

## 도시대기측정망 자료를 이용한 대구지역 대기오염물질의 공간분포에 관한 연구

### A Study for Spatial Distribution of Principal Pollutants in Daegu Area Using Air Pollution Monitoring Network Data

주 재 희 · 황 인 조\*

대구대학교 환경공학과

(2011년 6월 7일 접수, 2011년 7월 5일 수정, 2011년 8월 25일 채택)

Jae-Hee Ju and InJo Hwang\*

*Department of Environmental Engineering, Daegu University*

(Received 7 June 2011, revised 5 July 2011, accepted 25 August 2011)

#### Abstract

The objective of this study was to estimate the trends of each pollutant using the air pollution monitoring networks data from January 2005 to December 2008 in Daegu area. Also, the spatial characteristics of each pollutant were determined using the Pearson correlation coefficients and COD (coefficients of divergence). In this study, the trends of hourly, monthly, seasonal, and total average concentrations of each pollutant for the 10 sites were analyzed. The Ihyeon site showed highest concentration for the SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, and PM10. In the case of O<sub>3</sub>, the Jisan site showed highest concentration among the other sites. Also, industrial area presented highest concentration for the SO<sub>2</sub>, CO, and PM10. On the other hand, NO<sub>2</sub> showed highest in commercial area. The IDW (inverse distance weighting) method was used to estimate characteristics of spatial distribution. The results provide identify spatial distribution for each pollutant. Also, the Pearson correlation coefficients and COD values provide spatial variability among the monitoring sites. The COD of each pollutant showed very low values for all of the sites pairs. On the other hand, the Pearson correlation coefficients showed high values for all of the sites pairs. Finally, analysis of spatial variability can be used to characterize the spatial uniformity and similarity of concentrations from each pollutant.

**Key words :** Air pollution monitoring network, Spatial distribution, Pearson correlation coefficient, COD

#### 1. 서 론

우리나라는 현재 총 400개소(2007년 9월 기준 국

가 98개소, 지방자치단체 302개소)의 대기오염 측정망을 운영 중이다. 대기오염 측정망의 운영 목적은 도시지역의 평균 대기질 농도를 파악하여 대기환경 기준 및 목표치 달성여부를 결정·평가하고, 광범위한 지역의 배경농도 및 국가적 배경농도를 파악하기 위해서이다. 즉, 주요 대도시 지역의 대기질을 측정하

\*Corresponding author.

Tel : +82-(0)53-850-6695, E-mail : [ihwang@daegu.ac.kr](mailto:ihwang@daegu.ac.kr)

기 위한 국가적 차원의 데이터베이스를 제공하고, 도시지역과 비도시지역에 대한 대기오염 경향을 장기간 관찰하기 위하여 대기오염 측정망을 운영하고 있다. 또한 대기오염 측정망은 대기질 악화를 방지하고, 대기질 악화에 대해 빠르게 대응하기 위해서, 심각한 대기오염 사건에 대한 방지 및 완화를 위한 비상 조치 이행 계획을 수립하기 위한 기초자료 제공, 그리고 오염원의 규제 방법을 개발하거나 영향도를 결정하고 효율적인 대기오염 저감 대책의 수립 및 평가를 위한 기초자료를 확보하기 위한 목적으로 운영되고 있다(Demerjian, 2000).

또한 대기오염 측정망은 특정 지역의 어떤 대기오염이 실제로 발생하였는지에 대한 정보를 제공해 주며, 이에 대하여 어떻게 효율적으로 규제하고 제어할 것인가에 대한 지침을 제공해 주는 중요한 역할을 한다. 대기오염 측정망은 획득된 자료를 어떠한 목적으로 사용할 것인지, 얼마나 정확한 자료를 측정할 수 있는지, 운영 및 유지 보수 등에 대한 경제적인 측면 등을 고려하여 설치한다(Handscombe and Elsom, 1982).

우리나라의 대기오염 측정망은 각각의 설치목적에 의해 대기환경기준물질을 측정하는 일반 대기오염 측정망과 대기환경기준물질 이외의 물질을 측정하는 특수 대기오염 측정망 등으로 분류할 수 있으며, 총 10개 종류의 측정망(도시대기, 도로변, 산성 강하물, 국가 배경, 교외 대기, 대기 중금속, 유해 대기, 광화학 오염물질, 시정거리, 지구대기 측정망)을 설치·운영하고 있다(환경부, 2006). 그러나 대기오염 측정망 운영에 있어 가장 큰 문제점은 대기오염에 대한 종합적 분석 기능의 미비이다. 즉, 측정지점의 대기환경 기준물질의 오염도만을 측정하여 단순한 농도 변화 경향 정도만 분석하는 수준에 머무르고 있는 등 대기질에 대한 종합적인 영향 및 분석 기능이 미흡한 실정이며, 또한 대기오염 측정망 자료를 이용한 연구도 매우 부족한 실정이다.

