0.208
O	0.976	0.166	0.119
P	0.943	0.262	-0.073
Q	0.939	0.157	-0.154
R	0.911	-0.131	-0.355
S	0.897	-0.036	-0.427

Table 11. Varimax rotated factor matrix.

site	Factor 1	Factor 2	Factor 3
A	0.293	0.900	0.129
B	0.192	0.781	0.563
C	0.368	0.784	0.323
D	0.294	0.880	0.253
E	0.649	0.569	0.435
F	0.913	0.383	0.054
G	0.912	0.033	0.287
H	0.811	0.421	0.386
I	0.757	0.544	0.348
J	0.630	0.552	0.496
K	0.667	0.604	0.410
L	0.836	0.402	0.338
M	0.821	0.361	0.425
N	0.756	0.577	0.220
O	0.837	0.455	0.295
P	0.824	0.296	0.443
Q	0.731	0.346	0.525
R	0.471	0.478	0.723
S	0.503	0.373	0.772

Group 1에는 住居地域(E-J地點), 商業地域(K-O地點), 그리고 工業地域(P, Q地點)이 포함되었으며, Group 2에는 綠地地域(A, B, C, D地點), Group 3에는 工業地域(R, S地點)이 해당되었다.

Group 1은 Sulfation rate가 주로 暖房 排出가스 및 自動車 排出가스에 의해 影響을 많이 받는 住居 및 商業地域에 있는 地點들과 工業地域내에 位置하여 商業場에서 排出되는 가스에 直接的으로 많은 影響을 받는 地點들로 分類되었다.

Group 2는 暖房 및 自動車 排出가스의 影響이 적은 綠地 또는 公園地域에 있는 地點들이며, Group 3에는 주로 工業地域周邊에 位置하여 事業場에서 排出되는 가스와 自動車의 排出가스에 많은 影響을 받는 水系隣近 地點으로 分類되었다.

Group 3외에 Group 1에도 工業地域이 包含되었는 바, sulfation rate의 變動特性이 地域用途 및 交通量 등에 따른 排出強度의 強弱뿐만 아니라, 局地氣象에 크게 좌우되기 때문에 그런 要素들의 組合의 結果로 그렇게 分類된 것으로 보여진다.

因子分析結果에 의해 分類되어진, 汚染度 變動樣相이 類似한 地點群(Fig. 9)에 대하여 3個 地點에서 구한 重回歸式들을 適用하여 地點別 月平均 SO<sub>2</sub> 濃度を 推定함에 있어 誤差를 最小化하기 위해 重回歸式을 구한 3個 地點(K, Q, R)과 因子分析에 의해 汚染變化 樣相이 類似하지 않은 集團으로 分類된 Group 2의 綠地地域 4個 地點에 대해서는 相關係數가 두 變量간의 一次的인 關聯性을 나타내므로 地點別 sulfation rate에 대한 相關關係 分析(Table 12)을 통하여 3個 地點(K, Q, R) 중 가장 相關性이 높은 地點의 重回歸式을 適用하여 推定하였다.

Fig. 10는 重回歸式들의 適用에 의한 地點別 月平均 SO<sub>2</sub> 濃度の 推定結果로서 季節別 平均 SO<sub>2</sub> 汚染濃度の 空間分布를 나타낸 것이다. 어느 季節의 境遇에서나 工場이 密集되어 있는 地域이 높은 汚染度를 보이고 있음을 알 수 있으며, 工場密集地域을 除外한 大部分의 地域에서 SO<sub>2</sub> 濃도가 50ppb以下の 水準을 보인다.

