

# (다중회귀분석을 통한) 서울시 일부 지점의 대기오염물질 농도와 기상인자간의 상관성분석

대기측정망관리팀

서광석 · 김흥주 · 안경수 · 정호진 · 이용민 · 박창호 · 김정연 · 조석주 · 어수미

## **Analysis of the Relation Between Air Pollutants and Meteorological Factors in Specific Site in Seoul (Through Multiple Regression Analysis)**

*Air Quality Monitoring Team*

**Kwang-suk Seo, Heung-ju Kim, Kyoung-soo Ahn,  
Ho-jin Jeong, Yong-min Yi, Chang-ho Park, Jeong-yeon Kim,  
Seog-ju Cho and Soo-mi Eo**

### **Abstract**

This study was performed to determine the relationship between air pollutants and meteorological factors such as wind direction, wind speed, etc. in Seoul. The measurement data were collected in background and border monitoring networks in Seoul, from December 2014 to November 2015. The wind rose was generated for each season using these data. The data were analyzed using the 2-Way ANOVA and multiple regression analysis. Gwanaksan had the highest wind speed across the four seasons, while Namsan had the lowest. Segok had the highest concentration of all pollutants except O<sub>3</sub>, while Bukhansan had the lowest. In Gwanaksan, there was no difference in concentration due to the interaction between wind direction and wind speed during winter, while in Namsan, there was no difference during the rest of the seasons, except winter. NO<sub>2</sub> and CO showed a negative correlation with wind speed, while O<sub>3</sub> showed a positive correlation with wind speed and pollutant concentration. PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> showed a weak correlation with wind speed, except during summer, when they showed a negative correlation. Gungdong had the lowest adjusted Ra<sup>2</sup> value among all the pollutants except during winter, while Segok had a higher adjusted Ra<sup>2</sup> value for gaseous pollutants.

**Key words** : air pollutants, meteorological factor, wind rose, ANOVA, multiple Regression

## 서론

도시지역의 대기오염 농도를 지배하는 요인 중에서 대기오염물질 배출원을 제외하고 가장 영향을 많이 주는 요소는 기상인자로 알려져 있으며, 기상인자 중 특히 풍향과 풍속이 대기오염물질 이동에 영향을 주고 있다(1). 기상조건의 변화는 대기오염물질의 발생, 수송, 확산과 침착에 영향을 준다. 반대로 오존과 미세먼지와 같은 대기오염물질은 건강에 영향을 주는 동시에 기후변화에 영향을 준다. 특히 오존은 중요한 지구온난화 물질이고, 먼지입자들은 지면으로 도달하는 태양복사를 차단과 반사하거나 흡수하는 성질을 가지고 있어 기후에 영향을 준다. 기후와 기상은 부분적으로 식물과 나무와 같은 식생에 영향을 주며 자연적 배출원으로 부터 생성되는 전구물질들의 배출에 영향을 주어 미세먼지와 오존에 직접적으로 영향을 준다. 그러나 기후와 대기오염은 분리된 문제로 종종 다루어지고 있지만, 함께 고려되고 연구되어야 할 과제이다(2). 따라서 대기질의 파악과 예측을 위해서는 그 당시의 기상조건이 중요한 변수로 작용하며, 도시지역의 대기질을 지배하는 주요 인자로 풍속, 기온, 강수량, 대기안정도 등이 거론되어져 왔다.

대기오염현상에 대한 효율적인 규제 및 방지와 체계적이며 종합적인 대기오염관리를 위해서는 대기오염 측정장비에 의한 오염현황을 정확하게 파악하는 것이 필수적으로 선행되어야 한다. 대기오염 자동측정장비는 그 지역의 대기질을 연속적으로 측정하여 대기오염정보체계 구축, 대기오염 방지대책 수립을 위한 기초자료 제공, 환경기준 달성여부의 판단자료, 대기예측모형의 보정자료 제공 및 대기오염물질 배출원 감시 등 여러 가지 목적으로 설치되어 운영된다. 대기오염현상은 배출원 및 기상인자 그리고 지역의 지형적인 특성에 따라 달라지므로, 계절에 따른 연료사용량의 변화, 1일 주기로 일어나는 오염원 및 기상학적인 관련성이 대기오염농도에 큰 영향을 미친다(3).

서울의 풍향 및 풍속의 특성을 살펴보면, 서울을 포함한 수도권 지역은 주로 시베리아, 중국의 대륙성 기후계와 남태평양의 온습한 해양성 기후

계의 상호 작용에 의한 영향을 많이 받고 있으며, 주풍향은 과거 10년간 큰 차이 없이 북동풍과 동북동풍 계열 및 서풍과 서남서풍 계열이 각 25~32%와 22~33%의 빈도를 차지하고 있고, 풍속은 과거 10년간 연평균 2.6 m/sec로 나타났다. 서울은 북쪽에 북한산과 도봉산, 북동쪽에 수락산과 불암산, 동쪽에 아차산, 남쪽에 관악산, 청계산 등이 자리 잡고 있고 서쪽이 열려있는 역 U자형(ㄱ) 구조를 갖고 있어서 서쪽 또는 북서쪽에서 운반되어 온 오염물질이나 서울에서 발생한 오염물질이 정체되기 쉬운 지형 구조를 갖고 있다(1).

따라서 본 연구에서는 서울시 대기오염측정망 중 배경 및 경계 지점을 중심으로 2014년 12월부터 2015년 11월까지 매 시간별로 측정된 대기오염물질 자료 및 기상자료를 이용하여 계절별로 이들 기상인자가 대기오염에 미치는 영향을 분산분석 및 다중회귀분석을 통해 알아보고, 향후 서울시 대기오염 저감대책 수립 및 효율적인 대기질 관리를 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

## 연구 방법

### 1. 자료선정

본 연구는 서울시 소재 대기오염측정망 45지점 중 풍향 및 풍속이 주변 건물들의 영향을 비교적 적게 받는 배경측정망 3지점과 경계측정망 3지점을 선정하였으며, 대기오염물질 및 기상인자는 표 1에 나타내었다. 대기오염물질 및 기상자료는 5분마다 측정된 값을 산술평균한 시간평균치이며, 서울시 풍향, 풍속 측정값은 서울기상관측소(종로구 송월길 52)의 자료를 활용하였다. 본 연구에서 사용된 자료는 2014년 12월부터 2015년 11월까지의 것들로서 자료의 신뢰성을 고려하여 하루 중 70% 이상 측정된 자료만 이용하였다. 서울은 계절별 풍향과 풍속의 변화가 뚜렷이 구별되기 때문에 각 지점의 측정값을 계절별(12월~2월, 3월~5월, 6월~8월, 9월~11월)로 구분하여 평가하였다. 또한 풍향 및 풍속의 상관관계를 객관적으로 평가하기 위해 황사 및 강우 등 특별 요인을 제외한 날의 자료를 이용하였다. 풍속은 분산분석 및

바람장미 작성을 위해 측정값을 표 2와 같이 8구간으로 구분하였다.

대기오염물질 자동측정망의 장비는 관악산(GA), 북한산(BH), 세곡(SG), 행주(HJ)가 미세먼지 Thermo (US), 가스상 ECOTECH(Australia)이며, 남산(NS)은 미세먼지와 가스상 모두 KIMOTO (Nippon), 궁동(GD)은 미세먼지와 가스상 모두 Environment SA(France) 장비이다.

기상장비는 관악산, 북한산, 세곡, 행주가 METONE (US), 남산이 R.M.YOUNG(US), 궁동이 LSI (Italy)이다.

## 2. 자료의 통계처리

풍향과 풍속의 교호작용을 통한 대기오염물질의 차이를 분석하기 위해 이원배치분산분석(2-way ANOVA)을 하였으며, 기상인자와 대기오염물질 간의 다중회귀분석을 위해 SPSS Program을 이용하여 통계처리 하였다. 회귀분석은 변수상호간의 관계를 표본으로부터 추정하는 방법으로 다중회귀분석은 종속변수가 1개이고, 독립변수가  $n \geq 2$  이상인 경우로, 일반적인 모형의 형태는 아래와 같다.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_p X_{pi} + \varepsilon_i, \\ i = 1, 2, \dots, n$$

여기서,  $Y_i$ 는 종속변수(Dependent Variable)

또는 반응변수(Responsible Variable)이고,  $X_{1i}$ ,  $X_{2i}$ ,  $X_{pi}$ 는 독립변수(Independent Variable) 또는 설명변수(Explanatory Variable)이며,  $\varepsilon$ 는 확률변수로 오차항이라고 부른다(3).

한편, 최적모형의 결정을 위한 변수 선택으로는 입력, 단계 선택, 제거, 후진, 전진의 방법이 있는데 단계 선택이 가장 보편적으로 사용된다. 이 방법은 첫 번째 변수는 앞으로부터의 선택에 따라서 얻어지고 두 번째 변수는 가장 큰 편상관계수를 갖는 변수가 선택된다. 단계별 선택에서 최적모형의 결정은 결정계수가  $R^2$ 값의 증가가 둔화되는 경우 또는 수정된  $Ra^2$ (adjusted R square)값이 최대가 되는 경우를 선택한다. 입력은 한 번에 지정된 변수들을 모두 진입시키고, 제거는 변수들을 한 번에 탈락시킨다. 후진은 모든 변수들을 진입시킨 후 기준에 따라 변수 하나씩을 제거시키며, 전진은 기준에 따라 하나씩 진입시킨다(10).

## 결과 및 고찰

### 1. 풍향(Wind Direction) 및 풍속(Wind Speed)

2015년 각 지점별, 계절별 풍향과 서울기상관측소(Seoul weather station)에서 측정된 풍향을 그림 1의 풍배도로 나타내었다. 각 지점별 주풍향은 관악산이 전 계절에 걸쳐 서풍과 서남서풍의

