

# 부산지역 대기오염농도와 기상인자간의 통계분석

— 광안리지역을 중심으로 —

郭 振 · 劉殷哲 · 曹正九 · 朴洵雨 · 辛判世

대 기 보 전 과

## 부산지역 대기오염농도와 기상인자간의 통계분석

— 광안리지역을 중심으로 —

### 대 기 보 전 과

郭 振 · 劉殷哲 · 曹正九 · 朴洵雨 · 辛判世

## Statistical analysis between air pollutants and meteorological factors in Pusan

— Focusing at Kwangan-li area —

Air Preservation Division

J. Kwak, E. C. Yoo, J. G. Cho, S. U. Park, P. S. Shin

### Abstract

Simple correlation analysis, factor analysis, and multi-regression analysis have

been performed to analyze the relationship between air pollution and meteorological factors for air pollution and meteorological data measured at Kwangan-li in Pusan for two years(January 1995 ~ December 1996).

As a result of simple correlation and factor analysis  $SO_2$ ,  $NO_2$ , CO concentrations have shown high positive correlation with air pressure and they were indicated that their concentrations were related with pollutant emission trend based upon heating and automobil fuel usage.  $O_3$  concentration have shown high positive correlation with wind speed, temperatuer and solar radiation and high negative correlation with relative humidity, these are a closely relation with photochemical reaction mechanism.

The result of multi-regression analysis, adjusted R square( $R_a^2$ ) of  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$ ,  $PM_{10}$ , CO were 0.876~0.979, 0.935~0.990, 0.966~0.995, 0.914~0.981 and 0.845~0.944 respectively. So, they were a good multi-regression models.

## I. 서 론

오늘날 대기오염으로 인한 현상을 효율적인 규제 및 방지를 위하여 체계적이고 종합적인 대기오염관리가 중요시 되고 있는 현실에서 대기오염관리를 위한 대기오염측정장비에 의한 오염현황의 정확한 파악이 필수적으로 선행되어야 할 것이다. 대기오염자동측정장비는 그지역의 대기질을 연속적으로 측정하여 대기오염경보체계의 구축, 대기오염방지대책 수립을 위한 기초자료의 제공, 대기오염방지대책 효과평가를 위한 자료의 확보, 환경기준 달성여부의 판단자료 및 대기예측모형의 보정자료 제공, 대기오염 배출원 감시 등 여러가지 목적으로 설치되어 운영된다.

과거의 대기오염은  $SO_2$ 와 같은 1차오염물질이 문제가 되었고 관심의 집중이 되어 왔다. 저황 연료유의 공급확대와 청정연료의 사용 의무화로 인해 점차 줄어드는 추세에 있는 반면, 최근에는 급속한 산업화와 소득의 증대로 기하급수적으로 늘어나는 자동차와 산업시설에서 배출되는 질소산화물( $NO_x$ )과 탄화수소류(HC,) 그리고

휘발성유기화합물(VOC)을 포함하는 다양한 천연, 인공 물질이 태양광과 반응(광화학반응)하여 2차적으로 생성된  $O_3$  등에 의한 대기오염이 심각해지고 있다. 특히  $O_3$ 는 환경기준에 정해져 있드시 그 자체가 환경오염물질로써 문제인 동시에 이산화질소, 먼지, 산성안개, 산성비 등의 2차 생성에 의한 대기오염현상에 깊게 관여하고 있다.(Ohara et al., 1995).

$O_3$ 은 높은 농도에 장기간 노출되면 점막의 자극, 호흡기 질환등 인간의 건강과 농작물이나 식물에도 심각한 영향을 미치고 시정을 감소시키는 역할을 하며, 이산화탄소와 같이 강력한 온실효과를 나타내는 물질이라는 사실이 알려져 있다. 이러한 시점에서 1997년 7월 부터는 특별시 및 모든 광역시에서 한시간의 오존농도가 0.12 ppm이상일때는 오존경보제를 발령하게 된다. 하지만 오존경보제는 농도가 초과되었을 때 시행되므로 적극적인 오존의 피해를 예방할 수가 없다. 따라서 그 지역의 특성에 맞는 예보시스템의 개발이 시급한 실정이다.

대기오염현상은 배출원 및 기상인자 그리고 그 지역의 지형적인 특성에 따라 달라지는데 지속적인 배출원 이외에도 계절에 따른 연료사용량의 변화 및 기상학적인 변동과 1일을 주기로 일어나는 오염원과 기상학적인 관련성이 대기오염농도에 큰 영향을 미친다. 따라서 대기오염물질과 기상인자간의 관련성에 대해 대기오염 자동측정자료를 이용하여 통계적인 해석을 시도한 논문들이 다수 있는데 수도권지역을 중심으로 하여 수도권지역의 광화학 오존농도 예측에 관한 연구(김용국 : 1996), 다변량해석을 이용한 서울시 하계 스모그의 형태분류(홍낙기외 : 1993), 광화학 물질의 시계열 특성에 관한 연구(윤정임 외 : 1993)등 다수가 있고, 부산지역을 중심으로 한 연구들 보면 부산에 있어서 광화학스모그 오염의 제어를 위한 통계학적 접근(박옥현, 1986), 부산연안역의 고농도 오존일의 예측기법 개발과 오존농도 수치모의 (전병일, 1997), 부산시 대기오염물질간의 상관도에 관한 연구(하수호, 1993) 등이 있다.

본 연구에서는 해안가에 인접하고 있는 광안동 지역에 대기오염측정장비를 설치하여 이 지역의 대기질을 상시측정하고 측정된 자료를 바탕으로 하여 아황산가스( $SO_2$ ), 이산화질소( $NO_2$ ), 일산화탄소( $CO$ ), 미세먼지( $PM_{10}$ ), 오존( $O_3$ )을 중심으로 시간별 농도변화, 일별, 월별농도 분포 및 농도별 빈도특성을 알아보고, 동시에 자동기상 측정장비(AWS)에서 측정된 기온, 기압, 상대습도, 풍향, 풍속과 부산지

방기상청에서 관측된 시간별 일사량을 기본자료로 하여 대기오염농도와 기상인과의 관련성을 상관분석과 다변량통계기법 중 인자분석 및 다중회귀분석을 계절별로 실시하여 서로간의 상호관련성구조를 규명하고 수식화하기 위한 기법을 모색하였고 계절별 특성에 맞는 중회귀모형을 만들었다.

본 연구는 지역의 특성에 맞는 대기오염 예보체계 기법을 개발하기 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

## II. 이론적 근거

### 1. 상관분석

상관분석은 두 변수간의 (선형)상관관계를 분석하는 기법으로서 회귀분석이 변수간의 독립, 종속이 파악되는 경우에 적용하나, 변수간 종속관계가 불분명하여 단지 두 변수간의 상관관계를 분석하는 것이 상관분석이다. 두 변수의 선형관계의 방향과 정도를 나타내는 측정치를 상관계수(correlation coefficient)라고 부르고 모집단의 경우, 피어슨의 상관계수는 아래 공식과 같다.

모상관계수(pearson's product-moment correlation)

$$\rho = \frac{\sigma_{12}}{\sqrt{\sigma_{11} \sigma_{22}}} \quad (1)$$

여기서  $\sigma_{11} = X_1$ 의 분산       $\sigma_{22} = X_2$ 의 분산

$\sigma_{12} = X_1$ 과  $X_2$ 의 공분산

이 상관계수는 모집단에서 두 확률변수의 일차적인 연관성을 나타내어 준다. 만일 두 변수가 양의 상관계수 값을 갖는다고 하면 한 변수의 증감이 다른 변수의 증감과 같은 방향으로 나간다는 것을 뜻하게 된다. 또 상관계수의 값이 1에 가까울수록 두 변수는 매우 강한 양의 선형관계를 가진다고 하며 -1에 가까울수록 두 변수는 매우 강한 음의 선형상관을 가진다고 말할 수 있다.

## 2. 인자 분석

인자분석(factor analysis)은 상호 관련되어 있는 변수들에 대하여 동질의 변화(common variability)를 주는 공통인자들을 찾아내어 변수들 간의 관계 및 화물구조를 해석하기 위한 통계적 방법이다.

인자분석의 기본모형은 다음과 같다.

$$X_i = a_{i1} F_1 + a_{i2} F_2 + \dots + a_{ik} F_k + \dots + e_{im} F_m + e_i, \quad i = 1, 2, \dots, p, \quad m < p, \quad (2)$$

여기서,  $X_i$ 는 측정된  $i$ 번째 변수이며,  $a_{ik}$ 는  $ik$ 번째 공통인자가  $i$ 번째 변수에 주는 영향으로 인자부하량(factor loading)이라 부르고,  $F_k$ 는  $k$ 번째 공통인자,  $e_i$ 는  $m$ 개의 인자에 의해 설명되는 부분으로  $i$ 번째 변수의 특수인자이다,  $e_i$ 는 모든 공통인자(common factor)에 대해 무상관(uncorrelated)이라 가정한다.