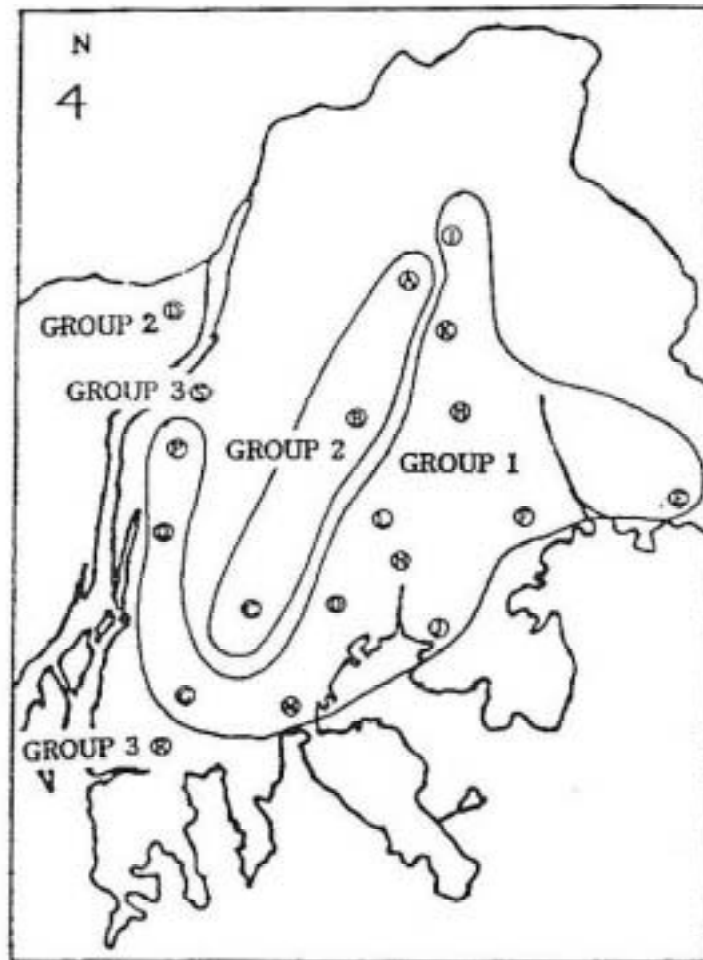


Fig. 9 Classified sites by varimax rotated factor matrix.

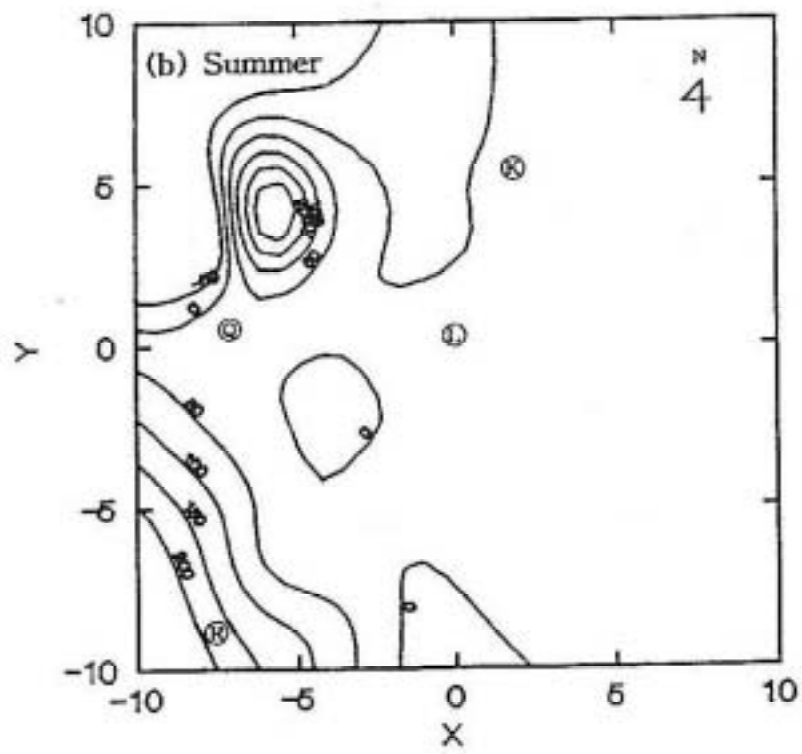
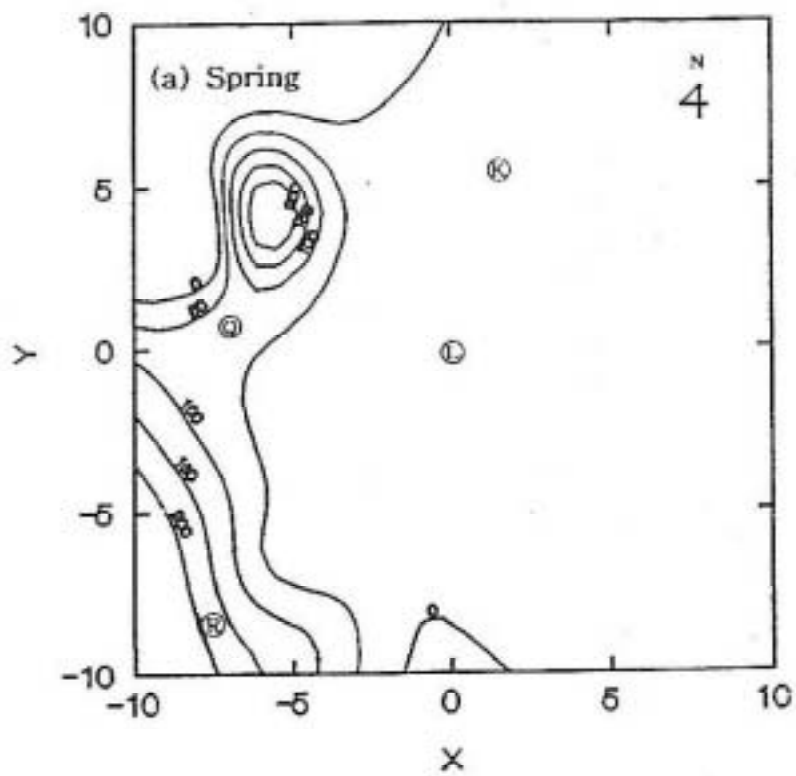
그러나 겨울철로 갈수록 50ppb 이상의 지역이 넓어지는傾向을 나타내며 특히, 住居 및 商業地域의  $SO_2$  濃度가 높아지고 있어 暖房 燃料使用量의 增加에 의한 것으로 보인다. 앞의 多變最 重回歸式들을 各測定地點에 適用하여 計算한 釜山 全域의 月平均  $SO_2$  濃度에 대한 立體的 分布를 附錄 1에 나타내었으며, 附錄 2는 釜山 全域의 黃酸鹽化 速度(sulfation rate)의 立體的인 分布를 나타낸 것이다.