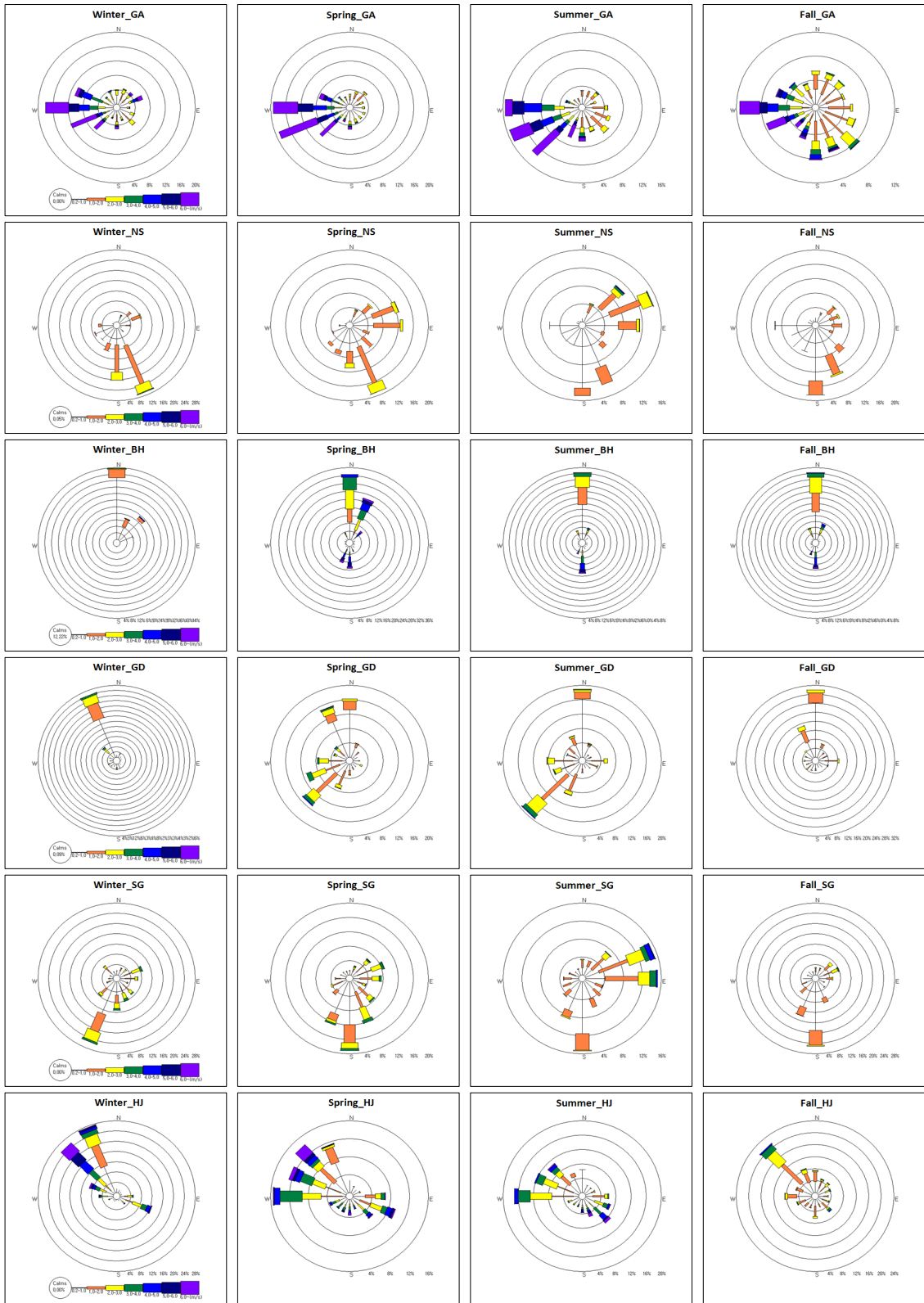
**Table 1.** Data of Air Pollutants and Meteorological factors

Period	Site	Pollutants	Meteorological factors
2014. 12.	Background network	Gwanaksan(GA)	Temperature(Temp) Humidity(HUM) UV
		Namsan(NS)	
		Bukhansan(BH)	
~			
2015. 11.	Border network	Gungdong(GD)	Wind Direction(WD) Wind Speed(WS)
		Segok(SG)	
		Haengju(HJ)	

**Table 2.** Classification of wind Speed

(Unit : m/sec)

Division	0(calm)	1	2	3	4	5	6	7
Wind speed	0~0.2	0.3~1.0	1.1~2.0	2.1~3.0	3.1~4.0	4.1~5.0	5.1~6.0	6.1 ~



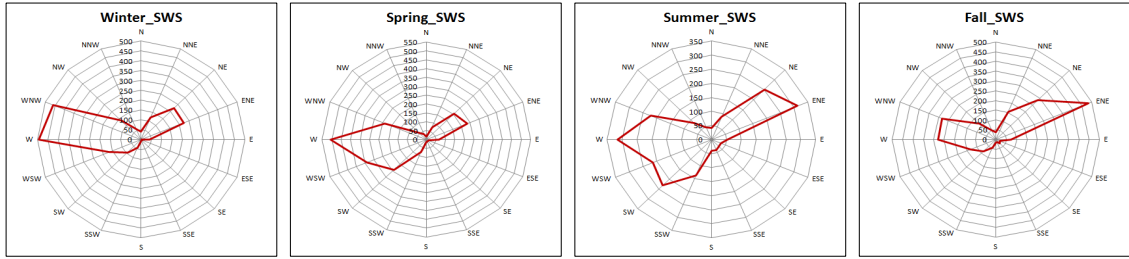


Fig. 1. The seasonal wind rose according to the site.

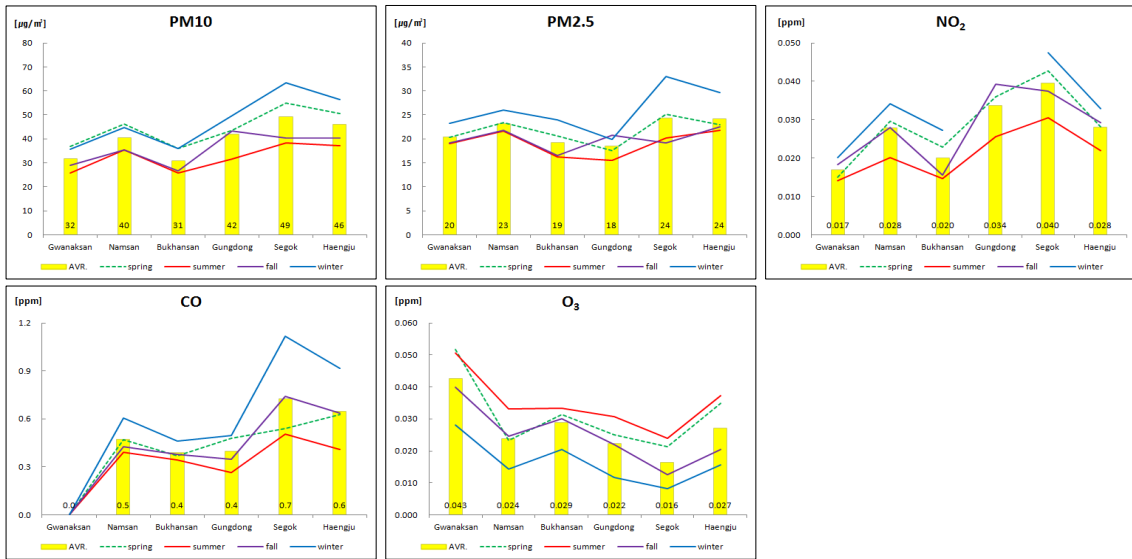


Fig. 2. The air pollutants seasonal concentration according to the site.

빈도가 높았으며 6 m/sec 이상의 강풍이 많았고, 남산은 남풍과 남남동풍 이었으나 여름에는 동북동풍의 빈도도 높았으며 풍속이 3 m/sec 이하로 낮았다. 북한산은 전 계절에 걸쳐 북풍이 주풍향으로 여름철을 제외하곤 풍속이 4 m/sec 이하가 대부분이었으며, 궁동은 겨울에 북북서풍, 봄과 여름은 북풍과 남서풍, 그리고 가을엔 북풍이 주풍향이었고 풍속이 3 m/sec 이하로 낮았다. 세곡은 겨울에 남남서풍, 나머지는 남풍의 빈도가 높았으나 여름철에는 4 m/sec 이상의 동풍과 동북동풍의 빈도도 높았다. 행주는 겨울에 북서풍과 북북서풍, 봄은 서풍과 북서풍, 여름에 서풍, 가을에 북서풍이 주풍향이었으며, 겨울과 봄에 6 m/sec 이상의 강풍이 많았다. 평균 풍속은 풍향 빈도에 따른 평균값으로 관악산이 전 계절에 걸쳐 풍속이 가장 높았고, 남산이 겨울을 제외하고 제일 낮았다.

서울을 대표하는 기상측정소의 풍향과 주풍향이 유사한 지점은 관악산이었으나 가을은 상관성이 없었다. 결국 서울의 대기오염물질과 기상인자와의 관련성을 연구하고자 할 경우 서울기상관측소의 풍향과 풍속 자료를 적용해서는 안 된다고 판단되었다.

## 2. 지점별 대기오염물질 농도

각 지점별 대기오염물질 농도를 계절별로 비교하여 그림 2에 나타내었다. PM10은 세곡 > 행주 > 궁동 > 남산 > 관악산 > 북한산 순으로 나타났으며, PM2.5는 세곡과 행주가 가장 높았고 다음으로 남산, 관악산, 북한산, 궁동 순이었다. NO2는 세곡 > 궁동 > 남산, 행주 > 북한산 > 관악산 순으로 나타났고, CO는 세곡 > 행주 > 남산 > 북한산, 궁동 순이었으며, O3은 관악산이 가장 높고 다

음으로 행주, 북한산, 남산, 궁동, 세곡 순이었다. 계절별로 다소 차이는 있지만 세곡은 O<sub>3</sub>이 가장 낮았으며, 나머지 항목은 가장 높게 나타났다.

### 3. 풍향별 대기오염물질 분포

각 지점의 풍향별, 계절별 대기오염물질 시간 평균 농도 분포는 그림 3과 같다. 그림 3에서 보는 바와 같이 관악산은 주풍향을 반영하여 미세먼지의 경우 겨울철, 서남서풍에서 높은 농도를 나타냈으나 가스상 물질은 주풍과는 상관성이 낮음을 볼 수 있었다. NO<sub>2</sub>는 가을과 겨울, O<sub>3</sub>은 봄과 여름이 높게 나타났다. CO는 측정 자료가 없었다.

남산은 주풍향과 오염물질 농도분포 간에 상관성이 없었으며, 미세먼지는 겨울철 북풍과 동남동풍에서 높게 분포되었다. NO<sub>2</sub>와 CO도 겨울철에 농도가 높았고, O<sub>3</sub>은 여름, 가을 순으로 높게 나타났다.

북한산 또한 주풍향과 오염물질 농도분포가 상관성이 없었으며, 오존을 제외하고 다른 오염물질들은 여름철에 농도가 낮게 분포되었다. 북한산은

산중턱에 위치하고 북쪽이 막혀있는 있어 풍향 변화도 심하지 않고 계절별 농도 차이 또한 크지 않는 것으로 사료되었다.