$c_i = a_{i1} F_1 + a_{i2} F_2 + \dots + a_{im} F_m$ 라 하면, 식(2)는  $X_i = c_i + e_i$ 로 표현하여  $c_i$ 와  $e_i$ 는 서로 독립이므로 분산에 대한 다음식이 성립한다.

$$\text{Var}(X_i) = \text{Var}(c_i) + \text{Var}(e_i) \quad (3)$$

여기서,  $\text{Var}(c_i)$ 과  $\text{Var}(e_i)$ 는 각각 변수  $X_i$ 의 공통분산(common variance), 특수분산(unique variance)이라 하며, 공통분산은 공통도(communality)라 하기도 하고  $h_i^2$ 으로 표시한다. 공통도는 공통인자들에 의해서 변수의 대해 설명되어지는 부분을 의미하며, 다음과 같은 식으로 표현한다.

$$h_i^2 = a_{i1}^2 + a_{i2}^2 + \dots + a_{im}^2, \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (4)$$

적당한 인자의 수를 결정하기 위해서는 고유치(eigenvalue)의 누적기여율(cumulative percent)과 산비탈그림(scree plot) 등을 고려하며, 자료의 성격에 따라서 다르나 일반적으로 고유치가 1.0이상(Kaiser규칙) 또는 누적기여율이 80% 이상인 선에서 인자수를 결정한다.

인자분석의 중요한 개념은 인자회전에 있다. 회전방식은 직각 및 사각회전에 있는데 직각회전은 공통인자들의 직교성이 유지되도록 이끌어 내어지고, 사각회전은 인자분석의 목표가 서너개의 이론적으로 관련성을 갖는 인자들을 이끌어 내고자 할 때 사용된다. 직각회전에 이용되는 방법중에 가장 많이 사용되는 방법이 VARIMAX 회전(인자중심)이다

VARIMAX 회전은 가능한 임의의 열(인자)이 0과 1에 아주 가까운 값으로 도달되게 하는 방법이다.

#### 4. 중회귀 분석

회귀분석이란 변수상호간의 관계를 표본으로부터 추정하는 방법으로 하나의 주어진 종속변수와 최적 관련성을 갖는 독립변수들의 선형관계를 모형으로하여 가장 단순한 형태인 선형회귀모형(simple linear regression model)은 다음과 같다.

$$Y = \beta_0 + \beta X + \varepsilon \quad (5)$$

여기서, Y는 종속변수(independent Variable) 또는 설명변수(explanatory Variable)이며,  $\varepsilon$ 는 확률변수로 오차항이라고 부른다.

중회귀분석(Multiple Regression Analysis)은 종속변수가 1개이고, 독립변수가  $n \geq 2$  이상인 경우로, 일반적인 모형의 형태는 아래 식과 같다.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_n X_{in} + \varepsilon_i, \quad i=1, \dots, n, \quad (6)$$

여기서  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ 는 미지의 상수인 회귀계수이며  $\varepsilon$ 는 오차항이다. 오차항에 대한 가정은  $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2), i = 1, 2, \dots, n, \text{Cov}(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0, i \neq j$ 이다.

한편, 추정된 중회귀식이 어느 정도로 주어진 자료를 잘 설명하고 있는가를 알기 위해서 결정 계수(coefficient of determination)  $R^2$ 을 사용하는데  $0 \leq R^2 \leq 1$ 의 성질이 있으며,

$$R^2 = \frac{S_R}{S_T} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = \frac{\text{모형에 의하여 설명되어지는 변동}}{\text{총변동}}$$

$R^2 =$  값이 1에 가까울수록 중회귀식의 변동에 대한 설명력이 좋다고 할 수 있다.

또한, 중회귀모형에서는 어떤 설명변수를 취하고 어떤 설명변수를 제거해야 하는 문제가 있다. 중회귀분석에 있어서 회귀계수를 구할 때에 분산·공분산 행렬의 역행렬의 계산이 필요한데, 열들 사이에 1차종속(linear dependence)에 가까운 관계가 존재하면, 분산·공분산행렬의 역행렬이 존재하지 않든지, 역행렬의 계산이 가능해도, 분산이 매우 크게 되어 회귀계수의 추정치에 대한 신뢰성이 매우 낮은 중회

귀식이 구해지는데, 이와 같이 설명변수사이의 상관성이 높을 때 한 독립변수의 추정계수가 다른 독립변수의 추정계수에 상당히 영향을 미치는 것으로 이를 다중공선성(multicollinearity)이 있다고 한다. 따라서 다중공선성이 일어나지 않도록 변수선택을 해주어야 한다.

종속변수에 대해 가능한 한 설명력이 좋은 모형, 즉 의미있는 독립변수들을 선택하는 여러가지 모형이 개발되었는데 이것을 변수선택법(variable selection technique)이라고 한다.

최적모형의 결정을 위한 변수선택방법으로는 앞으로부터의 선택(forward selection), 뒤로부터 제거(backward elimination), 단계별회귀(stepwise regression)가 사용된다. 이 중에서 가장 보편적으로 사용되는 변수선택방법이 단계별회귀이다. 이 방법은 첫번째 변수는 앞으로 부터의 선택에 따라서 얻어지고 두번째 변수는 가장 큰 편상관계수를 갖는 변수가 선택된다. 단계별선택에서 최적모형의 결정은 결정계수  $R^2$  값의 증가가 둔화되는 경우 또는 수정된  $R^2$  (adjusted R square) 값이 최대가 되는 경우를 선택한다.

### III. 연구방법

#### 1. 연구자료

본 연구를 위해 사용된 오염농도 및 기상자료는 Table 1에 나타내었다. 일사량을 제외한 대기오염자료와 기상자료는 5분마다 측정하여 산술평균하여 시간평균치를 구하였고 일사량은 부산지방기상청에서 측정된 시간평균자료를 이용하였다.

측정자료의 선택은 24시간 중에서 70%(18시간) 이상 측정된 자료를 유효자료로서 취급하였는데 1995년에는 365일, 1996년 352일이 선정되었다.



Table 1. Data of Air pollution and Meteorological factors

Period	Pollution factors	Meteorological factors
1995. 1. 1 ~ 1996.12.31 ( 2 years ) Hourly data	SO <sub>2</sub> NO <sub>2</sub> CO O <sub>3</sub> PM <sub>10</sub>	Temperature Relative humidity Wind speed Wind direction Air pressure Radiation

## 2. 측정지점 및 분석방법

Fig. 2에 나타낸 측정지점은 부산광역시 수영구 광안동 소재 보건환경연구원 옥상으로 지면에서 약 10M 정도의 높이에 위치하고 전방 150M 앞에는 1995년 기준으로 하루 약 52,000여대의 차량이 통행하고 있는 수영로가 있는 지역으로 용도지역은 주거지역으로 되어있다.



Fig. 1 Measurement site.

인위적인 주 배출원은 차량 및 난방연료 사용에 기인하며 지리적으로는 남동쪽에 광안리 해수욕장이 있고, 서쪽에는 금련산(415M)가 자리 잡고 있는 곳으로 해풍과 육풍의 기류이동이 활발한 곳이다.

한편, 측정장비를 운영하기 위한 측정소는 약 5평규모의 건물로 시료채취구는 측정소 지붕에서 약 1m 높이에서 가스상물질은 분당 약 10ℓ로, PM<sub>10</sub>은 분당 20ℓ로 24시간 연속흡입하였고, 기상측정장비는 시료채취구에서 약 5m 떨어진 곳에서 관측되어 Rampack 장치인 RS232에 저장되어 이 장비와 연결된 개인용 PC의 하드디스크에 자료가 자동적으로 저장(back up)되게 하고 모니터 상에서는 실시간으로 관측이 가능하게 하였다. 기기의 정확한 측정을 위해 대기오염 자동측정장비에 대한 calibration을 1주일에 1회 실시하였다. 측정을 위해 사용된 대기오염 측정장비 및 기상장비와 아래와 같다.

측정장비 : Thermo Environmental Instruments, Inc. (U.S.A)

- Pulsed Fluorescent Ambient SO<sub>2</sub> Analyzer Model 43A
- GFC Ambient CO Analyzer Model 48
- U.V Photometric Ambient O<sub>3</sub> Analyzer Model 49
- Chemiluminescence NO-NO<sub>2</sub>-NO<sub>x</sub> Analyzer Model 42

Wedding & Associates, Inc.(U.S.A)

- Beta Gauge Automated Particle Sampler(PM<sub>10</sub>)

### 3. 자료의 통계처리

측정된 대기오염물질 및 기상자료는 통계분석처리프로그램인 SYSTAT(The System for Statistics, 1990)를 사용하여 통계처리 하였다.

## IV. 결과 및 고찰

### 1. 대기오염물질과 기상인자의 변화경향

#### 1) 대기오염물질의 시간대별 변화경향

Fig. 2에 나타난 시간대별  $\text{SO}_2$ 의 농도변화 경향을 보면 오전 9시 전후가 가장 높은 농도를 나타내다가 점점 감소하는 경향을 보이며, 오후 18시를 전후로 다시 증가하는 경향을 보이고 있다. 오전 9시 전후에 가장 높은 농도를 나타내는 것은 일생 생활이 시작되면서 오염물질의 배출량이 늘어남과 동시에 대기의 안정상태가 완전히 해소되기 직전으로 오염물질의 정체가 지속되기 때문으로 판단된다.

한편 시간별  $\text{NO}_2$ 의 농도변화를 보면 난방연료사용과 자동차 통행량이 가장 많이 출근시간대인 아침 7시에서 9시 사이에 가장 높은 농도를 보이다가 점점 감소 추세를 나타내며, 퇴근시간대인 18시에서 20시에 다시 크게 증가하는 경향을 나타내고 있어  $\text{SO}_2$ 의 일변화 경향과 비슷한 Pattern을 보여주고 있다.