따라서 釜山地域의 汚染物質의 分布狀況은 汚染源이 密集되어 있는 工業地域이 高濃度의 汚染度를 보이며, 다른 地域에서는 特別히 많은 汚染物質을 排出하는 汚染源들이 적기 때문에 暖房 및 自動車의 排氣가스와 地形, 局地氣象 등에 의해 많은 影響을 받는 것 같다.

Table 12. Correlation coefficients of sulfation rate between measurement sites.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
A	1.00																		
B	0.82	1.00																	
C	0.77	0.87	1.00																
D	0.87	0.88	0.97	1.00															
E	0.79	0.84	0.76	0.75	1.00														
F	0.63	0.50	0.64	0.61	0.84	1.00													
G	0.33	0.39	0.51	0.41	0.72	0.84	1.00												
H	0.66	0.68	0.76	0.72	0.92	0.93	0.85	1.00											
I	0.74	0.77	0.81	0.78	0.96	0.92	0.79	0.98	1.00										
J	0.75	0.83	0.80	0.75	0.96	0.82	0.70	0.93	0.95	1.00									
K	0.81	0.83	0.81	0.79	0.98	0.87	0.72	0.95	0.98	0.98	1.00								
L	0.65	0.65	0.73	0.67	0.92	0.94	0.84	0.99	0.98	0.94	0.95	1.00							
M	0.60	0.68	0.73	0.67	0.92	0.92	0.87	0.98	0.97	0.94	0.94	0.99	1.00						
N	0.78	0.72	0.75	0.75	0.93	0.92	0.74	0.93	0.97	0.92	0.96	0.94	0.92	1.00					
O	0.69	0.69	0.75	0.71	0.94	0.96	0.86	0.98	0.98	0.93	0.96	0.98	0.97	0.96	1.00				
P	0.57	0.64	0.71	0.65	0.88	0.88	0.92	0.96	0.93	0.86	0.89	0.94	0.96	0.88	0.95	1.00			
Q	0.58	0.71	0.76	0.71	0.86	0.81	0.87	0.94	0.92	0.86	0.88	0.90	0.94	0.86	0.92	0.98	1.00		
R	0.69	0.85	0.75	0.73	0.89	0.67	0.63	0.87	0.86	0.92	0.90	0.84	0.87	0.80	0.83	0.84	0.88	1.00	
S	0.60	0.81	0.70	0.66	0.88	0.65	0.67	0.87	0.85	0.91	0.89	0.84	0.87	0.77	0.82	0.86	0.89	0.99	1.00