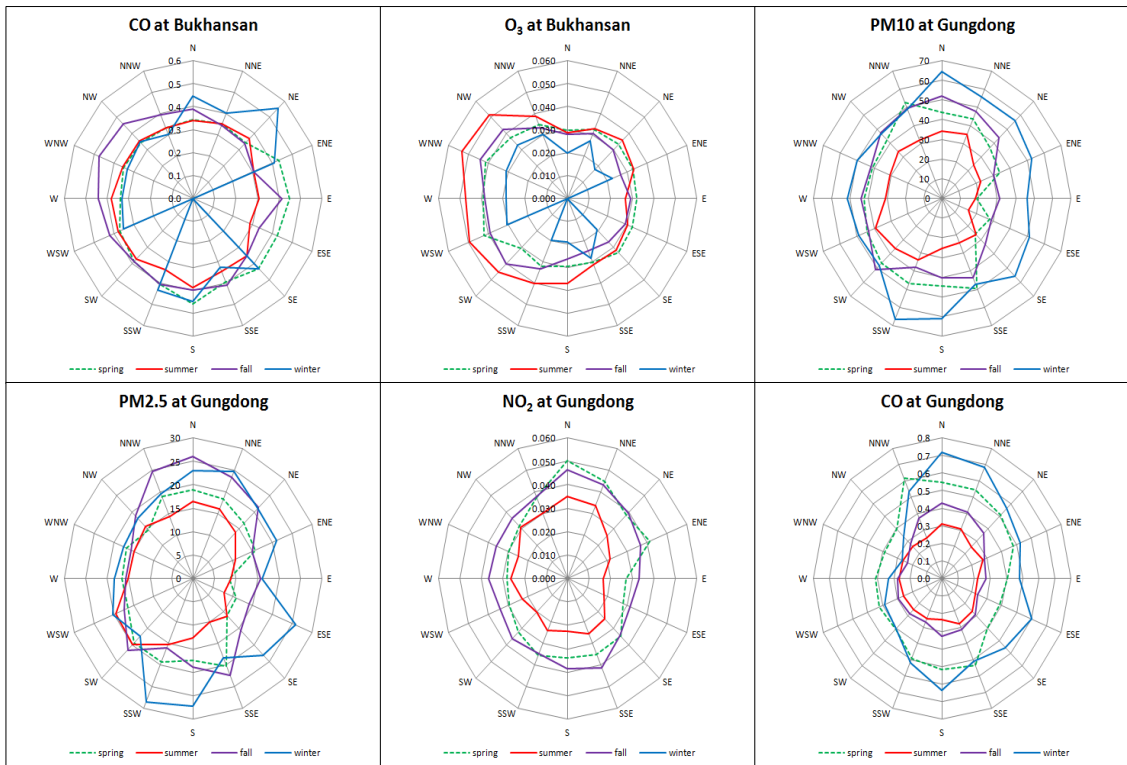
궁동은 미세먼지의 경우 주풍향의 빈도와 유사한 농도분포를 보였으나 오존의 경우는 반대의 분포를 보였다.

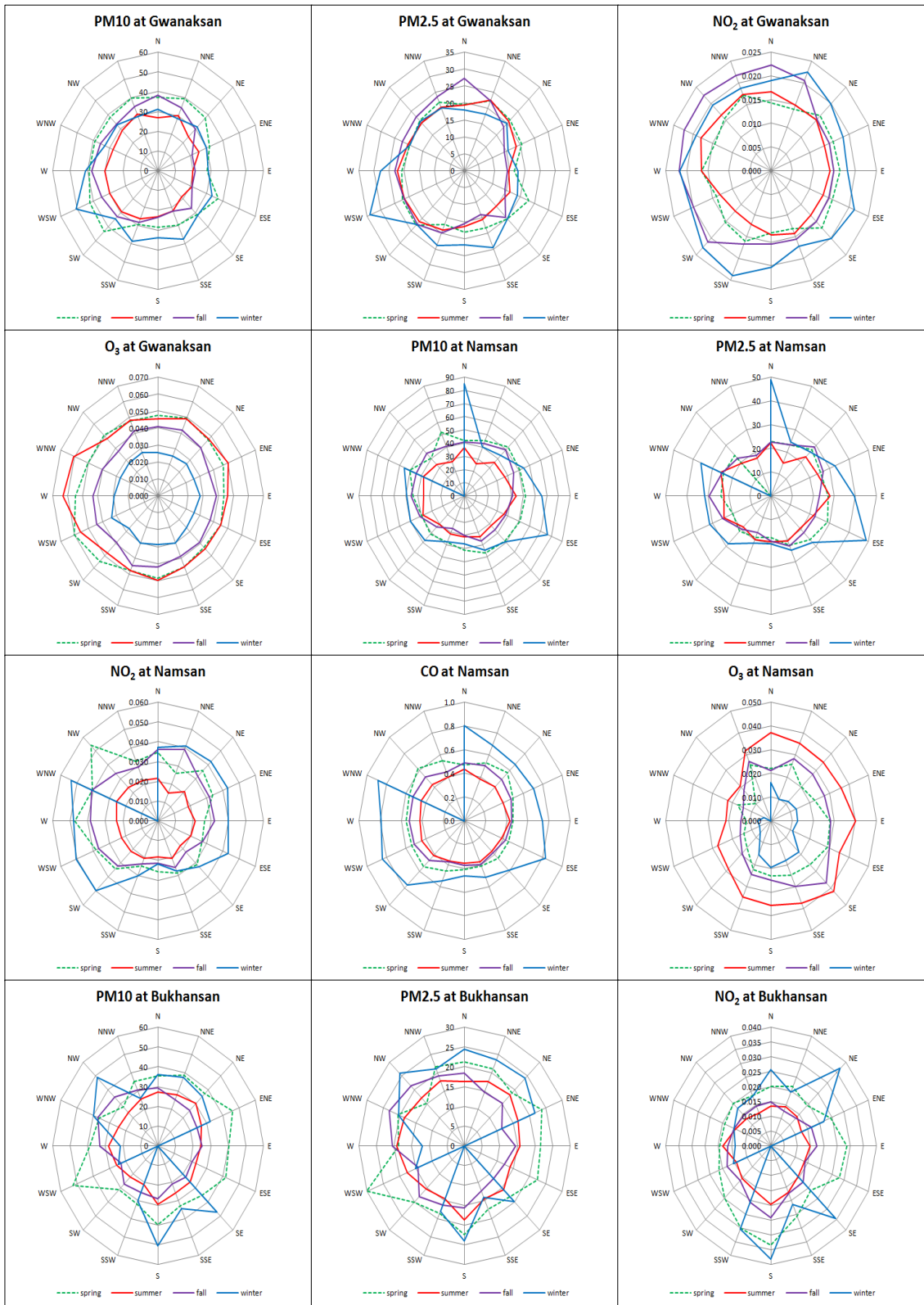
세곡과 행주는 전 방향에서 고른 농도 분포를 보였고 오존을 제외한 전 항목에서 겨울철이 가장 높게 나타났으며 오존은 여름철에 가장 높았다.

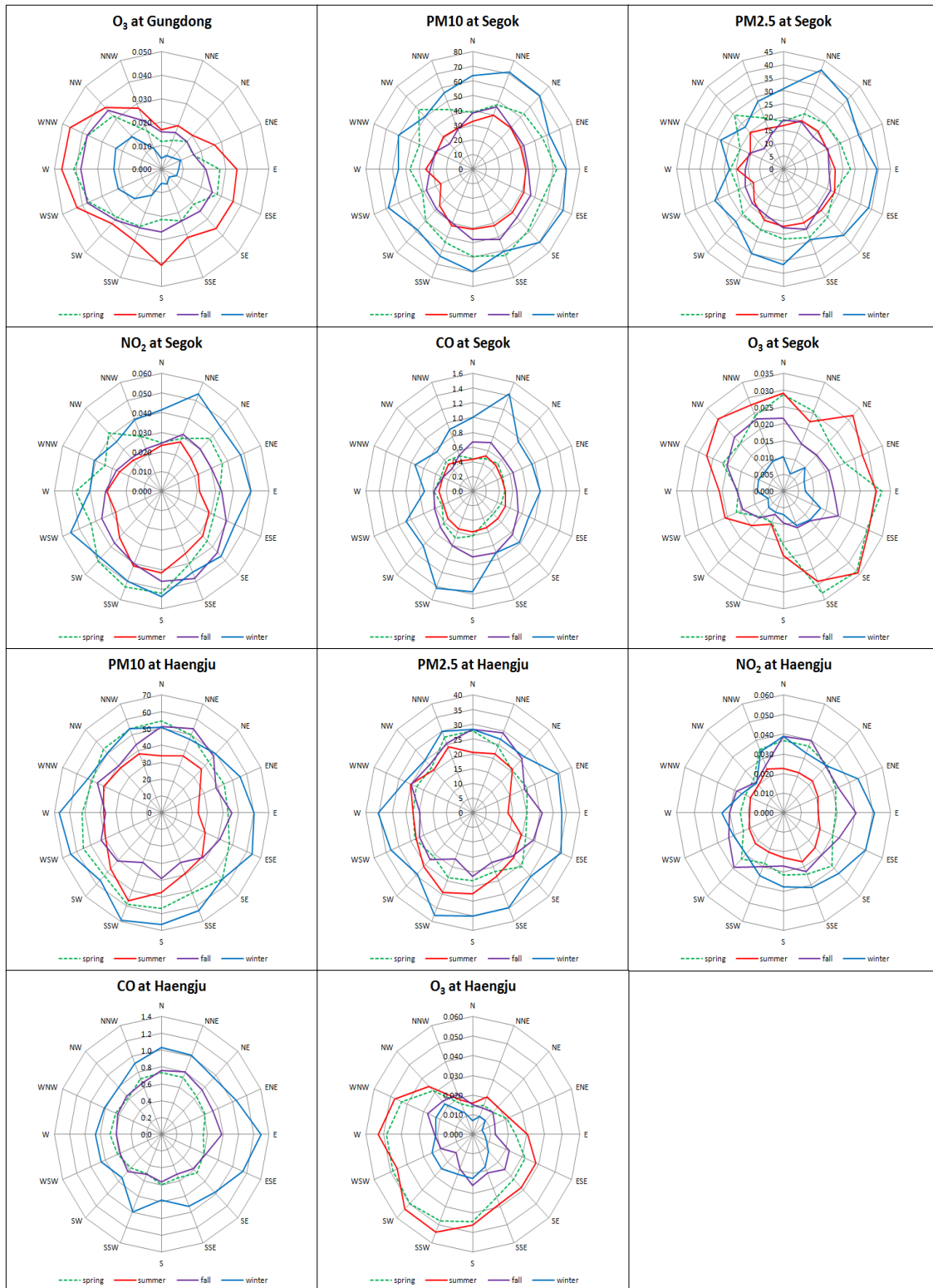
### 4. 풍향, 풍속간 교호작용에 따른 분산분석

풍향 및 풍속에 따라 대기오염물질의 농도에 차이가 있는 지 알아보기 위해 이원배치 분산분석(유의수준 5% 미만)을 실시하였으며, 풍속과 오염물질 농도 간의 상관분석(유의수준 1% 미만)을 하였다. 이원배치 분산분석을 위한 가설은 다음과 같다.

- 귀무가설 : 풍향(풍속)에 따라 오염물질의 농도에 차이가 없다.
- 풍향과 풍속의 교호작용이 없다.







**Fig. 3.** The air pollutants concentration according to the WD at the site.



- 대립가설 : 풍향(풍속)에 따라 오염물질의 농도에 차이가 있다.  
 풍향과 풍속의 교호작용이 있고 그에 따라 농도에 차이가 있다.

그 결과는 표 3과 같으며, 관악산은 겨울에 풍향과 풍속의 교호작용에 따른 농도 차이가 없었고, 나머지 계절은 교호작용에 따른 농도 차이가 있었다. NO<sub>2</sub>는 풍향과 풍속의 변화에 따른 농도 차이가 있었고 풍속과는 음의 상관관계를 보였으며 상관계수 R은 -0.112~-0.196으로 낮았다. O<sub>3</sub>은 여름과 가을에는 풍속에 따른 농도 차이가 없고, 겨울과 봄에는 풍속의 변화에 농도 차이가 있었으나 상관계수는 낮았다. PM10과 PM2.5는 여름과 가을에 풍향과 풍속의 교호작용에 따른 농도 차이가 있었으나 풍속과는 상관성이 낮았다.