시간별  $\text{O}_3$ 의 농도변화는 기상인자와의 관련성이 높아 특히 온도가 높고 일사량이 강한 시간대인 13시에서 16시 사이에 가장 높은 농도를 나타내었고, 아침 8시전 후에 가장 낮은 수치를 보였다. 아침 8시 전후에 오존농도가 저하되는 이유로는 고공으로부터 오존공급이 제한되어 상황에서 지표부근 오존이  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ 의 산화에 의해 소모되기 때문에, 아침 9시부터 오존농도가 급상승하는 이유는 아침에 발달하는 혼합층내에 대류에 의해 하층의 대기와 고농도 오존을 포함한 상층의 대기와의 연직혼합(수직혼합)에 기인하는 상층의 공기의 유입에 의한 오존농도의 증가와 인공적으로 생성된  $\text{NO}$ ,  $\text{HC}$  등에 의한 광화학 반응 때문으로 해석된다. 오후의 낮동안은 혼합층내에서는 모든 대기가 균질하게 혼합되기 때문에 오존농도에 큰 변화를 나타내지 않는다. 18시 이후는 지표 부근의 일반적인 대기오염농도는 증가하나, 증가하는  $\text{NO}$ 의 산화와 오존자체의 지표면 전성침착으로 인하여 지표 오존농도는 빠르게 감소한다.

시간별  $\text{CO}$ 의 농도변화를 보면 오전 9시 전후에 가장 높은 농도를 나타내다가

점점 감소하여 16시경에 최저치를 보이다가 다시 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 1차오염물질인  $\text{SO}_2$ 와  $\text{NO}_2$ 시간별 변화와 거의 유사한 패턴을 보이고 있다. 오전 9시 전후에 최고치를 나타내는 것은 출근시간대에 차량통행량의 급증과 더불어 오염물질의 배출량이 늘어남과 동시에 대기의 안전상태가 완전히 해소되기 직전으로 오염물의 정체가 지속되기 때문으로 판단된다.

Fig. 2에 나타난  $\text{PM}_{10}$ 은 공기역학적 직경이  $10\mu\text{m}$  이하의 먼지를 말하며, TSP가 입자의 크기를 고려하지 않고 먼지의 중량만을 저감시키는 기준치이기 때문에 인체에 미치는 피해 및 복지를 고려한다면  $\text{PM}_{10}$ 의 측정이 더 중요하다고 할 수 있겠다. 시간별  $\text{PM}_{10}$ 의 농도변화를 보면 오전 7시부터 증가하여 오전 11시에서 13시 사이에 가장 높은 경향을 보이고 있는데, 이는 주로 생산활동의 증가에 민감한 반응을 보이고 있다고 할 수 있겠다.

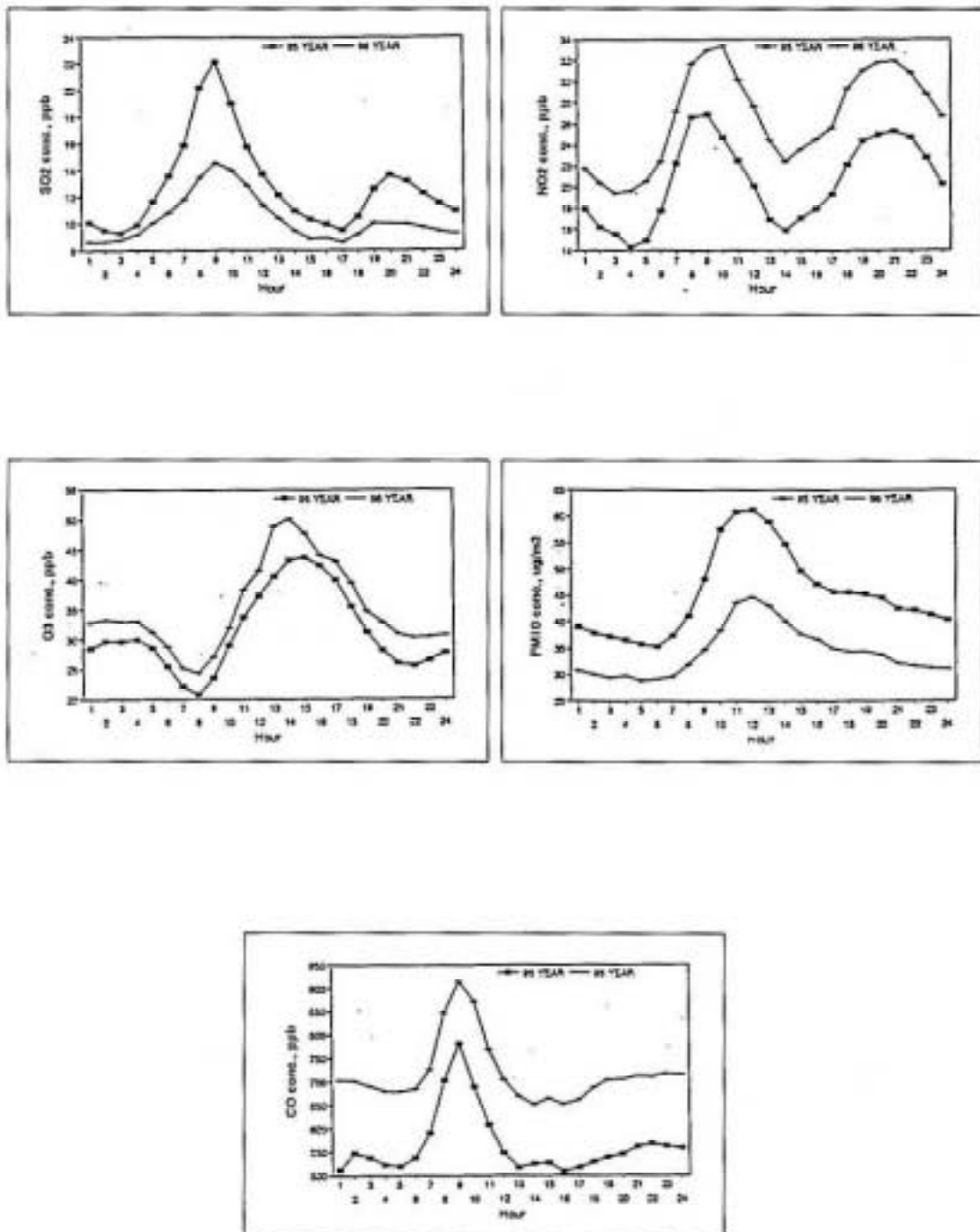


Fig. 2 Diurnal variation of air pollution factors.

## 2) 기상자료의 일변화 및 풍향의 계절변화 경향

Fig. 3에 나타난 기상의 시간대별 변화경향을 보면, 온도의 경우 오전 6시경 최저치를 나타내다가 점점 증가하여 16시에 최고치를 나타내고, 그후 점점 감소하는 변화경향을 보였고, 상대습도는 오전 7시경에 최고치를 나타내다가 점점 감소하여 15시경에 최저치를 보여 온도와는 반대 경향을 나타냈다.

또한 풍속에 있어서는 오전 7시경 최저치를 보이다가 점점 증가하여 14시경 최고치를 나타냈으며 다시 감소하다가 21시경부터 다시 증가하는 경향을 보였고 기압의 경우 새벽 5시부터 증가하기 시작하여 10시경 가장 높았으며 점점 감소하여 16시경 최소치를 보이다가 다시 증가하는 경향을 보였다. 일사량의 경우 13시경에 최고치를 나타내었다. 한편 시간에 따른 일별 풍향의 변화를 보면 육풍계열인 북서풍 계열이 주풍향을 이루다가 점점 감소하는 경향을 보였고, 12시를 전후로 해서 남서풍계열의 바람이 주풍을 나타냈다.

한편 Table 2 및 Fig. 4에 나타난 계절별 주풍향을 보면 봄, 가을, 겨울철에 북서풍 계열의 바람이 탁월하였으며, 여름철에는 남서풍 계열의 바람이 가장 많은 빈도를 나타내었다. 따라서 여름철은 해풍의 영향을 많이 받는 계절로 나타났다.

Table 5. Wind speed and wind direction at measurement site

Season	wind direction (Frequency, %)		wind speed(m/s)		calm (Frequency, %)	
	95 year	96 year	95 year	96 year	95 year	96 year
Spring	NW (15.9)	NW (17.9)	1.8	1.6	1.7	1.8
Summer	SSW (18.8)	SSW (14.1)	1.5	1.5	1.6	1.5
Fall	NW (23.1)	NNW (21.7)	1.7	2.0	2.0	1.9
Winter	NNW (35.0)	NW (27.6)	1.8	1.8	1.2	1.4