국내의 경우, 통계적 방법을 이용한 측정소의 대표성 검토 및 보완 방법을 제시한 연구(Woo *et al.*, 1997)가 수행된 바 있으며, 도시대기 측정망 자료에 대해 군집분석을 이용한 전국 PM10 농도 변화 특성 분석을 통하여 지역 내의 다른 특성을 가지는 측정소들을 분류하였으며 지역적인 특성을 파악한 연구(Han *et al.*, 2008)가 수행된 바 있다. 또한 전국 측정

망 자료를 이용한 대도시의 고농도 오염 사례 및 특징을 평가한 연구(Kim *et al.*, 2004), 다양한 환경적 요인 변화에 따른 부산지역 대기오염 측정망의 적절성을 평가하여 측정망의 설치 및 재배치 등에 대한 방법을 제안한 연구(Yoo and Park, 2006) 등이 수행되었다. 국외의 경우, 칠레 산티아고 시의 대기오염 측정망 최적화 연구와 대기오염 측정망의 PM10과 오존 자료에 대하여 군집분석을 통한 오염 현황 조사 연구가 수행된 바 있다(Grasmich *et al.*, 2006; Silva and Quiroz, 2003). 또한 프랑스 파리의 대기오염 측정망 자료를 이용한 대기오염물질의 농도 경향 및 공간분포 특성 연구(Ionescu *et al.*, 2000), 대만 북부 지역의 대기오염 측정망에 대한 합리적인 설치 방법론과 시스템 개발에 관한 연구 등이 수행된 바 있다(Chen *et al.*, 2006).

연구 대상지역인 대구시는 지역의 대기오염 실태를 파악하기 위하여 현재 총 14곳의 대기오염 측정망을 운영하고 있다. 대구시는 우리나라의 동남부 내륙에 위치하고 있으며, 2개 노선의 철도와 4개 노선의 고속도로가 연결된 교통의 중심지 역할을 하고 있다. 대구는 분지형 도시이며, 북쪽에 위치한 금호강은 대구시 서쪽으로 흘러 낙동강과 합류한다. 기후적 특성으로는 지형적 조건에 의해 겨울은 춥고 여름은 매우 더운 내륙 분지의 전형적인 특징을 보이고 있다. 대구시의 산업구조는 기계, 금속, 섬유, 자동차 부품 산업 중심에서 로봇, 의료기기, 태양광 등과 같은 첨단산업 중심으로 변화하고 있다. 대구시의 대기환경은 80년대까지 산업화 정책으로 심각하였지만 90년대 이후로 대기오염 개선 노력에 따라 점차적으로 개선되고 있는 실정이다. 그러나 전술한 바와 같이 대구지역은 분지형 도시로서 오염원에서 배출된 대기오염물질의 확산이 원활하지 않아 대기질 관리가 어려운 실정이다. 특히, 겨울철의 주풍향은 북서풍으로서 북서지역에 위치한 공단에서 배출된 오염물질이 도심지역으로 유입되어 대기질을 악화시키는 현상을 유발한다(대구광역시, 2010).

이러한 상황에서 본 연구에서는 대구지역의 대기오염 측정망 자료를 이용하여 각 측정 항목들의 농도 변화와 경향을 파악하고자 하였다. 또한 각 측정 항목들의 농도값을 이용하여 대기오염물질의 공간분포 및 공간적 변이성을 파악하고자 하였으며, 이러한 연구 결과는 향후 대기오염에 대한 종합적 분석 기

능 미비와 같은 문제점 개선, 도시지역의 대기오염도에 대한 대표성 확보, 대기오염 측정망 자료의 활용, 대기오염 측정망의 확충, 위치 산정 및 위치 이동, 그리고 대기오염물질 저감 대책 및 정책 수립 등을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 2. 연구방법

### 2.1 대기오염 측정망 자료

연구 대상지역인 대구시에는 현재 14곳의 대기오염 측정망(11곳의 도시대기 측정망, 2곳의 도로변 대기 측정망, 4곳의 대기 중금속 측정망; 3곳은 중복)이 운영되고 있다. 본 연구에서는 10곳(수창동, 이현동, 대명동, 노원동, 신암동, 만촌동, 지산동, 갈산동, 율하동, 태전동)의 도시대기 측정망 자료를 이용하였으며, 각 대기오염 측정망의 위치와 주소, 그리고 용도구분 등에 대한 내용을 그림 1과 표 1에 나타내었다.