남산은 겨울을 제외하고 나머지 계절에는 풍향과 풍속의 교호작용에 의한 농도 변화가 없었고, NO<sub>2</sub>와 CO는 전 계절에 걸쳐 풍속과 음의 상관관계, O<sub>3</sub>은 양의 상관관계가 있었다. R은 각각 -0.228~-0.511, -0.141~-0.399, 0.117~0.494로 겨울이 가장 높고, 여름이 가장 낮았다.

북한산은 겨울에 북풍, 북동풍, 북북동풍의 풍향 빈도가 73%로써 풍향에 따른 농도의 차이가 없었지만 PM2.5를 제외하고 나머지 물질은 풍향과 풍속의 교호작용으로 차이를 보였다. 그러나 가을에는 풍향 및 풍속별 농도 차이가 있었음에도 교호작용에 따른 차이는 나타나지 않았다. O<sub>3</sub>은 R이 0.262~0.478로 풍속과 양의 상관관계를 보였으나 남산과는 다르게 겨울이 가장 낮고, 여름이 높았으며, NO<sub>2</sub>와 CO는 상관성이 없었다.

궁동은 NO<sub>2</sub>가 봄, 여름 그리고 가을, CO가 가을과 겨울, PM2.5가 봄과 가을에 풍향과 풍속의 교호작용에 따른 농도 차이가 없었으며, 남산과 같이 NO<sub>2</sub>와 CO는 전 계절에 걸쳐 풍속과 음의 상관관계, O<sub>3</sub>은 양의 상관관계가 있었다. R은 각각 -0.387~-0.538, -0.23~-0.479, 0.44~0.702로 겨울이 높고, 여름이 낮았다. PM2.5는 여름을 제외하고 R이 -0.209~-0.255로 음의 상관성을 보였다.

세곡은 NO<sub>2</sub>가 여름, CO가 봄과 여름에 풍향과

풍속의 교호작용에 따른 농도 차이가 없었고 나머지는 농도 차이가 있었다. 남산과 궁동과 같이 NO<sub>2</sub>와 CO는 전 계절에 걸쳐 풍속과 음의 상관관계, O<sub>3</sub>은 양의 상관관계가 있었다. R은 각각 -0.404~-0.619, -0.358~-0.589, 0.43~0.613로 겨울이 가장 높고, 여름이 가장 낮았다. PM10은 풍속과 상관성이 없었으며, PM2.5는 여름을 제외하고 R이 -0.131~-0.37로 음의 상관성을 보였다.

행주는 NO<sub>2</sub>가 봄, 여름 그리고 가을, CO와 O<sub>3</sub>이 봄에 풍향과 풍속의 교호작용에 따른 농도 차이가 없었고 나머지는 농도 차이가 있었다. PM10은 겨울과 봄에 풍속의 변화에 따른 농도 차이를 보이지 않았고 상관관계도 없었으며, PM2.5는 여름을 제외하고 R이 -0.213~-0.279로 음의 상관성을 보였다.

NO<sub>2</sub>와 CO는 북한산을 제외하고 풍속과 음의 상관관계를 보였는데, R이 겨울에 높고 여름에 낮게 나타나 온도와 음의 상관관계를 보임을 판단할 수 있었다. O<sub>3</sub>은 모든 지점에서 풍속과 양의 상관관계를 보였는데 북한산은 다른 지점과 달리 R이 겨울에 낮고 여름에 높았다. PM10과 PM2.5는 지점별, 계절별로 풍향과 풍속의 교호작용에 따른 농도 차이가 다르게 나타났고, PM10은 풍속과는 상관성이 낮았으나 PM2.5는 여름을 제외하고 음의 상관성을 보였다.

### 5) 다중회귀분석(Multiple Regression Analysis)

대기오염물질 농도에 영향을 미치는 인자를 알아보기 위하여 계절별, 지점별 대기오염물질 농도를 종속변수로 하고 나머지 대기오염물질과 기상인자를 독립변수로 하는 다중회귀분석을 실시하였으며 결과를 표 4에 나타내었다. 모든 독립변수를 회귀 모델에 포함하는 입력(Enter) 방법을 선택하였으며, VIF(Variance Inflation Factor, 분산확대지수)가 10보다 큰 경우 독립변수 간의 상관관계가 존재하는 것을 의미하는 다중공선성(Multicollinearity)이 높다고 판단하여 인자 제거 후 회귀분석을 하였다.

NO<sub>2</sub>는 회귀분석 결과를 설명하기 위한 변수로 CO, O<sub>3</sub>, PM10, PM2.5, Temp, HUM, UV, WS를 선정한 결과 수정된 Ra<sup>2</sup> 값이 겨울에 0.770~

**Table 3.** The result of ANOVA between WD and WS & Correlation Analysis with WS at the site

Site	Sea- -son	Item	2-Way ANOVA(p < 0.05)			Correlation Analysis with WS	
			Source	F	p-value	R <sup>2</sup>	Coefficient
W i n t e r	NO <sub>2</sub>	WD	3.616	0.000	0.084	-0.17	0.000
		WS	10.823	0.000			
		WD * WS	1.283	0.058			
	O <sub>3</sub>	WD	1.411	0.133	0.072	0.226	0.000
		WS	3.582	0.002			
		WD * WS	1.070	0.325			
	PM10	WD	2.522	0.001	0.086	0.192	0.000
		WS	0.622	0.713			
		WD * WS	1.285	0.057			
	PM2.5	WD	4.588	0.000	0.094	0.152	0.000
		WS	0.975	0.441			
		WD * WS	1.237	0.091			
S p r i n g	NO <sub>2</sub>	WD	2.761	0.000	0.110	-0.186	0.000
		WS	10.336	0.000			
		WD * WS	2.118	0.000			
	O <sub>3</sub>	WD	1.649	0.055	0.129	0.316	0.000
		WS	6.363	0.000			
		WD * WS	1.649	0.001			
	PM10	WD	2.036	0.011	0.065	0.184	0.000
		WS	3.573	0.002			
		WD * WS	1.277	0.073			
	PM2.5	WD	1.604	0.065	0.019	0.029*	0.209*
		WS	1.342	0.235			
		WD * WS	1.260	0.084			
G w a n a k s a n	NO <sub>2</sub>	WD	7.871	0.000	0.127	-0.196	0.000
		WS	6.469	0.000			
		WD * WS	1.267	0.090			
	O <sub>3</sub>	WD	6.312	0.000	0.135	0.101	0.000
		WS	1.080	0.372			
		WD * WS	3.028	0.000			
	PM10	WD	8.284	0.000	0.155	0.118	0.000
		WS	4.729	0.000			
		WD * WS	4.475	0.000			
	PM2.5	WD	4.943	0.000	0.125	0.042*	0.066*
		WS	6.223	0.000			
		WD * WS	3.359	0.000			
S u m m e r	NO <sub>2</sub>	WD	7.509	0.000	0.176	-0.112	0.000
		WS	8.212	0.000			
		WD * WS	2.023	0.000			
	O <sub>3</sub>	WD	1.508	0.094	0.056	0.046*	0.042*
		WS	0.640	0.698			
		WD * WS	2.080	0.000			
	PM10	WD	4.514	0.000	0.093	-0.001*	0.965*
		WS	2.263	0.035			
		WD * WS	1.360	0.033			
	PM2.5	WD	3.235	0.000	0.083	-0.065	0.005
		WS	2.275	0.034			
		WD * WS	1.362	0.034			

**Table 3. (Continued)**

Site	Sea-son	Item	2-Way ANOVA( $p < 0.05$ )			Correlation Analysis with WS	
			Source	F	p-value	R <sup>2</sup>	Coefficient
W i n t e r	NO <sub>2</sub>	WD	5.478	0.000	0.41	-0.511	0.000
		WS	15.156	0.000			
		WD * WS	3.325	0.000			
	CO	WD	4.940	0.000	0.279	-0.399	0.000
		WS	10.915	0.000			
		WD * WS	2.635	0.000			
	O <sub>3</sub>	WD	6.631	0.000	0.376	0.494	0.000
		WS	16.780	0.000			
		WD * WS	2.871	0.000			
	PM10	WD	7.608	0.000	0.125	-0.123	0.000
		WS	2.094	0.063			
		WD * WS	2.705	0.000			
PM2.5	WD	6.003	0.000	0.124	-0.168	0.000	
	WS	1.896	0.092				
	WD * WS	2.608	0.000				
S p r i n g	NO <sub>2</sub>	WD	2.787	0.000	0.219	-0.392	0.000
		WS	18.955	0.000			
		WD * WS	0.991	0.477			
	CO	WD	4.742	0.000	0.182	-0.329	0.000
		WS	7.020	0.000			
		WD * WS	1.116	0.311			
	O <sub>3</sub>	WD	3.851	0.000	0.249	0.397	0.000
		WS	13.916	0.000			
		WD * WS	1.211	0.210			
	PM10	WD	2.003	0.012	0.065	0.028*	0.226*
		WS	1.230	0.296			
		WD * WS	1.445	0.065			
PM2.5	WD	4.053	0.000	0.119	-0.13	0.000	
	WS	1.343	0.252				
	WD * WS	2.712	0.000				
S u m m e r	NO <sub>2</sub>	WD	1.812	0.028	0.082	-0.228	0.000
		WS	8.768	0.000			
		WD * WS	0.894	0.591			
	CO	WD	2.957	0.000	0.094	-0.141	0.000
		WS	11.843	0.000			
		WD * WS	1.374	0.129			
	O <sub>3</sub>	WD	1.199	0.265	0.067	0.117	0.000
		WS	1.583	0.162			
		WD * WS	1.006	0.450			
	PM10	WD	3.440	0.000	0.052	0.032*	0.200*
		WS	2.318	0.041			
		WD * WS	1.785	0.020			
PM2.5	WD	3.715	0.000	0.053	0.014*	0.574*	
	WS	4.154	0.001				
	WD * WS	1.440	0.098				
F a l l	NO <sub>2</sub>	WD	2.970	0.000	0.181	-0.262	0.000
		WS	13.754	0.000			
		WD * WS	0.749	0.769			
	CO	WD	2.142	0.006	0.172	-0.249	0.000
		WS	16.484	0.000			
		WD * WS	1.360	0.137			
	O <sub>3</sub>	WD	3.878	0.000	0.163	0.181	0.000
		WS	4.186	0.006			
		WD * WS	2.112	0.003			
	PM10	WD	1.526	0.088	0.069	-0.82	0.000
		WS	4.368	0.004			
		WD * WS	1.018	0.435			
PM2.5	WD	1.636	0.058	0.062	-0.123	0.000	
	WS	5.886	0.001				
	WD * WS	1.316	0.167				