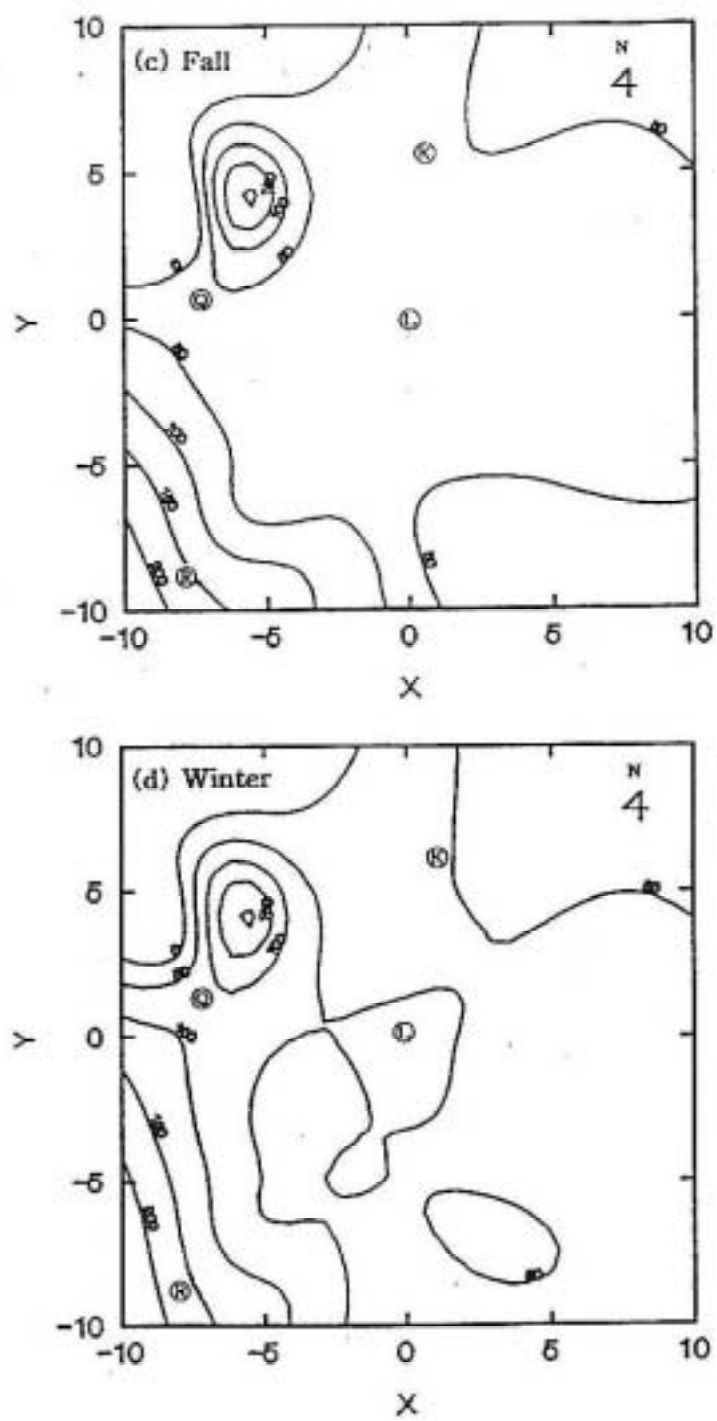


Fig. 10 The horizontal distribution of seasonal  $\text{SO}_2$  concentrations in Pusan, 1989.