이들 측정망에서는  $SO_2$ ,  $O_3$ ,  $NO_2$ , CO, PM10 등과 같은 5종의 주요 대기오염물질의 농도를 5분 간격으로 측정하고 있다. 본 연구에서는 2005년 1월부터 2008년 12월까지 측정된 대구시 대기오염 측정망 자료를 사용하였으며, 측정망 자료의 통계처리는 대기환경연보에서 제시한 방법을 준용하여 처리하였다(환경부·국립환경과학원, 2009). 즉, 5분 간격으로 측정된 자료는 75% 이상의 측정 자료가 확보되었을 경우 1시간 평균값을 계산한다. 국립환경과학원에서 제공한 자료는 이러한 방법에 의해 처리된 1시간 평균 자료이며, 해당일의 1시간 평균 유효 측정값이 75% 이상인 자료를 이용하여 일평균, 월평균, 그리고 연평균 농도를 계산하였다.

### 2.2 공간분석 (spatial analysis)

공간분석은 공간과 관련된 위치정보와 속성정보로 이루어진 공간자료(spatial data)의 주요 패턴을 조사하고 대상지역 내에서 이 패턴과 다른 속성과의 가능한 관계들을 찾아내는 것이다. 여기서 위치정보는 보통 2차원 또는 3차원의 좌표로, 속성정보는 변수(예: 농도값) 등으로 표현된다. 즉, 공간분석을 이용하면 동일시간에 지역적으로 상이한 측정 장소에서 측정한 자료를 평면상에서 시각적으로 표현이 가능하다(Rebert and Derek, 1992).

공간분석법 중 가장 널리 사용되는 방법은 거리반비례평균법 (inverse distance weighting; IDW), kriging 법, 다항회귀분석법 (polynomial regression analysis)

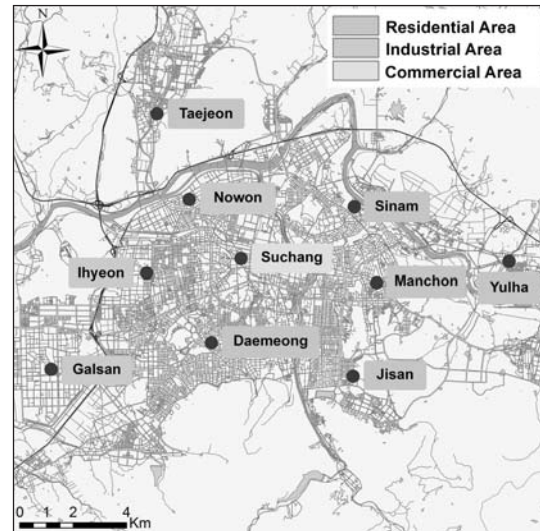


Fig. 1. Location of the air pollution monitoring networks in Daegu area.

Table 1. Summary for the air pollution monitoring networks in Daegu area.

Station code	Station	Installation year	Location	Land use
422114	Suchang	1992	73, Suchang-dong, Jung-gu, Daegu	Commercial area
422132	Ihyeon	1994	48-60, Ihyeon-dong, Seo-gu, Daegu	Industrial area
422141	Daemeong	1994	3050, Daemeong-dong, Nam-gu, Daegu	Residential area
422153	Nowon	1996	262, Nowon-dong 3-ga, Daegu	Industrial area
422154	Sinam	1992	Sinam 5-dong, Dong-gu, Daegu	Residential area
422161	Manchon	1996	934, Manchon 2-dong, Suseong-gu, Daegu	Residential area
422115	Jisan	2000	761-11, Jisan-dong, Suseong-gu, Daegu	Residential area
422171	Galsan	2002	971-1, Galsan-dong, Dalseo-gu, Daegu	Industrial area
422121	Yulha	2001	254-1, Yulha-dong, Dong-gu, Daegu	Residential area
422155	Taejeon	2002	1076-5, Taejeon-dong, Buk-gu, Daegu	Residential area

등이 있으며, 이러한 공간분석법들은 다양한 환경분야 연구에 사용된 바 있다 (Kim and Hwang, 2009). 전술한 바와 같이 공간분석법 중 일반적으로 널리 사용되는 IDW 방법과 kriging 방법 중에서 본 연구의 경우는 IDW 방법을 사용하였는데, 그 이유는 위치정보가 많을 경우 kriging법이 더 좋은 결과를 나타내는 것으로 알려져 있지만 (Jun *et al.*, 2006), 본 연구와 같이 측정 장소의 수가 적을 경우는 두 가지 방법의 결과가 큰 차이가 없기 때문이다.