**Table 3. (Continued)**

Site	Sea-son	Item	2-Way ANOVA(p < 0.05)			Correlation Analysis with WS	
			Source	F	p-value	R <sup>2</sup>	Coefficient
W i n t e r	NO <sub>2</sub>	WD	1.924	0.028	0.204	-0.169	0.000
		WS	4.234	0.000			
		WD * WS	2.693	0.000			
	CO	WD	0.305	0.989	0.082	-0.113	0.000
		WS	1.445	0.183			
		WD * WS	1.782	0.014			
	O <sub>3</sub>	WD	1.602	0.084	0.21	0.262	0.000
		WS	8.644	0.000			
		WD * WS	2.960	0.000			
	PM10	WD	1.084	0.369	0.029	0.068	0.000
		WS	2.667	0.010			
		WD * WS	1.735	0.018			
	PM2.5	WD	0.379	0.971	0.011	-0.005*	0.827*
		WS	1.269	0.262			
		WD * WS	0.952	0.524			
S p r i n g	NO <sub>2</sub>	WD	7.109	0.000	0.163	-0.063	0.006
		WS	1.793	0.097			
		WD * WS	1.451	0.007			
	CO	WD	5.568	0.000	0.087	0.039*	0.086*
		WS	1.163	0.323			
		WD * WS	1.388	0.016			
	O <sub>3</sub>	WD	2.132	0.007	0.172	0.307	0.000
		WS	11.320	0.000			
		WD * WS	1.530	0.002			
	PM10	WD	2.924	0.000	0.085	0.161	0.000
		WS	5.311	0.000			
		WD * WS	1.629	0.001			
	PM2.5	WD	2.285	0.003	0.052	0.046*	0.051*
		WS	1.257	0.274			
		WD * WS	1.412	0.012			
B u k h a n s a n	NO <sub>2</sub>	WD	5.734	0.000	0.108	0.08	0.000
		WS	3.405	0.002			
		WD * WS	1.432	0.019			
	CO	WD	3.696	0.000	0.059	-0.076	0.001
		WS	3.630	0.001			
		WD * WS	1.652	0.002			
	O <sub>3</sub>	WD	4.917	0.000	0.369	0.478	0.000
		WS	24.837	0.000			
		WD * WS	1.929	0.000			
	PM10	WD	3.272	0.000	0.053	-0.105	0.000
		WS	1.631	0.135			
		WD * WS	1.642	0.002			
	PM2.5	WD	1.447	0.111	0.035	-0.023*	0.305*
		WS	3.393	0.002			
		WD * WS	1.352	0.041			
F a l	NO <sub>2</sub>	WD	1.812	0.028	0.082	0.028*	0.215*
		WS	8.768	0.000			
		WD * WS	0.894	0.591			
	CO	WD	2.957	0.000	0.094	-0.106	0.000
		WS	11.843	0.000			
		WD * WS	1.374	0.129			
	O <sub>3</sub>	WD	1.199	0.265	0.067	0.342	0.000
		WS	1.583	0.162			
		WD * WS	1.006	0.450			
	PM10	WD	3.440	0.000	0.052	-0.088	0.000
		WS	2.318	0.041			
		WD * WS	1.785	0.020			
	PM2.5	WD	3.715	0.000	0.053	-0.118	0.000
		WS	4.154	0.001			
		WD * WS	1.440	0.098			

**Table 3. (Continued)**

Site	Sea-son	Item	2-Way ANOVA(p < 0.05)			Correlation Analysis with WS		
			Source	F	p-value	R <sup>2</sup>	Coefficient	p-value
G u n g d o n g	W i n t e r	CO	WD	1.652	0.054	0.263	-0.479	0.000
			WS	14.647	0.000			
			WD * WS	1.191	0.211			
		O <sub>3</sub>	WD	4.652	0.000	0.58	0.702	0.000
			WS	57.316	0.000			
			WD * WS	2.034	0.000			
	PM10	WD	3.393	0.000	0.08	-0.171	0.000	
		WS	5.212	0.000				
		WD * WS	2.542	0.000				
	PM2.5	WD	3.492	0.000	0.111	-0.255	0.000	
		WS	5.066	0.000				
		WD * WS	2.155	0.000				
S p r i n g	NO <sub>2</sub>	WD	1.149	0.307	0.363	-0.538	0.000	
		WS	30.777	0.000				
		WD * WS	1.349	0.067				
	CO	WD	0.633	0.850	0.203	-0.334	0.000	
		WS	8.529	0.000				
		WD * WS	2.074	0.000				
	O <sub>3</sub>	WD	5.762	0.000	0.544	0.62	0.000	
		WS	51.355	0.000				
		WD * WS	2.447	0.000				
	PM10	WD	2.611	0.001	0.095	-0.031*	0.185*	
		WS	2.290	0.033				
		WD * WS	1.869	0.000				
PM2.5	WD	2.123	0.007	0.086	-0.209	0.000		
	WS	7.728	0.000					
	WD * WS	1.162	0.216					
S u m m e r	NO <sub>2</sub>	WD	4.711	0.000	0.248	-0.387	0.000	
		WS	21.474	0.000				
		WD * WS	1.110	0.288				
	CO	WD	2.359	0.002	0.101	-0.23	0.000	
		WS	16.458	0.000				
		WD * WS	2.335	0.000				
	O <sub>3</sub>	WD	5.875	0.000	0.376	0.457	0.000	
		WS	36.055	0.000				
		WD * WS	2.996	0.000				
	PM10	WD	9.149	0.000	0.11	-0.023*	0.292*	
		WS	3.332	0.005				
		WD * WS	1.821	0.001				
PM2.5	WD	7.488	0.000	0.108	-0.034*	0.170*		
	WS	5.998	0.000					
	WD * WS	1.571	0.012					
F a l	NO <sub>2</sub>	WD	0.632	0.851	0.264	-0.477	0.000	
		WS	71.560	0.000				
		WD * WS	1.179	0.208				
	CO	WD	1.400	0.138	0.202	-0.394	0.000	
		WS	45.617	0.000				
		WD * WS	1.293	0.107				
	O <sub>3</sub>	WD	6.354	0.000	0.336	0.44	0.000	
		WS	57.386	0.000				
		WD * WS	1.480	0.030				
	PM10	WD	2.211	0.005	0.104	-0.231	0.000	
		WS	21.991	0.000				
		WD * WS	1.765	0.003				
PM2.5	WD	1.396	0.140	0.086	-0.239	0.000		
	WS	19.315	0.000					
	WD * WS	1.154	0.236					

**Table 3. (Continued)**

Site	Sea-son	Item	2-Way ANOVA( $p < 0.05$ )			Correlation Analysis with WS	
			Source	F	p-value	R <sup>2</sup>	Coefficient
W i n t e r	NO <sub>2</sub>	WD	4.014	0.000	0.476	-0.619	0.000
		WS	137.900	0.000			
		WD * WS	2.731	0.000			
	CO	WD	1.944	0.016	0.546	-0.589	0.000
		WS	134.478	0.000			
		WD * WS	5.334	0.000			
	O <sub>3</sub>	WD	11.666	0.000	0.468	0.613	0.000
		WS	178.159	0.000			
		WD * WS	3.856	0.000			
	PM10	WD	2.918	0.000	0.142	-0.281	0.000
		WS	12.163	0.000			
		WD * WS	2.024	0.000			
PM2.5	WD	3.638	0.000	0.221	-0.37	0.000	
	WS	24.674	0.000				
	WD * WS	2.447	0.000				
S p r i n g	NO <sub>2</sub>	WD	2.740	0.000	0.392	-0.55	0.000
		WS	66.155	0.000			
		WD * WS	1.628	0.005			
	CO	WD	.363	0.987	0.182	-0.366	0.000
		WS	30.990	0.000			
		WD * WS	1.157	0.218			
	O <sub>3</sub>	WD	5.845	0.000	0.518	0.538	0.000
		WS	116.306	0.000			
		WD * WS	3.413	0.000			
	PM10	WD	4.191	0.000	0.067	0.005*	0.824*
		WS	2.705	0.029			
		WD * WS	1.723	0.002			
PM2.5	WD	2.155	0.006	0.063	-0.131	0.000	
	WS	5.532	0.000				
	WD * WS	1.570	0.009				
S e g o k	NO <sub>2</sub>	WD	5.669	0.000	0.311	-0.404	0.000
		WS	10.552	0.000			
		WD * WS	1.195	0.225			
	CO	WD	1.871	0.022	0.16	-0.358	0.000
		WS	23.007	0.000			
		WD * WS	1.432	0.071			
	O <sub>3</sub>	WD	8.540	0.000	0.403	0.43	0.000
		WS	52.354	0.000			
		WD * WS	3.864	0.000			
	PM10	WD	4.884	0.000	0.075	0.038*	0.162*
		WS	4.154	0.000			
		WD * WS	2.011	0.002			
PM2.5	WD	3.638	0.000	0.221	0.014*	0.616*	
	WS	24.674	0.000				
	WD * WS	2.447	0.000				
F a l l	NO <sub>2</sub>	WD	1.778	0.032	0.35	-0.494	0.000
		WS	59.221	0.000			
		WD * WS	2.927	0.000			
	CO	WD	2.323	0.003	0.247	-0.383	0.000
		WS	28.867	0.000			
		WD * WS	2.358	0.000			
	O <sub>3</sub>	WD	3.102	0.000	0.366	0.505	0.000
		WS	91.695	0.000			
		WD * WS	3.007	0.000			
	PM10	WD	1.493	0.099	0.086	-0.182	0.000
		WS	4.952	0.000			
		WD * WS	1.933	0.001			
PM2.5	WD	1.133	0.321	0.065	-0.16	0.000	
	WS	3.595	0.003				
	WD * WS	1.819	0.003				

**Table 3. (Continued)**

Site	Sea-son	Item	2-Way ANOVA(p < 0.05)			Correlation Analysis with WS	
			Source	F	p-value	R <sup>2</sup>	Coefficient
W i n t e r	NO <sub>2</sub>	WD	36.792	0.000	0.512	-0.52	0.000
		WS	19.959	0.000			
		WD * WS	6.044	0.000			
	CO	WD	9.832	0.000	0.208	-0.295	0.000
		WS	6.012	0.000			
		WD * WS	2.644	0.000			
	O <sub>3</sub>	WD	25.749	0.000	0.54	0.594	0.000
		WS	29.056	0.000			
		WD * WS	6.009	0.000			
	PM10	WD	5.660	0.000	0.108	-0.181	0.000
		WS	1.650	0.130			
		WD * WS	2.877	0.000			
PM2.5	WD	4.285	0.000	0.138	-0.279	0.000	
	WS	5.168	0.000				
	WD * WS	2.363	0.000				
S p r i n g	NO <sub>2</sub>	WD	6.551	0.000	0.323	-0.495	0.000
		WS	23.192	0.000			
		WD * WS	1.042	0.391			
	CO	WD	1.681	0.049	0.106	-0.271	0.000
		WS	7.308	0.000			
		WD * WS	1.137	0.223			
	O <sub>3</sub>	WD	8.837	0.000	0.521	0.536	0.000
		WS	70.402	0.000			
		WD * WS	1.285	0.069			
	PM10	WD	4.092	0.000	0.07	0.049*	0.035*
		WS	1.770	0.102			
		WD * WS	2.228	0.000			
PM2.5	WD	1.952	0.015	0.082	-0.213	0.000	
	WS	3.606	0.001				
	WD * WS	1.501	0.008				
H a e n g j u m m e r	NO <sub>2</sub>	WD	4.363	0.000	0.078	-0.100	0.000
		WS	3.362	0.003			
		WD * WS	1.053	0.375			
	O <sub>3</sub>	WD	7.102	0.000	0.473	0.503	0.000
		WS	59.854	0.000			
		WD * WS	2.703	0.000			
	PM10	WD	3.523	0.000	0.115	0.135	0.000
		WS	7.069	0.000			
		WD * WS	2.649	0.000			
	PM2.5	WD	3.869	0.000	0.082	0.045*	0.053*
		WS	5.481	0.000			
		WD * WS	1.626	0.003			
F a l	NO <sub>2</sub>	WD	3.922	0.000	0.372	-0.528	0.000
		WS	55.974	0.000			
		WD * WS	1.232	0.142			
	CO	WD	5.236	0.000	0.279	-0.343	0.000
		WS	33.133	0.000			
	O <sub>3</sub>	WD	5.204	0.000	0.269	0.374	0.000
		WD * WS	40.660	0.000			
		WS	1.625	0.006			
	PM10	WD	1.416	0.131	0.1	-0.223	0.000
		WS	6.563	0.000			
		WD * WS	1.461	0.028			
	PM2.5	WD	4.274	0.000	0.077	-0.23	0.000
WS		3.700	0.001				
WD * WS		2.055	0.001				