## IV. 結 論

本 研究에서는 1989年 1월부터 12월까지 1年間 釜山地域의 大氣汚染 測定所에서 測定된 大氣汚染 資料 및 氣象資料를 利用하여  $SO_2$ 와 黃酸鹽化 速度를 比較分析하고, 大氣汚染 資料와 氣象資料(風速, 風向, 氣溫, 相對濕度)와의 關聯性 構造에 對해 各種 統計分析을 實施하여 重回歸 分析 模型들을 만들고 그 豫測 正確度들을 比較 檢討하였으며, 그 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 3個 地點의 月平均  $SO_2$  濃度와 黃酸鹽化 速度의 月別 傾向을 調査한 結果 1월부터 5월까지는 月平均  $SO_2$  濃度와 黃酸鹽化 速度가 다소 비슷하게 減少하는 變動을 보이나 6월부터는 月平均  $SO_2$  濃度は 계속 減少하여 9月頃부터 增加하는 趨勢를 보이는 반면 黃酸鹽化 速度는 6월부터 增加하여 겨울철의 水準과 거의 비슷한 傾向을 나타내므로서, 黃酸鹽化 速度가  $SO_2$  濃度變化 이외의 다른 要因들에 의해 많은 影響을 받음을 示唆하였다. 또한 이들 3個 觀測所에서 黃酸鹽化 速度는 一般적인 大氣汚染의 季節別 趨勢와는 달리 가을>겨울>여름>봄의 順으로 나타났다. 地域別로는 工業地域이 가장 높게 나타났고, 그 다음으로는 商業, 住居, 綠地地域의 順으로 나타났다. 이는 黃酸鹽化 速度의  $SO_2$  濃度水準 및 氣象 依存性을 나타낸다.

2) 月平均  $SO_2$  濃度를 推定하기 위해 黃酸鹽化 速度나 風速, 濕度, 氣溫 등 氣象因子들을 利用해서 單純重回歸式을 구하면 決定係數가 매우 낮으나 重回歸式들을 구함으로써 決定係數를 0.80~0.86 水準까지 향상시켜 높은 正確度를 期待할 수 있음을 確認하였다.

3) 月平均 大氣 中  $SO_2$  平均濃度 評價에 有關한 黃酸鹽化 速度 및 여러 氣象因子들의 各 組合에 對해 구한 重回歸式들 中 3個 地點 모두 黃酸鹽化 速度項을 包含하며 決定係數가 가장 큰 것을 氣溫資料로써 月平均 氣溫을 適用하고 또한 風速을 獨立變量으로 設定하여 局地風俗 資料를 適用한 境遇에 適當하는 것이었다.