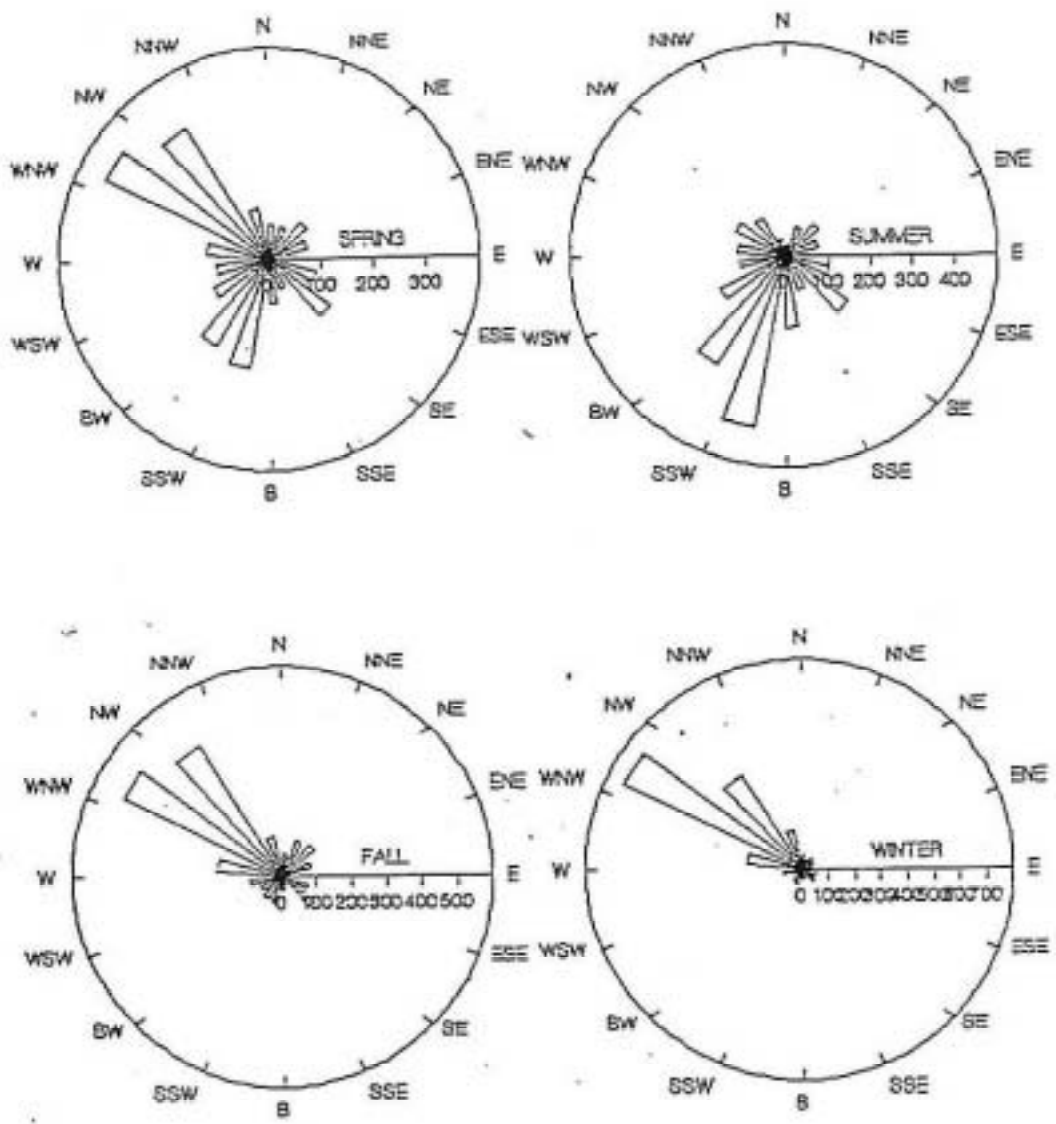


Fig. 3 Diurnal variation of Meteorological factors.

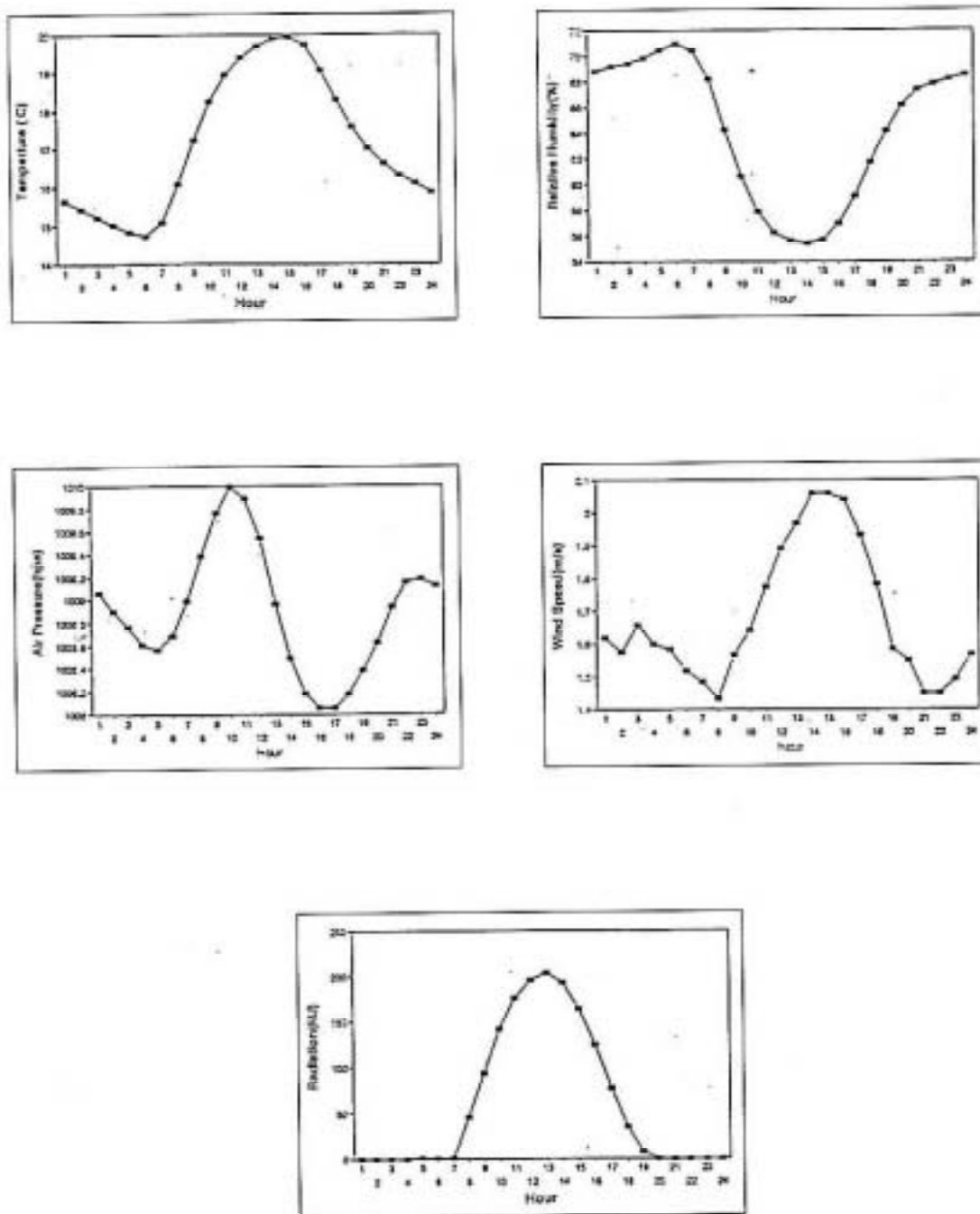


Fig. 4 Wind direction in season



## 2. 대기오염농도와 기상인자의 상호관련성

1995년 1월부터 1996년 12월까지의 광안동 지점에서 측정된 대기오염농도와 기상인자와의 상호관련성을 검토하기 위해 상관분석과 다변량통계분석 중 인자분석 및 회귀분석을 실시하였다.

### 1) 상관분석

대기오염농도와 기상인자들 사이의 상관관계를 Table 3 ~ 6에 나타냈다. 계절에 따른 상관계수를 살펴보면 봄철에는  $\text{SO}_2$ 와  $\text{NO}_2$ , CO, 대기압 사이에 0.6이상으로 양(+)적으로 높은 관련성을 보였고  $\text{O}_3$ 와 음(-)적으로 높은 상관성을 나타냈다. 또  $\text{O}_3$ 와  $\text{NO}_2$ , CO와도 음적상관관계가 0.5이상의 관련성을 보였고 기온 및 풍속, 일사량간에 양적으로, 상대습도와는 음적인 높은 관련성을 나타냈다.

여름철에는  $\text{SO}_2$ 와  $\text{NO}_2$ , CO 및 기압간에 높은 관련성을 나타냈고,  $\text{O}_3$ 는 풍속과 온도 및 자외선간에 0.8이상의 높은 상관성을 보였고 습도와는 -0.896의 높은 관련성을 보였다. 가을철의 경우도 여름철과 비슷한 경향을 보여주고 있다.

겨울철의 경우  $\text{SO}_2$ 와  $\text{NO}_2$ , CO, 기압사이에는 양적인 관계를 나타냈고 다른 계절과는 달리 기온과는 음적인 상관관계가 높아 기온저하로 인한 난방연료의 사용량의 증가에 따른 것으로 생각된다.

또 전계절에 있어서 기압과 1차오염물질 간에 높은 관련성을 보이는 것은 고기압 상태일때는 일반적으로 대기가 안정되고 바람이 약하게 되어 배출원에서 배출된 오염물질이 확산되지 못하고 정체되는 원인으로 생각된다. 또 전계절에 있어서  $\text{SO}_2$ 와  $\text{NO}_2$ , CO와 일사량과는 매우 낮은 상관관계를 보인 반면  $\text{O}_3$ 와 일사량은 높은 상관관계를 보였다. 이는 시간별  $\text{O}_3$  농도의 변화추세에서 일사량이 가장 높은 시간대에  $\text{O}_3$ 의 농도가 최대로 나타내고 있는 것과 관련이 있는 것이라 할 수 있다.

대기오염농도가 발생원에서의 배출특성과 기상인자에 의한 확산효과에 의해서 좌우된다는 사실을 고려할 때 단순상관분석만으로는 이러한 오염도 지배인자의 영향이 복합되어 있는 현상을 명확히 나타낼 수 없을 것으로 생각되며, 따라서 인자분석 및 중회귀 분석에 의하여 좀더 명확하게 검토할 필요가 있다고 생각한다.