\* p < 0.05, others p < 0.01

**Table 4. The Coefficients of Multiple Regression For Air Pollutants and Meteorological factors**

Season	Pollutants	Site	Regression Equations	Ra <sup>2</sup>
	NO <sub>2</sub>	GA <sup>1)</sup>	-0.95[O <sub>3</sub> ]+0.001[Temp]-0.004[UV]+0.053	0.841
		NS <sup>2)</sup>	0.027[CO]-1.24[O <sub>3</sub> ]+0.001[Temp]-0.004[UV]+0.051	0.903
		BH <sup>3)</sup>	0.029[CO]-1.105[O <sub>3</sub> ]+0.001[Temp]-0.006[UV]-0.001[WS]+0.057	0.891
		GD <sup>4)</sup>	Not Detected	
		SG <sup>5)</sup>	0.01[CO]-1.323[O <sub>3</sub> ]+0.001[Temp]-0.015[UV]-0.003[WS]+0.62	0.788
		HJ <sup>6)</sup>	0.008[CO]-1.131[O <sub>3</sub> ]+0.002[Temp]-0.001[WS]+0.06	0.770
	CO	GA	Not Detected	
		NS	11.128[NO <sub>2</sub> ]+3.747[O <sub>3</sub> ]+0.006[PM2.5]-0.011[Temp]+0.002[HUM] +0.116[UV]-0.024[WS]-0.147	0.813
		BH	9.065[NO <sub>2</sub> ]+3.046[O <sub>3</sub> ]+0.007[PM2.5]-0.007[Temp]+0.004[HUM] +0.293[UV]-0.241	0.810
		GD	-9.657[O <sub>3</sub> ]+0.003[PM10]+0.002[HUM]-0.031[WS]+0.357	0.396
		SG	19.065[NO <sub>2</sub> ]+17.365[O <sub>3</sub> ]+0.013[PM2.5]-0.056[Temp]+0.012[HUM] +0.446[UV]-0.111[WS]-0.869	0.726
		HJ	7.959[NO <sub>2</sub> ]-4.738[O <sub>3</sub> ]-0.002[PM10]+0.011[PM2.5]-0.019[Temp] +0.003[HUM]+0.324[UV]+0.032[WS]+0.208	0.463
W i n t e r	O <sub>3</sub>	GA	-0.826[NO <sub>2</sub> ]+0.001[Temp]-0.004[UV]+0.05	0.811
		NS	-0.489[NO <sub>2</sub> ]+0.004[CO]+0.001[Temp]+0.002[WS]+0.034	0.841
		BH	-0.6[NO <sub>2</sub> ]+0.005[CO]+0.046	0.827
		GD	-0.01[CO]+0.007[WS]+0.012	0.588
		SG	-0.286[NO <sub>2</sub> ]+0.002[CO]+0.001[Temp]-0.003[UV]+0.001[WS]+0.022	0.678
		HJ	-0.441[NO <sub>2</sub> ]-0.002[CO]+0.001[Temp]+0.003[UV]+0.001[WS]+0.04	0.775
	PM10	GA	1.254[PM2.5]-0.189[Temp]-0.124[HUM]+1.247[WS]+11.686	0.865
		NS	6.076[CO]+92.177[O <sub>3</sub> ]+1.196[PM2.5]+0.297[Temp]-0.056[HUM] +1.62[WS]+9.279	0.851
		BH	1.346[PM2.5]+1.352[WS]	0.874
		GD	10.143[CO]-180.481[O <sub>3</sub> ]+1.418[PM2.5]+0.345[Temp]+3.06[WS]+16.742	0.646
		SG	373.493[NO <sub>2</sub> ]+554.45[O <sub>3</sub> ]+1.32[PM2.5]-0.076[HUM]+9.852[UV]+1.457[WS]	0.790
		HJ	-3.752[CO]-139.709[O <sub>3</sub> ]+1.542[PM2.5]+0.325[Temp]-0.076[HUM] +1.598[WS]+15.037	0.846
	PM2.5	GA	355.025[NO <sub>2</sub> ]+366.546[O <sub>3</sub> ]+0.618[PM10]+0.15[HUM]-0.704[WS]-22.5	0.885
		NS	12.709[CO]+124.958[O <sub>3</sub> ]+0.538[PM10]+0.149[Temp]+0.095[HUM] -2.487[UV]-0.508[WS]-10.78	0.873
		BH	18.037[CO]+96.317[O <sub>3</sub> ]+0.529[PM10]+0.202[Temp]-7.241[UV]-0.609[WS]	0.898
		GD	82.226[O <sub>3</sub> ]+0.37[PM10]+0.156[Temp]+0.087[HUM]-0.992[WS]-3.313	0.653
		SG	5.446[CO]-127.394[O <sub>3</sub> ]+0.431[PM10]+0.612[Temp]+0.124[HUM]-6.78	0.825
		HJ	38.963[NO <sub>2</sub> ]+5.981[CO]+149.783[O <sub>3</sub> ]+0.489[PM10]+0.118[Temp] +0.107[HUM]-1.133[WS]-9.25	0.869



**Table 4. (Continued)**

Season	Pollutants	Site	Regression Equations	Ra <sup>2</sup>
S p r i n g	NO <sub>2</sub>	GA	-0.482[O <sub>3</sub> ]+0.001[PM2.5]+0.001[UV]+0.001[WS]+0.028	0.603
		NS	0.025[CO]-1.201[O <sub>3</sub> ]+0.049	0.829
		BH	0.048[CO]-0.712[O <sub>3</sub> ]+0.001[Temp]+0.001[WS]+0.032	0.679
		GD	Not Detected	
		SG	0.024[CO]-0.86[O <sub>3</sub> ]+0.001[Temp]-0.003[UV]-0.002[WS]+0.052	0.807
		HJ	-0.641[O <sub>3</sub> ]+0.001[Temp]+0.035	0.519
	CO	GA	Not Detected	
		NS	6.7[NO <sub>2</sub> ]+3.01[O <sub>3</sub> ]+0.002[PM10]+0.001[PM2.5]-0.003[Temp] +0.002[HUM]+0.02[UV]-0.032[WS]+0.071	0.556
		BH	5.386[NO <sub>2</sub> ]+0.98[O <sub>3</sub> ]+0.005[PM2.5]-0.003[Temp]+0.002[HUM] +0.09[UV]-0.002[WS]-0.02	0.671
		GD	-5.527[O <sub>3</sub> ]+0.002[PM10]+0.005[PM2.5]-0.005[Temp]+0.001[HUM] -0.052[WS]+0.621	0.460
		SG	10.589[NO <sub>2</sub> ]+7.264[O <sub>3</sub> ]+0.004[PM2.5]-0.034[Temp]+0.004[HUM] +0.058[UV]-0.051[WS]	0.717
		HJ	0.003[PM10]+0.004[PM2.5]-0.009[Temp]+0.078[UV]-0.042[WS]+0.542	0.214
	O <sub>3</sub>	GA	-1.038[NO <sub>2</sub> ]+0.001[PM2.5]+0.001[Temp]+0.002[WS]+0.044	0.767
		NS	-0.549[NO <sub>2</sub> ]+0.005[CO]+0.001[UV]+0.002[WS]+0.035	0.840
		BH	-0.557[NO <sub>2</sub> ]+0.007[CO]+0.001[Temp]-0.002[UV]+0.038	0.733
		GD	-0.01[CO]+0.005[WS]+0.028	0.633
		SG	-0.597[NO <sub>2</sub> ]+0.012[CO]+0.001[Temp]-0.001[UV]+0.003[WS]+0.031	0.827
		HJ	-0.507[NO <sub>2</sub> ]+0.002[Temp]+0.003[WS]+0.032	0.764
	PM10	GA	-290.794[NO <sub>2</sub> ]-202.908[O <sub>3</sub> ]+1.47[PM2.5]-0.146[HUM]+2.987[UV] +1.676[WS]+21.634	0.696
		NS	16.286[CO]+1.216[PM2.5]-0.262[Temp]-0.078[HUM]+1.099[UV] +3.24[WS]+9.88	0.709
		BH	-127.735[NO <sub>2</sub> ]+8.843[CO]-125.209[O <sub>3</sub> ]+1.38[PM2.5]-0.135[HUM]+ 3.075[UV]+0.684[WS]+15.543	0.680
GD		8.695[CO]-268.54[O <sub>3</sub> ]+1.172[PM2.5]+0.562[Temp]-5.003[UV] +4.256[WS]+23.523	0.473	
SG		150.464[NO <sub>2</sub> ]+197.789[O <sub>3</sub> ]+1.536[PM2.5]-0.527[Temp]-0.081[HUM] +2.349[WS]+10.671	0.702	
HJ		7.89[CO]+1.486[PM2.5]+0.373[Temp]+0.094[HUM]+3.492[WS]-1.083	0.632	
PM2.5	GA	523.359[NO <sub>2</sub> ]+351.171[O <sub>3</sub> ]+0.391[PM10]-0.28[Temp]+0.097[HUM] -1.276[UV]-0.986[WS]-17.848	0.781	
	NS	274.027[NO <sub>2</sub> ]+433.77[O <sub>3</sub> ]+0.432[PM10]+0.117[Temp]+0.179[HUM] -0.808[UV]-1.188[WS]-23.245	0.759	
	BH	109.551[NO <sub>2</sub> ]+23.797[CO]+219.998[O <sub>3</sub> ]+0.369[PM10]+0.071[HUM] -5.792[UV]-13.207	0.755	
	GD	6.057[CO]+0.276[PM10]+0.289[Temp]-1.102[WS]	0.508	
	SG	100.641[NO <sub>2</sub> ]+5.316[CO]+112.053[O <sub>3</sub> ]+0.364[PM10]+0.304[Temp] +0.104[HUM]-13.187	0.727	
	HJ	107.351[NO <sub>2</sub> ]+2.861[CO]+0.387[PM10]-0.143[Temp]-1.746[WS]+5.212	0.661	