$$Y_u = 158.206 - 2.206[RH, \%] + 0.039[SO_2],$$

$$R^2 = 0.08, \text{SEE} = 11.977$$

$$Y_o = 18.791 + 2.019[RH, \%] - 5.918[TEMP, ^\circ C] - 0.013[SO_2]$$

$$R^2 = 0.85, \text{SEE} = 13.870$$

$$Y_s = 83.272 \times 2.147[RH, \%] - 0.674[TEMP, ^\circ C] - 0.060[SO_2]$$

$$R^2 = 0.86, \text{SEE} = 20.435$$

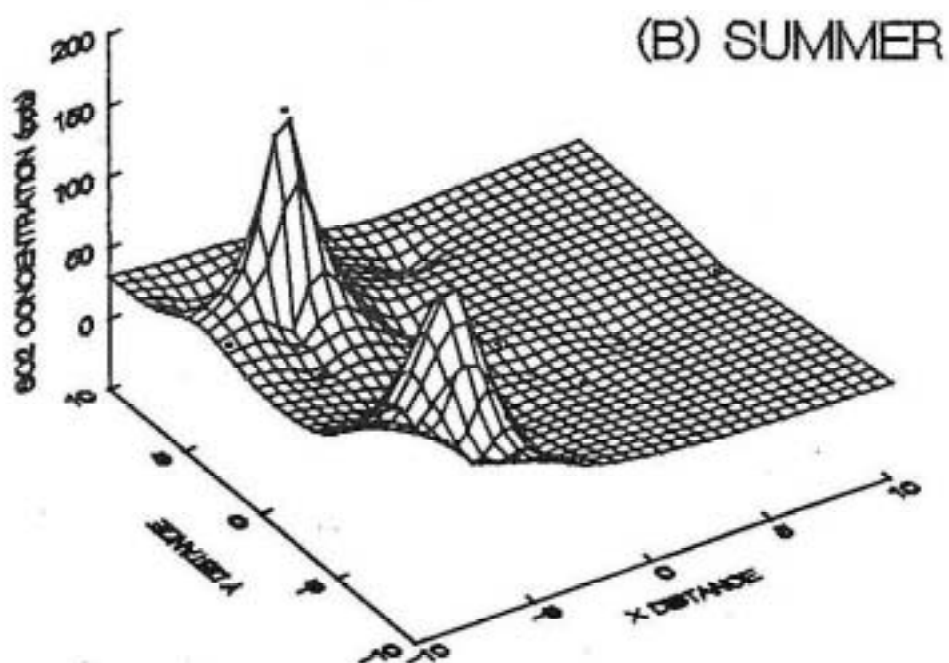
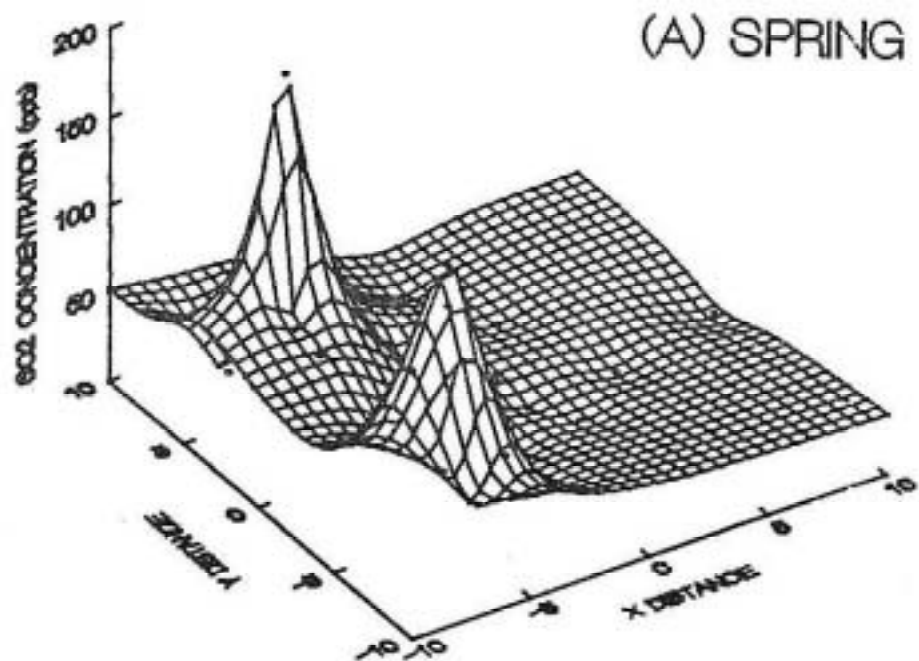
4) 黃酸鹽化 速度의 變動樣相을 因子分析함으로써 그 樣相에 共通性을 가진 地點들을 部類 化하여 이들 地域에 極小數의  $SO_2$  및 簡易 氣象 모니터링 시스템을 運營하고 여러 地點에  $PbO_2$  candle을 設置함으로써 都市氣象 中  $SO_2$  汚染濃度 變動趨勢 把握 등을 위한 調査 經費節減을 期待할 수 있을 것이다.