Table 3. Correlation coefficient between air pollution and meteorology parameters in spring

	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	CO	W.S	TEMP	HUM	W.S	RAD
SO <sub>2</sub>	1.000									
NO <sub>2</sub>	0.654	1.000								
O <sub>3</sub>	-0.565	-0.570	1.000							
PM <sub>10</sub>	0.250	0.199	0.432	1.000						
CO	0.897	0.726	-0.511	0.199	1.000					
W.S	-0.287	-0.415	0.911	0.640	-0.276	1.000				
TEMP	-0.055	0.035	0.761	0.838	-0.011	0.861	1.000			
HUM	-0.107	0.115	-0.710	-0.887	-0.053	-0.876	-0.918	1.000		
AP	0.625	0.401	-0.269	0.659	0.512	0.057	0.222	-0.395	1.000	
RAD	0.188	-0.096	0.607	0.893	0.089	0.806	0.855	-0.979	0.530	1.000

Table 4. Correlation coefficient between air pollution and meteorology parameters in summer

	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	CO	W.S	TEMP	HUM	W.S	RAD
SO <sub>2</sub>	1.000									
NO <sub>2</sub>	0.541	1.000								
O <sub>3</sub>	-0.066	-0.161	1.000							
PM <sub>10</sub>	0.676	0.451	0.469	1.000						
CO	0.749	0.696	-0.448	0.392	1.000					
W.S	-0.021	-0.003	0.962	0.519	-0.414	1.000				
TEMP	0.388	0.173	0.875	0.775	-0.017	0.879	1.000			
HUM	-0.334	0.141	-0.896	-0.760	-0.055	-0.895	-0.997	1.000		
AP	0.614	0.306	-0.244	0.570	0.674	-0.270	0.077	-0.066	1.000	
RAD	0.395	-0.056	0.834	0.781	-0.065	0.791	0.937	-0.936	0.221	1.000

Table 5. Correlation coefficient between air pollution and meteorology parameters in fall

	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	CO	W.S	TEMP	HUM	W.S	RAD
SO <sub>2</sub>	1.000									
NO <sub>2</sub>	0.929	1.000								
O <sub>3</sub>	-0.612	-0.566	1.000							
PM <sub>10</sub>	0.089	0.027	0.599	1.000						
CO	0.786	0.584	-0.656	-0.150	1.000					
W.S	-0.680	-0.650	0.947	0.460	-0.651	1.000				
TEMP	0.004	-0.010	0.773	0.893	-0.192	0.654	1.000			
HUM	0.009	0.035	-0.775	-0.911	0.212	-0.659	-0.996	1.000		
AP	0.663	0.443	-0.459	0.324	0.668	-0.523	0.020	-0.049	1.000	
RAD	-0.013	-0.174	0.629	0.893	-0.031	0.565	0.865	-0.887	0.324	1.000

Table 6. Correlation coefficient between air pollution and meteorology parameters in winter

	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	CO	W.S	TEMP	HUM	W.S	RAD
SO <sub>2</sub>	1.000									
NO <sub>2</sub>	0.653	1.000								
O <sub>3</sub>	-0.714	-0.717	1.000							
PM <sub>10</sub>	-0.114	0.071	0.530	1.000						
CO	0.828	0.670	-0.461	0.187	1.000					
W.S	0.250	-0.367	-0.113	-0.521	0.202	1.000				
TEMP	-0.525	-0.054	0.690	0.761	-0.196	-0.680	1.000			
HUM	0.480	0.110	-0.739	-0.853	0.152	0.625	-0.981	1.000		
AP	0.758	0.521	-0.713	0.207	0.685	0.363	-0.678	0.634	1.000	
RAD	-0.124	-0.153	0.660	0.931	0.141	-0.305	0.699	-0.816	-0.310	1.000

## 2) 인자분석

인자분석은 여러개의 변수가 얽혀 있는 현상으로부터 동질의 변화성을 갖는 변수들을 찾아내어 몇 개의 인자(factor)로 해석 할수 있게 한다.

Table 7~9까지는 대기오염농도와 기상인자를 입력자료로 하여 인자분석을 행하고 고유치(Eigen Value)와 공통도(Communality)를 구한 것으로 Table 7에서 보는바와 같이 고유치(Eigen Value) 1.0 이상인 인자가 봄, 여름, 가을철에는 2개, 겨울철에는 3개가 추출되었다. 계절별로 보면 모든 계절에서 고유치가 1.0이상인 인자가 갖는 누적기여율(cumulative percent)이 이상에서 인자수를 결정한다(William and Mattheu, 1984)는 조건에 적합했다.

인자가 갖는 특성이 좀더 명확하고 해석이 용이한 인자들로 구분하기 위해 고유치 1.0이상을 선정하여 각 인자별 인자부하량을 산출한 결과를 Table 8에 나타내었는데 전 계절에서 인자 1이 총분산의 50%이상을 설명하고 인자 2는 겨울철이 경우 총분산의 27.6%를 설명하여 가장 낮았고, 봄철에 35.5%를 설명하여 가장 높은 설명력을 가졌다.

Table 8과 9에 나타난 인자 1을 살펴보면 전계절에 있어서  $O_3$ ,  $PM_{10}$ 과 풍속, 온도, 자외선 및 습도가 한 그룹을 형성하고 있는 것으로 나타났다.  $O_3$ 와 온도, 습도, 자외선이 한 그룹을 형성하고 있는 것은  $O_3$ 가 대기중에서 광화학반응에 의해서 생성되는 2차 오염물질이기 때문에 온도가 높고 일사량이 많은 날에 농도가 높아지는 것으로 생각되며 습도는 일사량을 감소시키는 요인으로 생각된다.

또 인자 2에서는 1차오염물질인  $SO_2$ ,  $NO_2$ , CO와 기압이 한 그룹을 이루고 있는데 이는 난방연료나 자동차 등 배출원과 관련이 있을 것으로 생각되며 앞에서 언급한 바와 같이 기압이 이들 오염물질의 1일 주기 Pattern과 비슷해 오염물질의 정체 및 확산에 관여되어 있는 것으로 생각된다.

Varimax법에 의하여 인자회전시킨 결과 여름철에는 기압이 인자 2를 설명해주는 가장 큰 변수로 나타났고, 가을철에는 풍속의 감소가 1차 오염물질의 증가에 가장 큰 설명력을 보였는데 이는 바람의 감소로 인한 오염물질의 정체로 오염물질의 농도가 높아진 것으로 추정된다. 겨울철에 있어서 인자 3은 풍속에 의한 영향으로 나타났다.

Table 7. Eigen value in each season

Factor	Eigen Value			
	spring	summer	fall	winter
1	5.152	5.285	5.352	5.340
2	3.546	3.321	3.374	2.757
3	0.640	0.827	0.761	1.275
4	0.453	0.328	0.371	0.312
5	0.108	0.145	0.062	0.211
6	0.060	0.057	0.038	0.054
7	0.030	0.015	0.025	0.028
8	0.007	0.012	0.014	0.013
9	0.003	0.008	0.002	0.009
10	0.001	0.001	0.001	0.001

Table 8. Commuality percentage in each season

Factor	cummulative percent variation explained			
	spring	summer	fall	winter
1	51.5	52.9	53.5	53.4
2	87.0	86.1	87.3	81.
3	93.4	94.3	94.9	93.7
4	97.9	97.6	98.6	96.8
5	99.0	99.1	99.4	99.0
6	99.6	99.6	99.8	99.5
7	99.9	99.8	99.9	99.8
8	100.0	99.9	100.0	99.9
9	100.0	100.0	100.0	100.0
10	100.0	100.0	100.0	100.0

Table 12. Factor matrix in each season

Variable	spring		summer	
	Factor 1	Factor 2	Factor 1	Factor 2
SO <sub>2</sub>	-0.071	0.930	-0.414	-0.804
NO <sub>2</sub>	-0.201	-0.804	-0.180	0.695
O <sub>3</sub>	-0.801	-0.561	0.859	-0.491
PM <sub>10</sub>	0.862	0.412	0.833	0.469
CO	-0.100	0.897	-0.001	0.952
WIND SPEED	0.931	-0.271	0.868	-0.434
TEMPERATURE	0.942	0.060	0.990	-0.045
HUMIDITY	-0.980	-0.145	-0.988	0.085
AIR PRESSURE	0.320	0.771	0.161	0.790
RACIATION	0.946	0.231	0.956	-0.050

Variable	fall		winter		
	Factor 1	Factor 2	Factor 1	Factor 2	Factor 3
SO <sub>2</sub>	0.546	0.793	0.723	0.585	0.180
NO <sub>2</sub>	0.533	0.655	0.428	0.759	-0.459
O <sub>3</sub>	-0.979	-0.122	-0.884	-0.234	0.367
PM <sub>10</sub>	-0.714	0.638	-0.699	0.644	0.210
CO	0.614	0.606	0.470	0.773	0.319
WIND SPEED	-0.933	-0.243	0.529	-0.411	0.701
TEMPERATURE	-0.828	0.518	-0.912	0.305	-0.167
HUMIDITY	0.839	-0.520	0.931	-0.347	0.021
AIR PRESSURE	0.325	0.772	0.804	0.388	0.201
RADIATION	-0.748	0.577	-0.721	0.494	0.438

Table 9. Factor matrix in each season

Variable	spring		summer	
	Factor 1	Factor 2	Factor 1	Factor 2
SO <sub>2</sub>	-0.032	0.916	0.182	0.379
NO <sub>2</sub>	-0.108	0.533	0.027	0.125
O <sub>3</sub>	0.808	-0.435	0.958	-0.155
PM <sub>10</sub>	0.818	0.112	0.674	0.496
CO	-0.025	0.914	-0.206	0.469
WIND SPEED	0.920	-0.215	0.946	-0.207
TEMPERATURE	0.976	-0.050	0.973	0.052
HUMIDITY	-0.967	-0.091	-0.984	-0.060
AIR PRESSURE	0.207	0.388	-0.036	0.956
RACIATION	0.905	0.121	0.925	0.230

Variable	fall		winter		
	Factor 1	Factor 2	Factor 1	Factor 2	Factor 3
SO <sub>2</sub>	0.025	0.893	0.145	0.886	0.143
NO <sub>2</sub>	-0.030	0.989	0.127	0.834	-0.478
O <sub>3</sub>	0.736	-0.501	-0.659	-0.629	0.152
PM <sub>10</sub>	0.935	0.044	0.958	0.075	-0.254
CO	-0.144	0.489	-0.164	0.945	0.201
WIND SPEED	0.619	-0.585	0.302	0.050	0.945
TEMPERATURE	0.989	0.031	-0.712	-0.208	-0.429
HUMIDITY	-0.993	-0.007	0.827	0.204	0.344
AIR PRESSURE	0.126	0.346	0.252	0.636	0.184
RADIATION	0.923	-0.177	-0.986	-0.005	0.001

### 3) 다중회귀분석

대기오염농도의 영향인자를 알아보기 위하여 계절에 있어서 시간대별 대기오염 농도를 종속변수로 하고 나머지 대기오염물질과 기상인자를 독립변수(설명변수)로 한 단계식분석(Stepwise selection)방식에 의하여 중회귀분석을 실시하였고 그 결과는 Table 11에 나타내었다.