**Table 4. (Continued)**

Season	Pollutants	Site	Regression Equations	Ra <sup>2</sup>
S u m m e r	NO <sub>2</sub>	GA	-0.131(O <sub>3</sub> )+0.026	0.223
		NS	0.042[CO]-0.237(O <sub>3</sub> )+0.001[Temp]-0.003[UV]-0.002[WS]-0.005	0.463
		BH	0.028[CO]-0.286(O <sub>3</sub> )+0.024	0.385
		GD	0.028[CO]-0.177(O <sub>3</sub> )+0.001[Temp]-0.005[WS]+0.015	0.303
		SG	0.024[CO]-0.465(O <sub>3</sub> )-0.001[Temp]-0.002[UV]-0.003[WS]+0.108	0.587
		HJ	-0.227(O <sub>3</sub> )+0.001[UV]+0.045	0.252
	CO	GA	Not Detected	
		NS	7.382[NO <sub>2</sub> ]+1.982(O <sub>3</sub> )-0.005[Temp]+0.003[HUM]+0.027[UV]-0.02[WS]+0.129	0.365
		BH	5.217[NO <sub>2</sub> ]+1.254(O <sub>3</sub> )+0.003[PM10]+0.001[PM2.5]-0.005[Temp]+0.003[HUM]+0.1[UV]-0.005[WS]	0.517
		GD	2.135[NO <sub>2</sub> ]+0.002[PM10]+0.001[PM2.5]+0.003[Temp]-0.009[UV]-0.019[WS]+0.096	0.289
		SG	2.024[NO <sub>2</sub> ]-2.59(O <sub>3</sub> )+0.002[PM10]+0.003[PM2.5]+0.03[Temp]+0.006[HUM]-0.051[WS]-0.717	0.701
		HJ	Not Detected	
O <sub>3</sub>	GA	-0.857[NO <sub>2</sub> ]+0.001[PM2.5]-0.001[HUM]+0.003[UV]+0.002[WS]+0.095	0.537	
	NS	-0.91[NO <sub>2</sub> ]+0.043[CO]+0.003[Temp]-0.002[UV]+0.002[WS]-0.028	0.516	
	BH	-0.834[NO <sub>2</sub> ]+0.019[CO]+0.001[PM2.5]+0.001[Temp]-0.001[HUM]-0.001[WS]+0.062	0.724	
	GD	-0.253[NO <sub>2</sub> ]+0.002[Temp]+0.004[UV]+0.007[WS]-0.027	0.473	
	SG	-0.437[NO <sub>2</sub> ]-0.029[CO]+0.001[PM2.5]+0.001[Temp]-0.001[WS]+0.045	0.780	
	HJ	-0.726[NO <sub>2</sub> ]+0.001[PM2.5]-0.001[HUM]+0.003[UV]+0.006[WS]+0.075	0.671	
PM10	GA	33.895(O <sub>3</sub> )+1.109[PM2.5]-0.098[HUM]+0.707[WS]+9.244	0.830	
	NS	98.098[NO <sub>2</sub> ]+13.163[CO]+57.959(O <sub>3</sub> )+1.245[PM2.5]-0.466[Temp]+1.197[UV]+1.220[WS]+7.049	0.907	
	BH	-196.827[NO <sub>2</sub> ]+20.131[CO]-199.162(O <sub>3</sub> )+1.225[PM2.5]+0.52[Temp]-0.105[HUM]-4.782[UV]+5.824	0.800	
	GD	193.33[NO <sub>2</sub> ]+19.171[CO]+109.261(O <sub>3</sub> )+1.359[PM2.5]-6.24	0.689	
	SG	13.542[CO]+1.492[PM2.5]-0.822[Temp]-0.164[HUM]+2.196[WS]+28.082	0.737	
	HJ	-103.128(O <sub>3</sub> )+1.597[PM2.5]-0.289[Temp]-0.235[HUM]+2.635[WS]+24.964	0.800	
PM2.5	GA	156.031[NO <sub>2</sub> ]+78.905(O <sub>3</sub> )+0.646[PM10]+0.269[Temp]+0.153[HUM]-0.529[WS]-19.264	0.843	
	NS	-31.384[NO <sub>2</sub> ]+10.554[CO]+37.867(O <sub>3</sub> )+0.598[PM10]+0.317[Temp]+0.037[HUM]-0.924[UV]-0.516[WS]-12.904	0.909	
	BH	190.598[NO <sub>2</sub> ]+4.001[CO]+219.057(O <sub>3</sub> )+0.508[PM10]-0.077[Temp]+0.113[HUM]-14.592	0.834	
	GD	-70[NO <sub>2</sub> ]+4.995[CO]+0.43[PM10]-0.131[Temp]-0.917[UV]+5.676	0.658	
	SG	78.41[NO <sub>2</sub> ]+5.106[CO]+133.726(O <sub>3</sub> )+0.386[PM10]+0.184[Temp]+0.093[HUM]-13.711	0.764	
	HJ	122.697[NO <sub>2</sub> ]+140.251(O <sub>3</sub> )+0.458[PM10]+0.197[Temp]+0.2[HUM]-1.418[WS]-19.681	0.824	

**Table 4. (Continued)**

Season	Pollutants	Site	Regression Equations	Ra <sup>2</sup>
	NO <sub>2</sub>	GA <sup>1)</sup>	-0.517(O <sub>3</sub> )-0.001(UV)+0.03	0.462
		NS <sup>2)</sup>	0.066(CO)-0.531(O <sub>3</sub> )+0.001(Temp)-0.004(UV)+0.017	0.749
		BH <sup>3)</sup>	0.032(CO)-0.503(O <sub>3</sub> )+0.001(Temp)-0.003(UV)+0.024	0.503
		GD <sup>4)</sup>	0.023(CO)-0.243(O <sub>3</sub> )+0.001(Temp)-0.003(UV)-0.005(WS)+0.029	0.470
		SG <sup>5)</sup>	0.026(CO)-0.811(O <sub>3</sub> )+0.001(Temp)-0.006(UV)-0.003(WS)+0.04	0.749
		HJ <sup>6)</sup>	0.026(CO)-0.717(O <sub>3</sub> )+0.001(Temp)-0.004(UV)-0.002(WS)+0.021	0.715
	CO	GA	Not Detected	
		NS	8.567(NO <sub>2</sub> )+2.926(O <sub>3</sub> )-0.003(Temp)+0.003(HUM)+0.047(UV)-0.032(WS)	0.669
		BH	12.113(NO <sub>2</sub> )+8.312(O <sub>3</sub> )-0.009(Temp)+0.005(HUM)+0.146(UV)-0.015(WS)-0.237	0.436
		GD	3.71(NO <sub>2</sub> )-0.681(O <sub>3</sub> )+0.002(PM10)+0.002(PM2.5)-0.005(Temp)-0.042(WS)+0.222	0.501
		SG	8.118(NO <sub>2</sub> )+3.905(O <sub>3</sub> )+0.007(PM10)-0.016(Temp)+0.005(HUM)+0.073(UV)-0.02(WS)	0.793
		HJ	4.25(NO <sub>2</sub> )+1.447(O <sub>3</sub> )+0.002(PM10)+0.005(PM2.5)-0.018(Temp)+0.003(HUM)+0.069(UV)-0.026(WS)+0.38	0.789
F a l l	O <sub>3</sub>	GA	-0.655(NO <sub>2</sub> )+0.001(Temp)-0.002(UV)+0.001(WS)+0.039	0.608
		NS	-0.658(NO <sub>2</sub> )+0.028(CO)+0.001(Temp)+0.005(WS)+0.025	0.671
		BH	-0.679(NO <sub>2</sub> )+0.029(CO)+0.001(Temp)-0.009(UV)+0.001(WS)+0.043	0.589
		GD	-0.205(NO <sub>2</sub> )-0.004(CO)+0.001(Temp)+0.004(UV)+0.007(WS)+0.003	0.433
		SG	-0.423(NO <sub>2</sub> )+0.006(CO)+0.001(Temp)+0.002(WS)+0.028	0.752
		HJ	-0.584(NO <sub>2</sub> )+0.007(CO)+0.001(Temp)-0.001(UV)+0.001(WS)+0.029	0.728
	PM10	GA	186.484(NO <sub>2</sub> )+115.705(O <sub>3</sub> )+1.192(PM2.5)-0.157(HUM)-1.345(UV)+1.36(WS)+6.174	0.899
		NS	19.331(CO)+1.272(PM2.5)+0.14(Temp)-0.099(HUM)-1.401(UV)+3.862(WS)	0.911
		BH	-65.882(O <sub>3</sub> )+1.402(PM2.5)+0.224(Temp)-0.076(HUM)-8.944	0.904
		GD	60.808(NO <sub>2</sub> )+17.679(CO)+239.408(O <sub>3</sub> )+1.391(PM2.5)+0.217(Temp)-1.75(WS)	0.794
		SG	22.25(CO)-119.694(O <sub>3</sub> )+1.339(PM2.5)+0.288(Temp)-0.171(HUM)+7.189	0.874
		HJ	-61.851(NO <sub>2</sub> )+17.91(CO)-97.035(O <sub>3</sub> )+1.362(PM2.5)+0.519(Temp)-0.115(HUM)+0.787(WS)	0.848
	PM2.5	GA	55.227(NO <sub>2</sub> )+92.04(O <sub>3</sub> )+0.664(PM10)-0.102(Temp)+0.151(HUM)+0.760(UV)-1.134(WS)-11.242	0.899
		NS	45.534(NO <sub>2</sub> )+10.326(CO)+157.977(O <sub>3</sub> )+0.583(PM10)-0.197(Temp)+0.078(HUM)-1.399(UV)-2.345(WS)-7.581	0.913
		BH	110.738(NO <sub>2</sub> )+5.537(CO)+162.662(O <sub>3</sub> )+0.574(PM10)-0.211(Temp)+0.072(HUM)-0.279(WS)-9.372	0.918
		GD	92.164(NO <sub>2</sub> )+4.506(CO)+0.456(PM10)-0.349(Temp)	0.795
		SG	73.98(NO <sub>2</sub> )+200.587(O <sub>3</sub> )+0.48(PM10)-0.134(Temp)+0.092(HUM)-9.878	0.847
		HJ	109.031(NO <sub>2</sub> )+11.606(CO)+195.342(O <sub>3</sub> )+0.428(PM10)+0.09(HUM)-14.275	0.870

1) GA : Gwanaksan, 2) NS : Namsan, 3) BH : Bukhansan, 4) GD : Gungdong, 5) SG : Segok, 6) HJ : Haengju

0.903로 가장 높게 나타났고, 여름이 0.223~0.587로 가장 낮았다. 전 계절에 걸쳐 CO 및 Temp와 양의 관련성을 보였으며 UV와 O<sub>3</sub>는 음의 관련성을 나타내었는데, 이것은 일사량이 강할 때 일어나는 광화학적 반응과 관련이 있는 것으로 추정되며, 오 등(3)의 결과와 유사하였다.