## V. 參考文獻

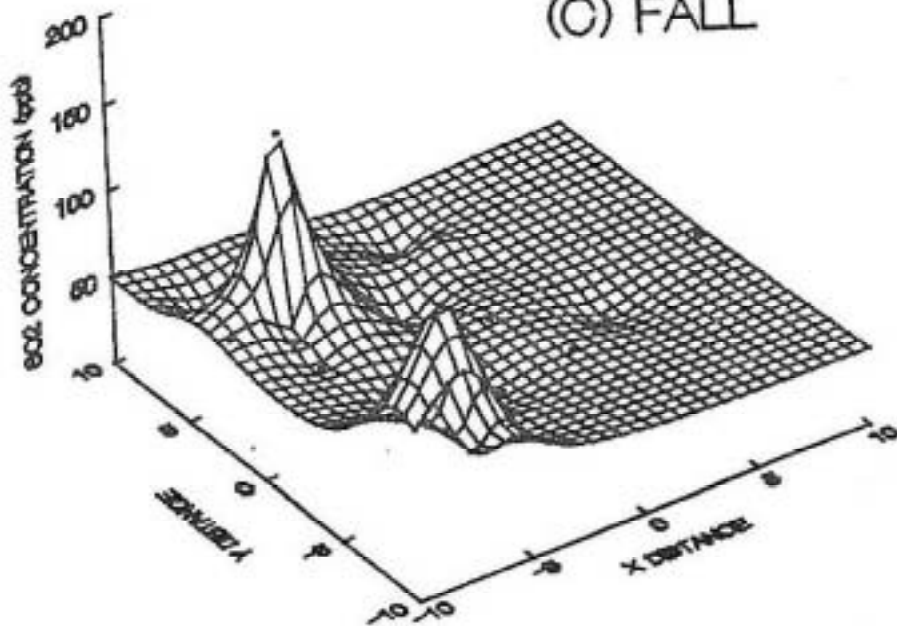
1. G.E. Likens : "Acid Precipitation", Chem. Eng. News, special report, November 22, 1976, p29.
2. 박승조, 대기오염물질조사방법, 동화기술(1989), p6.
3. B.H. Wilsdon and F.J. McConnell : J. Soc. Chem. Ind., 53, 385, 1934.
4. ASTM D2010-65 : "Standard Method for Evaluation of Total Sulfation in Atmosphere by the Lead Peroxide Candle".
5. B.S 1747(1963) : "Method for the Measurement of Air Pollution, part 4, The Lead Dioxide Method".
6. E.J. Russell : "Notes on the Estimation of Gaseous Compounds of Sulfur", J. Chem. Soc., 77 : 352. 1900.
7. J.C. Hudson and J.F. Stanners : J. Appl. Chem., 3, 86, 1953.
8. B.H. Wilsdon and F.J.M.Connell : "The Measurement of Atmospheric Sulfur Pollution by Means of Lead Peroxide", J. Soc. Chem. Ind. Dec.21, 1934.
9. E.T. Wilkins : "Air Pollution in London", Mech., Eng., 76, 426, 1954.
10. W.W. Stalker, R.C. Dickerson and G.D. Kramer : Am. Ind. Hyg. Ass. J., 24, 68, 1963.
11. 右明地哲人, 福島 悠, 久津摩淳 : 東京都公害研究所年報, 第2卷, 1971
12. G.Durfuca and M.Giugliano : "The duration of high SO<sub>2</sub> concentration in air urban atmosphere", Atm. Env. Vol.7, 729-735, 1977.
13. Park : "The statistical models of duration of atmospheric pollution events", HWAHAK KONGHAK, Vol.17, 293-304,1979.
14. R.L. Larsen : "An air quality data analysis system for interrelating effects, standards, and needed source reductions", Part 4, A three-parameter averaging time model, JAPCA, Vol.27, 454-459, 1977.
15. 부산광역시, 부산통계월보, 1989.
16. 宮本弘子 等 : "夏のSPM 高濃度時 發生源 推定", 資源環境對策, Vol.29, No.9, p843, 1993.
17. 이태경, 김정우, 박순용 : "대기오염예보체제개발연구", 환경과학연구협의회, p186, 1990.
18. R.E. Mayer and E.N. ziegler : "Statistical correlation between ambient sulfate concentration and sulfur dioxide concentration, total suspended particulates, and relative humidity for 13 eastern states", Atm. Sci.& Tech., vol.12,302-309, 1978.
19. 寺部本次, 大道貞男 : 産業環境工學, 1964.
20. 寺部本次, 大道貞男 : 神奈川縣 大氣汚染調査研究報告, 5, p31-35.