SO<sub>2</sub>에 대한 중회귀분석결과 봄철에는 설명변수로서 NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, 온도, 상대습도, 자외선이 선정되었다. 중회귀방정식에 의한 중회귀 방정식이 수정R<sup>2</sup>값이 0.975으로 나타나 매우 좋은 모형임을 보이며, 기온의 감소가 SO<sub>2</sub>의 발생량을 증가시키고 있음을 시사한다. 여름철에는 O<sub>3</sub>, 온도, 상대습도, 자외선이 설명변수로 선정되었고 수정R<sup>2</sup>값이 0.895로 나타났다. 또 가을철에는 NO<sub>2</sub>, CO, 온도, 상대습도가 선정되었고, 겨울철에는 NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, 온도, 자외선이 설명변수로 선정되었고 역시 봄과 마찬가지로 기온의 감소가 SO<sub>2</sub> 증가의 원인과 관련이 있는 것으로 나타났다. 수정R<sup>2</sup>값이 가을철에 0.979, 겨울철에 0.876으로 나타났다. 전체적으로 보면 난방연료나 자동차에서 주로 발생하는 오염물질인 NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> 및 CO SO<sub>2</sub> 발생량의 증가와 관련성을 가지는 것으로 나타났다.

계절에 따른 NO<sub>2</sub>에 대한 중회귀분석 결과 설명변수로서 SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, TEMP, 상대습도, 자외선이 설명변수로 선정되었고, 수정R<sup>2</sup>값이 각각 0.935에서 0.990으로 나타났다. 일차오염물질과는 양적인 상관성을 보였고 자외선과 오존과는 음적인 관련성을 나타내었다. 이는 자외선이 강할 때 일어나는 광화학 반응과 관련이 있는 것으로 추정된다.

계절에 따른 O<sub>3</sub>에 대한 중회귀분석 결과 설명변수로서 NO<sub>2</sub>, 온도, 자외선이 대부분을 차지했다. 수정R<sup>2</sup>값은 각각 0.966에서 0.995로 상당히 높게 나타났다. 전체적으로 O<sub>3</sub>이 NO<sub>2</sub>의 감소와 온도 및 자외선의 증가와 관련이 있는 것으로 나타났는데 이는 NO<sub>2</sub>가 태양광과 광화학반응하여 줄어드는 반면 2차오염물질인 O<sub>3</sub>의 증가에 기인한 것으로 생각된다.

PM<sub>10</sub>의 중회귀방정식을 보면 수정계수 R<sup>2</sup>값이 0.914에서 나타났고 설명변수로서 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, TEMP, 상대습도, 기압과 주로 관련성을 나타냈다.

CO의 중회귀방정식을 보면 수정R<sup>2</sup>값이 봄철에 최저값인 0.845에서 가을철에 최



고 값인 0.944로 나타났다. 선정된 설명변수로는 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, TEMP, 바람이 주종을 이루었으며 일차오염물질인 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>의 증가가 CO의 값의 증가에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Table 11. The constants of multiple regression for air pollution and meteorological factors

season	pollutants	regression equations	r <sup>2</sup>
spring	SO <sub>2</sub>	0.626NO <sub>2</sub> -0.199PM <sub>10</sub> -0.011CO-2.693TEMP-0.826RH+0.019RAD+93.682	0.975
	NO <sub>2</sub>	0.606SO <sub>2</sub> -0.498O <sub>3</sub> +0.120PM <sub>10</sub> +4.411TEMP+0.578RH-0.034RAD-68.037	0.990
	O <sub>3</sub>	-0.969NO <sub>2</sub> +4.535TEMP-1.318AP+1329.181	0.992
	PM <sub>10</sub>	-1.293SO <sub>2</sub> +0.597NO <sub>2</sub> -16.147WS-1.899RH+5.457AP-5294.784	0.972
	CO	19.403SO <sub>2</sub> +16.812TEMP-0.404RAD-4.957	0.845
summer	SO <sub>2</sub>	-0.451O <sub>3</sub> +6.812TEMP+2.614RH+0.014RAD-380.286	0.895
	NO <sub>2</sub>	0.301PM <sub>10</sub> +0.031CO+4.384WS+3.774TEMP+1.625RH-0.047RAD-252.742	0.935
	O <sub>3</sub>	-0.815SO <sub>2</sub> -0.285PM <sub>10</sub> +7.286WS+2.488TEMP+0.036RAD-29.172	0.978
	PM <sub>10</sub>	1.643NO <sub>2</sub> -3.604TEMP+0.115RAD+95.112	0.914
	CO	9.895NO <sub>2</sub> -162.722WS-20.134RH+2398.555	0.916
fall	SO <sub>2</sub>	0.497NO <sub>2</sub> +0.015CO-2.837TEMP-0.941RH+105.025	0.979
	NO <sub>2</sub>	-1.149O <sub>3</sub> -0.269PM <sub>10</sub> -0.018CO+5.632TEMP+2.289AP-0.061RAD-2332.584	0.982
	O <sub>3</sub>	-0.742NO <sub>2</sub> -0.187PM <sub>10</sub> -0.014CO+3.706WS+4.362TEMP+1.937AP-0.050RAD-1975.951	0.995
	PM <sub>10</sub>	-1.401NO <sub>2</sub> -1.766O <sub>3</sub> -0.048CO+10.016TEMP+7.037AP-0.076RAD-7130.175	0.966
	CO	26.403SO <sub>2</sub> -20.019NO <sub>2</sub> -12.539O <sub>3</sub> -8.814PM <sub>10</sub> +203.112TEMP+46.671RH+61.421AP-67221.240	0.944
winter	SO <sub>2</sub>	0.655NO <sub>2</sub> -0.226PM <sub>10</sub> -1.34TEMP-0.062RAD+11.530	0.876
	NO <sub>2</sub>	0.271SO <sub>2</sub> -0.88O <sub>3</sub> +2.048TEMP+1.513AP-1499.113	0.959
	O <sub>3</sub>	-0.854NO <sub>2</sub> +3.481WS+2.293TEMP+1.487AP-1475.239	0.966
	PM <sub>10</sub>	-6.567WS-8.580TEMP-3.658RH+5.020AP-4856.147	0.981
	CO	15.104SO <sub>2</sub> +7.07NO <sub>2</sub> +225.903WS+34.367TEMP+44.416AP-45382.776	0.917

## V. 요 약

본 연구에서는 1995년 1월 1일부터 1996년 12월 31일까지 2년간 평안동지역의 대기오염자동측정소에서 측정된 시간별 대기오염자료 및 기상자료를 이용하여 시간별, 계절별 변화특성을 살펴보고, 계절별로 시간대별 대기오염자료와 기상자료를 이용하여 상관분석과 다변량통계기법 중 인자분석 및 중회분석을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 오염물질 및 기상인자의 일변화를 보면 1차오염물질인  $SO_2$ ,  $NO_2$ , CO의 일변화와 대기압의 일변화가 거의 비슷한 Pattern을 보여주었고,  $O_3$  과 온도 및 일사량의 변화 Pattern이 관련성이 있는 것으로 나타났다.
- 2) 상관분석을 실시한 결과 봄, 여름, 가을에 있어서  $SO_2$ ,  $NO_2$ , CO와 기압사이에 0.6이상의 관련성을 가졌고, 여름철에는  $O_3$ 와 풍속, 온도, 자외선간에 0.8이상의 상관성을 나타내었고 습도와는 음적인 상관성이 -0.896으로 나타났다. 또 겨울철에는  $SO_2$ 와 온도와 음적으로 높은 상관성을 나타내었다.
- 3) 인자분석을 실시한 결과 고유치가 1.0이상인 인자가 봄, 여름, 가을철에 2개가 추출되었고 겨울철에는 3개가 추출되었다. 또한 전 계절에 있어서 고유치 1.0 이상인 인자의 누적기여율이 80%이상으로 나타났다. 전계절에 있어서 인자 1은  $O_3$ ,  $PM_{10}$ , 온도, 습도, 자외선에 의해 설명되는 인자로서 이는 광화학반응에 의한 생성기전과 관련이 있는 것으로 생각된다. 인자 2는  $SO_2$ ,  $NO_2$ , CO와 대기압이 한그룹을 이루고 있는데 이는 난방연료나 자동차등 배출원에 의한 영향과 대기압의 변화에 따른 오염물질의 정체와 확산과 관련이 있는 것으로 생각된다. 한편 겨울철에 있어서 인자 3으로 바람이 선정되었다.
- 4) 계절별로 단계별 회귀에 의한 중회귀분석을 실시한 결과 수정 $R^2$  값이  $SO_2$ 가 0.876~0.979,  $NO_2$ 가 0.935~0.990,  $O_3$ 가 0.966~0.995,  $PM_{10}$ 이 0.914~0.981 그리고 CO가 0.845~0.944로 상당히 높게 나타나 이 지역의 특성에 맞는 대기오염과 기상인자간의 좋은 중회귀 모델로 나타났다.  
이를 기초로 하여 타 지역에서도 지역특성에 맞게 적용하면 대기오염과 기상

인자간의 상호관련성 규명 및 대기오염 예조체제 개발을 위한 기초자료를 제공할것으로 생각한다.