CO는 변수로 NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM10, PM2.5, Temp, HUM, UV, WS를 선정했으며, 궁동과 행주는 가을을 제외하고 Ra<sup>2</sup> 값이 0.5 이하로 낮게 나타나 '선형으로 정의된 모형에 가깝다.'는 의미가 다소 미흡하였다. NO<sub>2</sub>, PM2.5, HUM 그리고 UV와는 양의 관련성을 보였으며, Temp와는 여름을 제외하고 음의 관련성을 나타내었다.

O<sub>3</sub>의 변수는 대부분 NO<sub>2</sub>, CO, Temp, UV, WS이며, 지점별로는 궁동의 Ra<sup>2</sup> 값이 0.433~0.633로 가장 낮았다. 궁동을 제외한 나머지 지역의 Ra<sup>2</sup> 값은 겨울에 0.678~0.841로 가장 높게 나타났고, 여름이 0.516~0.780으로 낮았다. NO<sub>2</sub>와는 음의 관련성을 보였으며, WS와 Temp는 양의 관련성을 나타내었다. 엄 등(2), 및 이 등(6)에서도 평균기온 및 평균풍속은 양의 상관관계, NO<sub>2</sub>와는 음의 상관관계가 있다고 하여 유사한 결과를 얻었다.

PM10의 Ra<sup>2</sup> 값은 0.794~0.911로 가을에 가장 높았으며, 봄이 0.473~0.709로 가장 낮았다. PM2.5와 WS가 양의 관련성을 보였으며, HUM과는 음의 관련성을 나타내었다. 황 등(4)은 풍속이 높을수록 PM10 오염도가 낮아진다고 하여 본 연구와 차이를 보였는데, PM2.5 또한 PM10과 같이 Ra<sup>2</sup> 값은 가을이 가장 높았으며, 봄이 가장 낮았다. 그러나 WS가 음의 관련성을 보였고, PM10, CO 그리고 HUM은 양의 관련성을 보여 WS와 HUM가 PM10과 반대의 결과를 나타내었다. 이는 관악산과 북한산을 제외한 나머지 지점에서 가을의 PM10이 풍속과는 상관관계가 없음을 나타낸 앞의 분산분석 자료와 유사한 해석을 보여주고 있다. 또한 엄 등(2)은 습도가 높고 바람이 세게 불수록 미세먼지(PM10)가 줄어든다고 하여 본 연구와는 다소 차이를 보이고 있는데, PM2.5는 유사한 결과를 나타내었다. 향후 다년간의 자료를 검토하여 PM10과 PM2.5가 반대 결과를 나타낸 원

인을 찾아볼 필요가 있었다.

전 항목과 모든 계절에서 궁동의 Ra<sup>2</sup> 값이 가장 낮게 나타난 원인은 다른 측정망과는 달리 주택지 주변에 위치하고 있기 때문인 것으로 사료되며, 세곡은 겨울을 제외하고 가스상 물질의 Ra<sup>2</sup> 값이 높게 나타났는데 도로변에 위치하고 있기 때문에 자동차 배출가스의 영향을 직접적으로 받기 때문인 것으로 판단되었다.

## 결론

본 연구에서는 풍향, 풍속 등 기상인자와 서울시 대기오염물질간의 관계를 분석하기 위해 2014년 11월부터 2015년 11월까지 서울시 배경과 경제측정망의 시간자료를 수집하였으며, 이들 자료들을 이용하여 이원배치 분산분석 및 다중회귀분석을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 각 지점별 주풍향은 관악산이 서풍과 서남서풍의 빈도가 높았으며 6 m/sec 이상의 강풍이 많았고, 남산은 남풍과 남남동풍이었으나 여름에는 동북동풍의 빈도도 높았으며 풍속이 3 m/sec 이하의 낮았다. 북한산은 북풍이 주풍향으로 여름철을 제외하곤 풍속이 4 m/sec 이하가 대부분이었으며, 궁동은 겨울에 북북서풍, 봄과 여름은 북풍과 남서풍, 그리고 가을엔 북풍이 주풍향이었고 풍속이 3 m/sec 이하로 낮았다. 세곡은 겨울에 남남서풍, 나머지는 남풍의 빈도가 높았으나 여름철에는 4 m/sec 이상의 동풍과 동북동풍의 빈도도 높았다. 행주는 겨울에 북서풍과 서풍이 주풍향이었으며, 겨울과 봄에 6 m/sec 이상의 강풍이 많았다. 평균 풍속은 관악산이 전 계절에 걸쳐 풍속이 가장 높았고, 남산이 겨울을 제외하고 가장 낮았다.
2. 각 지점별 대기오염물질 농도는 세곡이 O<sub>3</sub>을 제외한 나머지 항목에서 가장 높게 나타났고 O<sub>3</sub>은 가장 낮았으며, 북한산은 O<sub>3</sub>을 제외한 나머지 항목에서 대부분 낮게 나타났다.

3. 풍향별 대기오염물질의 분포를 보면 관악산은 주풍향을 반영하여 미세먼지의 경우 겨울철, 서남서풍에서 높은 농도를 나타냈으나 가스상 물질은 주풍과는 상관성이 낮았다. 남산은 주풍향과 오염물질 농도분포 간에 상관성이 없었으며, 미세먼지는 겨울철 북풍과 동남동풍에서 높게 분포되었다. 북한산 또한 주풍향과 오염물질 농도분포가 상관성이 없었으며, 궁동은 미세먼지의 경우 주풍향의 빈도와 유사한 농도 분포를 보였으나 오존의 경우는 반대의 분포를 보였다. 세곡과 행주는 전 방향에서 고른 농도 분포를 보였다.
4. 이원배치 분산분석 결과 관악산은 겨울에 풍향과 풍속의 교호작용에 따른 농도 차이가 없었고, 남산은 관악산과 달리 겨울을 제외하고 나머지 계절에는 풍향과 풍속의 교호작용에 의한 농도 변화가 없었다. NO<sub>2</sub>와 CO는 북한산을 제외하고 풍속과 음의 상관관계를 보였는데, R이 겨울철에 높고 여름철에 낮게 나타나 온도와 음의 상관관계를 보임을 판단할 수 있었다. O<sub>3</sub>은 모든 지점에서 풍속과 양의 상관관계를 보였는데 북한산은 다른 지점과 달리 R이 겨울에 낮고 여름에 높았다. PM10과 PM2.5는 지점별, 계절별로 풍향과 풍속의 교호작용에 따른 농도 차이가 다르게 나타났고, PM10은 풍속과 상관성이 낮았으나 PM2.5는 여름을 제외하고 음의 상관성을 보였다.
5. 회귀분석 결과 NO<sub>2</sub>의 수정된 Ra<sup>2</sup> 값이 겨울에 가장 높게 나타났고 여름이 가장 낮았다. 전 계절에 걸쳐 CO 및 Temp와 양의 관련성을 보였으며 UV와 O<sub>3</sub>는 음의 관련성이 나타났다. CO는 궁동과 행주가 가을을 제외하고 Ra<sup>2</sup> 값이 0.5 이하로 낮게 나타났으며 NO<sub>2</sub>, HUM 그리고 UV와는 양의 관련성을, Temp와는 여름을 제외하고 음의 관련성을 나타내었다. O<sub>3</sub>는 지점별로 궁동의 Ra<sup>2</sup> 값이 가장 낮았고, 나머지 지역의 Ra<sup>2</sup> 값은 겨울이 가장 높고 여름이 낮았다. NO<sub>2</sub>와는 음의 관련성을 보였으며 WS와 Temp는 양의 관련성을 보였다. PM10의 Ra<sup>2</sup>

값은 가을에 가장 높았으며 봄이 가장 낮았고 WS와 양의 관련성을, HUM과는 음의 관련성을 나타내었다. PM2.5 역시 Ra<sup>2</sup> 값은 가을이 가장 높았으며, 봄이 가장 낮았다. 그러나 WS가 음의 관련성을 보였고, CO와 HUM은 양의 관련성을 보여 WS와 HUM가 PM10과 반대의 결과를 나타내었다. 전 항목과 모든 계절에서 궁동의 Ra<sup>2</sup> 값이 가장 낮게 나타난 원인은 다른 측정망과는 달리 주택지 주변에 위치하고 있기 때문인 것으로 사료되며, 세곡은 겨울을 제외하고 가스상 물질의 Ra<sup>2</sup> 값이 높게 나타났는데 도로변에 위치하고 있기 때문에 자동차 배출가스의 영향을 직접적으로 받기 때문인 것으로 판단되었다.

이상의 연구결과로 보아 서울시 배경 및 경계측정망의 풍향과 풍속은 각기 다른 양상을 보여주고 있음을 알 수 있었다. 더욱이 도심 내 일반 측정망은 건물 등 주변 환경에 영향을 받아 풍향과 풍속이 매우 상이하리라 예상된다. 그러기에 각 측정망의 기상인자와 대기오염물질 간의 관련성을 조사하기 위해서는 기상장비가 필수적으로 운영되어야 하리라 판단된다. 서울기상측정소의 자료나 주변 측정소의 기상 자료를 이용해서는 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 없기에 기상장비 운영에도 지속적인 예산 지원이 필요하리라 판단된다. 추후 다년간의 자료를 분석하고 비교해 봄으로써 이번 연구 결과의 신뢰성을 높이고, 측정망 운영의 체계적인 기초자료로 활용할 수 있도록 하겠다.

## 참고문헌

1. 어수미, 김광진, 이규남 : 기상인자가 대기오염에 미치는 영향, 한국환경위생학회지, 23(4): 104~114, 1997.
2. 엄수현, 이철기, 이우기 : 인천광역시 기상 데이터를 통해 살펴 본 기후와 대기오염물질 관계 분석, Journal of Information Technology and Architecture, 12(2):271~276, 2015.
3. 오광중, 광진, 정덕영, 손건태 : 부산지역의

- 대기오염물질농도와 기상인자간의 통계분석, 대한환경공학회지, 20(9):1235~1245, 1998.
4. 황윤정, 이순진, 도화석, 이윤기, 손태정, 권택규, 한정욱, 강동훈, 김종우 : 대구지역 대기 중 미세먼지의 오염도 분석 및 기상인자에 따른 영향 평가, 한국대기환경학회지, 25(5): 459~471, 2009.
  5. 신찬기, 김윤신 : 서울 일부지점의 대기오염 농도와 기상인자의 관련성 연구, 대한위생학회지, 7(2):141~152, 1992.
  6. 이정환, 최성우, 최혁 : 다중회귀를 이용한 대구시 주거지역의 오존농도 예측, 한국환경과학회지, 15(2):117~118, 2006.
  7. 임윤석, 최용석, 안미진, 이순희, 윤종철, 조석주, 어수미, 정권 : 기상요소의 영향을 고려한 서울시 주요 대기오염물질 농도의 장기 추세 특성연구(NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>), 서울시보건환경연구원보, 50:195~218, 2014.
  8. 임지원, 김재희 : 서울지역의 대기오염물질과 기상인자에 대한 다변량 분석, 통계연구논문집, 1:17~30, 2004.
  9. 박동현, 강인준, 김나영, 한기봉 : 대기오염물질과 기상인자의 상관관계 해석, 한국지형공간정보학회, 5:195~196, 2012.
  10. 강병서, 김계수 : SPSS 17.0 사회과학 통계 분석, 한나래출판사, p.265~276, 2009.