21. H.R. Hickey and E.R. Hendrickson : "A Design Basis for Lead Dioxide Cylinder", J.Air Poll.Control Assoc.15 : 409-414, 1965.
22. P. Zanneti, P.Melli, and E.Runca : "Meteorological factors affecting SO<sub>2</sub> pollution levels in Venice", Atm.Env., Vol.11, 605-616, 1977.
23. Y.Fukuko : "Meteorological study of air pollution", Faculty of Education, Fukushima Univ. Sci. Rep.23.
24. A. Garnett : "Recent trends in sulphurdioxide air pollution in the Sheffield urban region", Atm. Env., 14, 787-796, 1980.
25. D.B. Turner : "Relationships between 24hour mean air quality measurements and meteorological factors in Nashville, Tennessee", JAPCA, Vol. No.10, 483-489, 1976.
26. F.H. Steninberger and Y. Balmor : "Sulfur dioxide in the atmosphere in Jersalem and the role of meteorology on pollutant concentrations in subtropical regions", Atm. Env., Vol.9, 409-416, 1975.
27. F.B. Smith and G.H. Jeffery : "The Prediction of high concentrations of sulfur dioxide in London air", Turbulence & Diffusion Note, No.19, Boundary layer Research Branch, Meteorological Office, United Kingdom, 1971.
28. 溝口次夫, 松本光弘, 池浦太莊 : "大氣汚染物質の簡易測定法とその評価" J. Japan Soc. Air Pollut., 26(4), p191-203, 1991.
29. J.M. Norbeck et al : "Effect on New York City Tax Strike on Concentrations in Midtown Manhattan", J. of the Air Poll. Control Assoc., Vol.29, No.8, 845-847, 1979.
30. 朴玉鉉, 安永泰 : "COH의 分布特性和 氣象學的 要素들과의 相關" 동아대학교무설 한국공해문제연구소, 연구보고 제5권 제1호, 29-34, 1981.
31. F.B. Smith and G.H. Jeffery : "The Prediction of high concentrations of sulphur dioxide in London air", Meteorological Office 14, Turbulence and Diffusion Note No.19, Bracknell, Berks, UK, 1971.
32. S.R. Dorling, T.D. Davies, and C.E. Pierce, Cluster analysis : "A technique for estimating the synoptic meteorological controls on air and precipitation chemistry-method and applications", Atmos., Envir., 26A(14), 2575-2581, 1992.
33. P.K. Hopke : "Receptor modeling in Environmental Chemistry", John Wiley & Sons, New York, 1985.
34. 姜炳熾, 多變量統計學, 法文社, 1990.

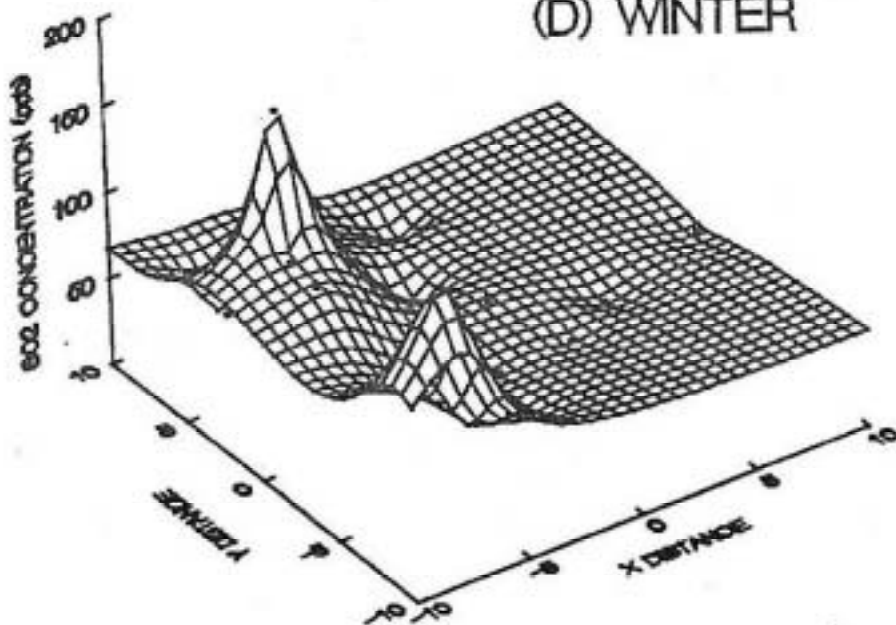
Appendix. 1 Distribution of ave.  $\text{SO}_2$  Concentration(ppb) in Pusan, 1989.



(C) FALL



(D) WINTER



Appendix. 2 Distribution of Sulfation rate( $\text{mg SO}_3 / \text{day} / 100\text{cm}^2 \text{PbO}_2$ ) in Pusan, 1989.