## 참고문헌

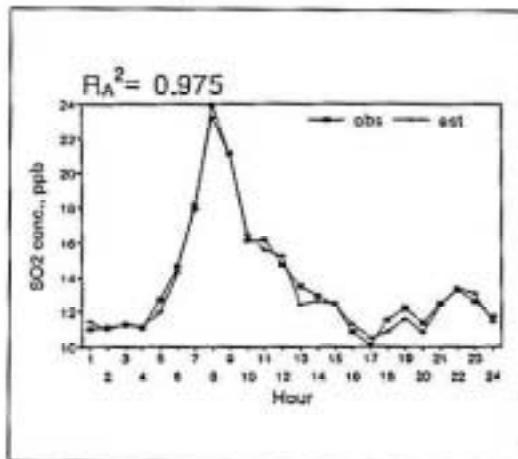
- 1) 강병서, 다변량통계학, 범문사, (1990)
- 2) 기상청, 기상월보, (1995, 1996)
- 3) 김기영, 전명식, 다변량통계자료분석, 자유아카데미, (1994)
- 4) 김용준, 현업기능한 서울지역의 일 최고 대기오염도 예보모델 개발연구, 한국대기보전학회지, 13(1), 79-89,(1997)
- 5) 김해경, 대기오염농도에 관한 확률모델, 한국대기보전학회지, 7(2), 127-136,(1991).
- 6) 동아대학교 환경문제연구소, 부산광역시 대기오염 관련 조사연구 (1996).
- 7) 부산광역시, 부산시 주요간선도로 교통량조사, (1995)
- 8) 신제경, 문승호, 다변량통계해석입문, 자유아카데미, (1996).
- 9) 신찬기, 한진석, 김운신, 대기오염농도와 기상인자의 관련성 연구, 대기보전학회지, 8(4), 213-220(1992)
- 10) 전병일, 김유근, 이화운, 부산지역의 SO<sub>2</sub> 농도변화 특성에 관한 고찰, 한국대기보전학회지, 10(4), 245-251, (1994).
- 11) 전병일, 김유근, 이화운 부산지역의 오존농도를 특성과 기상인자에 관한연구, 한국대기보전학회지, 11(1), 45-56, (1995).
- 12) 전병일, 부산연안역의 고농도 오존일의 예측기법 개발과 오존농도 수치모의, 부산대학교 박사학위논문, 1-5, (1997).
- 13) 정 용, 장제연, 권숙표, 서울시 대기 중 오존의 오염도와 그 영향인자 분석,

한국대기보전학회지, 2(1), 73-79 (1986).

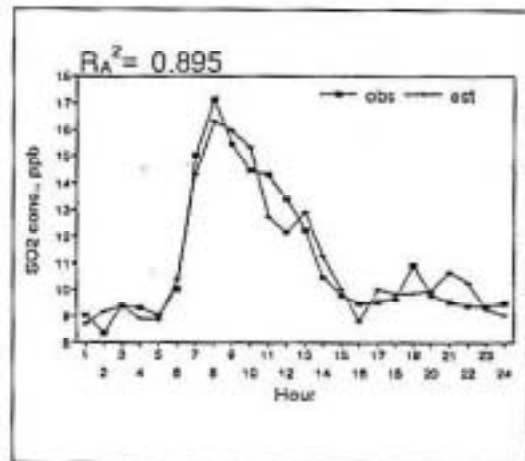
- 14) 정용승, 정재섭, 서울 수도권 지역의 광화학 오존에 관한연구, 한국대기보전학회지, 7(3), 169-179(1991).
- 15) 허정숙, 김동습, 다변량 통계분석을 이용한 서울시 고농도 오존의 예측에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 9(3), 207-215(1993).
- 16) The System for Statistics, Systat Inc, (1990).
- 17) Cassmassi, J.C.(1987) Development of an objective ozone forecast model for the South Coast Air Basin, Proccedin of the 80th Annual Meeting of APCA, june 21-26, 1987, New York, U.S.A
- 18) Coun. M.etal(1975), photochemical oxidants:sources, sink and strategies Journal of Air pollution Contl Association, Vol. 25, NO.1, 16-18.
- 19) Garnett A,(1980), Recent trends in sulphurdioxide air pollution in the Sheffield Urbon region. Atmospheric Envin., 14, 787-796.

Appendix. 1 Variation pattern of observed SO<sub>2</sub> concentration and estimated ones in season.

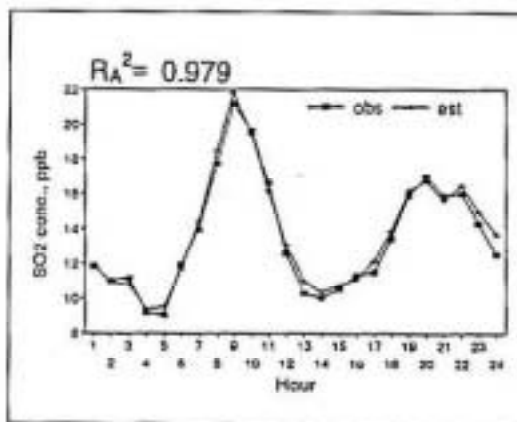
a) spring



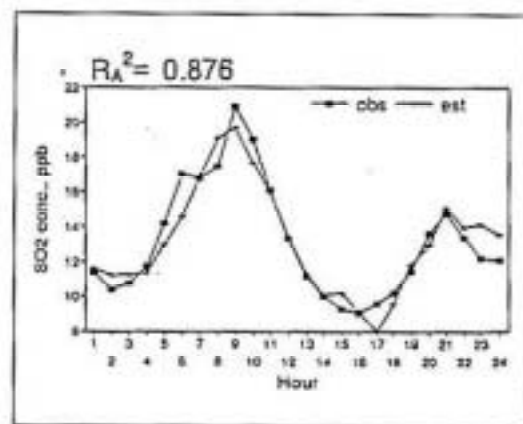
b) summer



c) fall

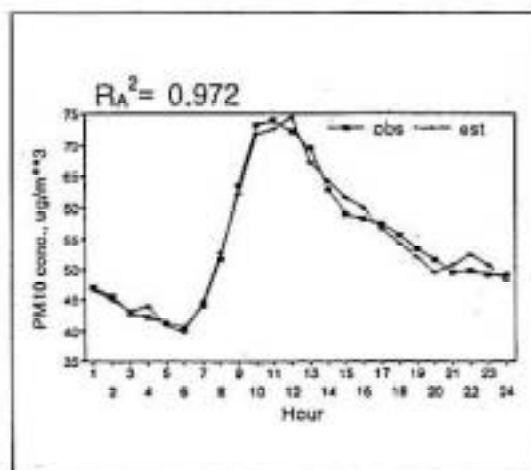


d) winter

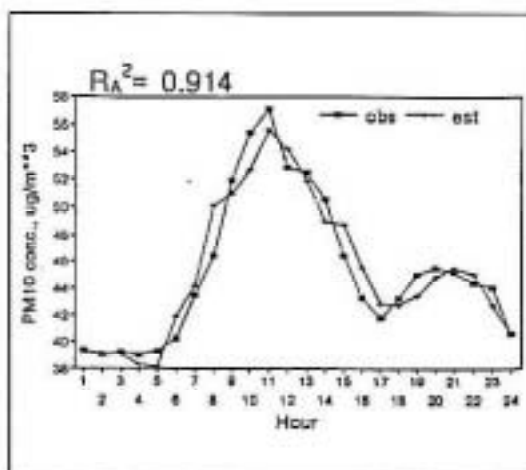


Appendix. 2 Variation pattern of observed NO<sub>2</sub> concentration and estimated ones in season.

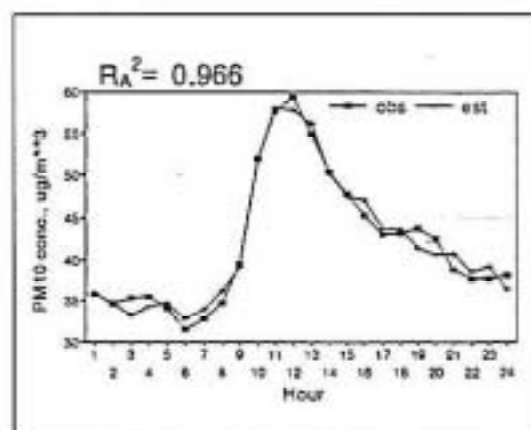
a) spring



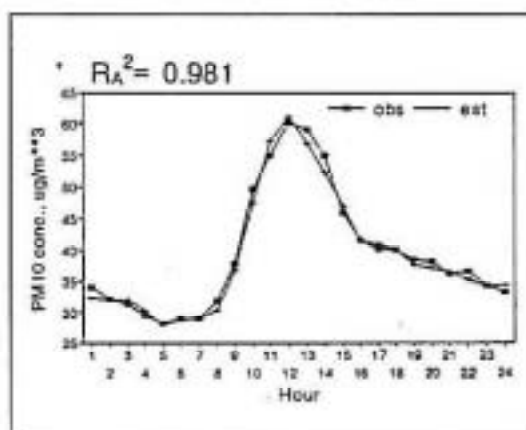
b) summer



c) fall

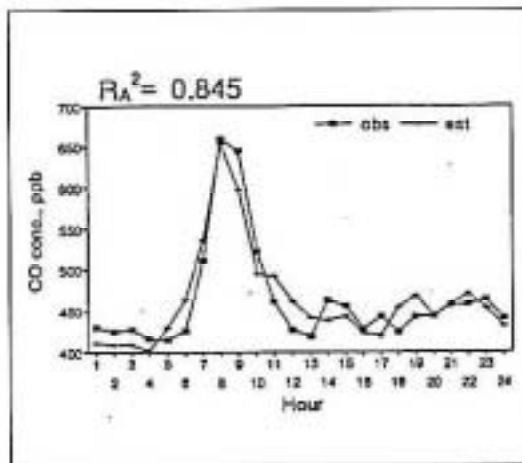


d) winter

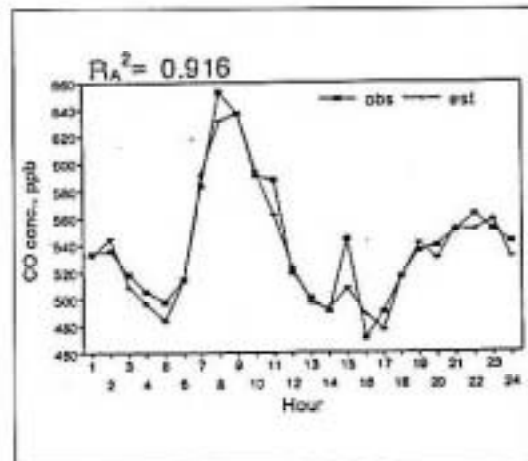


Appendix. 3 Variation pattern of observed O<sub>3</sub> concentration and estimated ones in season.

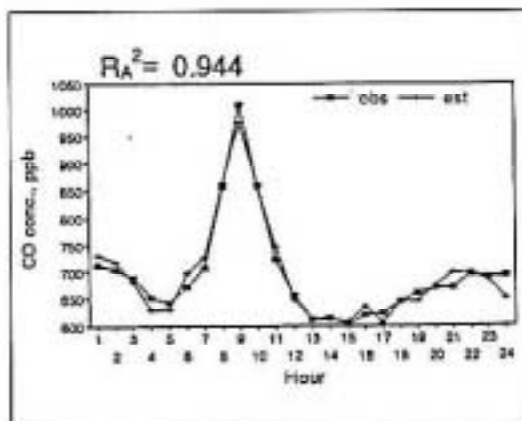
a) spring



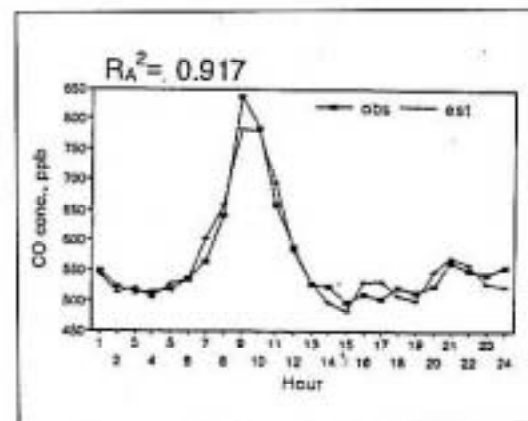
b) summer



c) fall

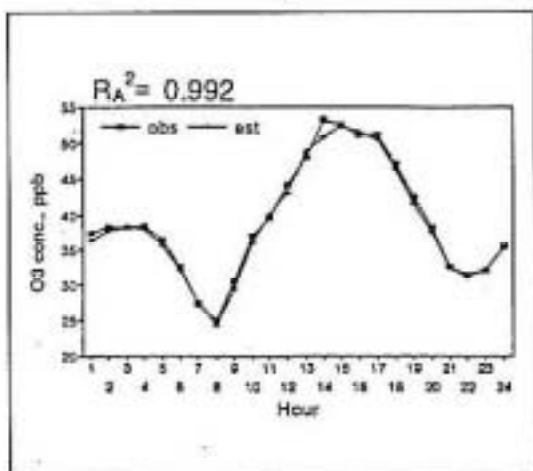


d) winter

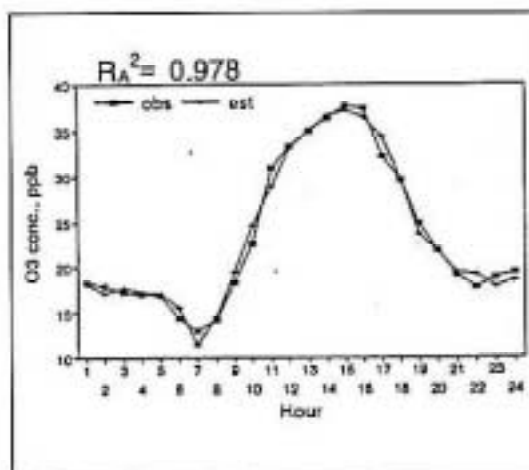


Appendix. 4 Variation pattern of observed  $PM_{10}$  concentration and estimated ones in season.

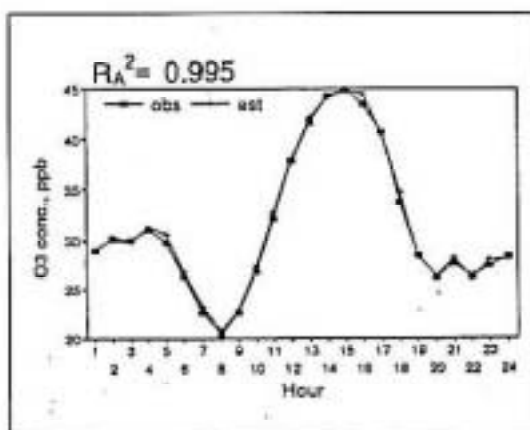
a) spring



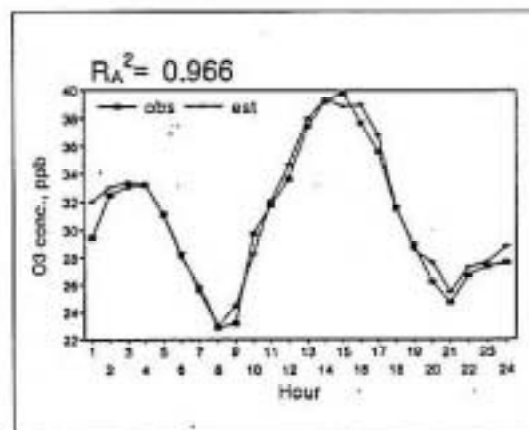
b) summer



c) fall



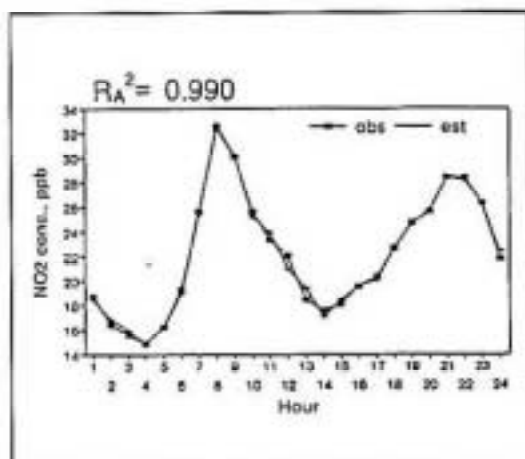
d) winter



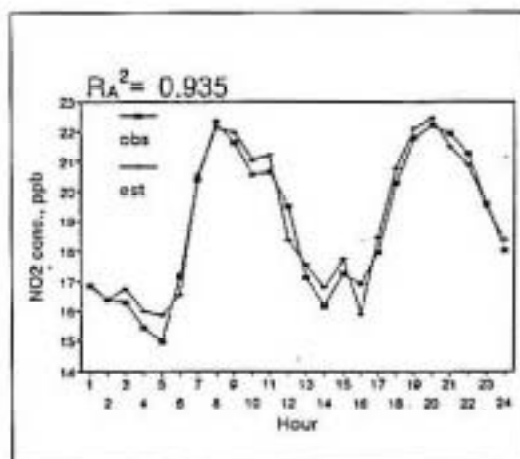


Appendix. 5 Variation pattern of observed CO concentration and estimated ones in season.

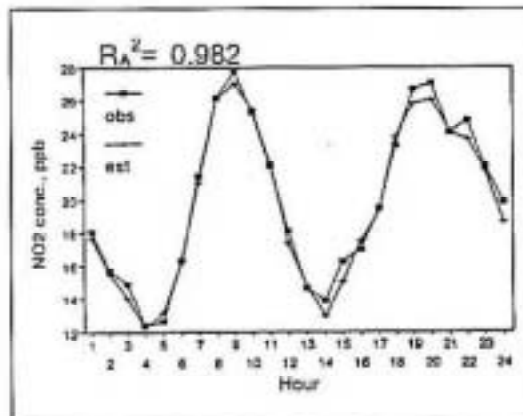
a) spring



b) summer



c) fall



d) winter