각각의 측정망에서 측정된 각 대기오염물질의 농도값을 바탕으로 미측정 장소 (unsampled location)의 농도값을 추정하여 각 농도값들의 공간적 패턴 (또는 공간적 분포)을 파악하기 위하여 IDW 방법을 이용하였으며,  $S_0$ 라는 장소에서의 예측 농도값은 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\hat{Z}(S_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(S_i) \quad (1)$$

여기서,  $\lambda_i$ 는 거리 가중치를 의미하며 농도추정 지점과 근처의 측정 장소 사이의 거리에 의해 결정된다. 또한  $Z(S_i)$ 는 측정 장소  $S_i$ 에서의 실제 농도값을 의미한다. 거리 가중치  $\lambda_i$ 는 농도추정 지점과 근처의 측정 장소까지의 거리에 의해 결정되며 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\lambda_i = \frac{d_i^k}{\sum_{i=1}^n d_i^k} \quad (2)$$

여기서,  $k$ 는 중심 가중치를,  $d_i$ 는 농도추정 지점과 근처의 측정 장소  $i$ 사이의 거리를 의미한다. IDW 방법은 2차원 분포의 농도값에 의존하여 수행되는데, 추정하고자 하는 예측 농도값은 농도추정 지점에 근접한 측정 장소의 농도값에 크게 영향을 받고 멀리 떨어진 측정 장소의 농도값에는 상대적으로 영향을 덜 받게 된다 (Kim and Hwang, 2009).

## 2.3 공간적 변이성 분석 (analysis of spatial variability)

대구시 대기오염 측정망에 대한 공간적 변이성 (spatial variability)을 평가하기 위하여 공간적 변이성 분석을 수행하였다. 즉, 대구시에 위치한 각 대기오염 측정망의 항목별 공간적 특성 (변이성)을 평가하기 위하여 본 연구에서는 피어슨 상관계수와 발산

계수 (coefficients of divergence; COD) 값을 이용하였으며, COD 값은 다음의 식에 의해 계산이 된다.

$$COD_{jk} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_{ij} - x_{ik}}{x_{ij} + x_{ik}} \right)^2} \quad (3)$$

여기서,  $x_{ij}$ 는 각 대기오염 측정망  $j$ 에서 측정 항목  $i$ 에 대한 평균 농도값을 의미하며,  $j$ 와  $k$ 는 인접한 두 곳의 대기오염 측정망,  $n$ 은 대기오염 측정망에서 측정하는 항목들의 수를 의미한다. 식 (3)에 의해 계산된 COD는 대기오염 측정망 사이의 균일도 (degree of uniformity) 정도를 나타낸다. 즉, 두 곳의 대기오염 측정망에서 측정값이 유사하면 COD 값이 0으로 접근하고, 반대로 측정값이 다르면 COD 값은 1로 접근하게 된다.

또한 피어슨 상관계수는 대기오염 측정망 사이의 유사도 (degree of similarity)를 나타내며, 두 장소의 대기오염 측정망에서 측정 항목의 농도값이 높은 상관성을 갖게 되면 상관계수는 1로 접근하고 낮은 상관성을 가지면 0으로 접근한다. 즉, 높은 상관계수 값은 두 장소의 대기오염 측정망에서 특정 측정 항목의 농도값에 영향을 미치는 특정 오염원의 기여가 유사하다는 것을 의미한다. 피어슨 상관계수와 COD를 이용한 공간적 변이성 분석 연구는 다음의 문헌을 참고할 수 있다 (Hwang *et al.*, 2008; Wongphatarakul *et al.*, 1998).

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 대기오염물질의 농도 경향

본 연구에서는 대구지역 10개 도시대기 측정망 자료를 이용하여 각 측정소에 대한 대기오염물질의 시간별, 월별, 그리고 계절별 농도 경향을 파악하였으며, 이를 그림 2, 그림 3 및 표 2에 나타내었다. 먼저 각 측정소에 대한 시간별  $SO_2$  농도의 경우는 오전 9시~11시 사이에 가장 높은 농도를 나타내는 것으로 조사되었다 (그림 2). 또한 10개 측정소 모두 1시간 대기환경기준 (0.15 ppm)을 모두 만족하는 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 대구시의 경우 1984년부터 B-C유의 황 함유량을 4%에서 1.6%로 강화하여 저유황 연료를 사용하고 있으며, 매년 B-C유 및 경유에 대한 황 함유량 기준을 강화하여 청정연료로의

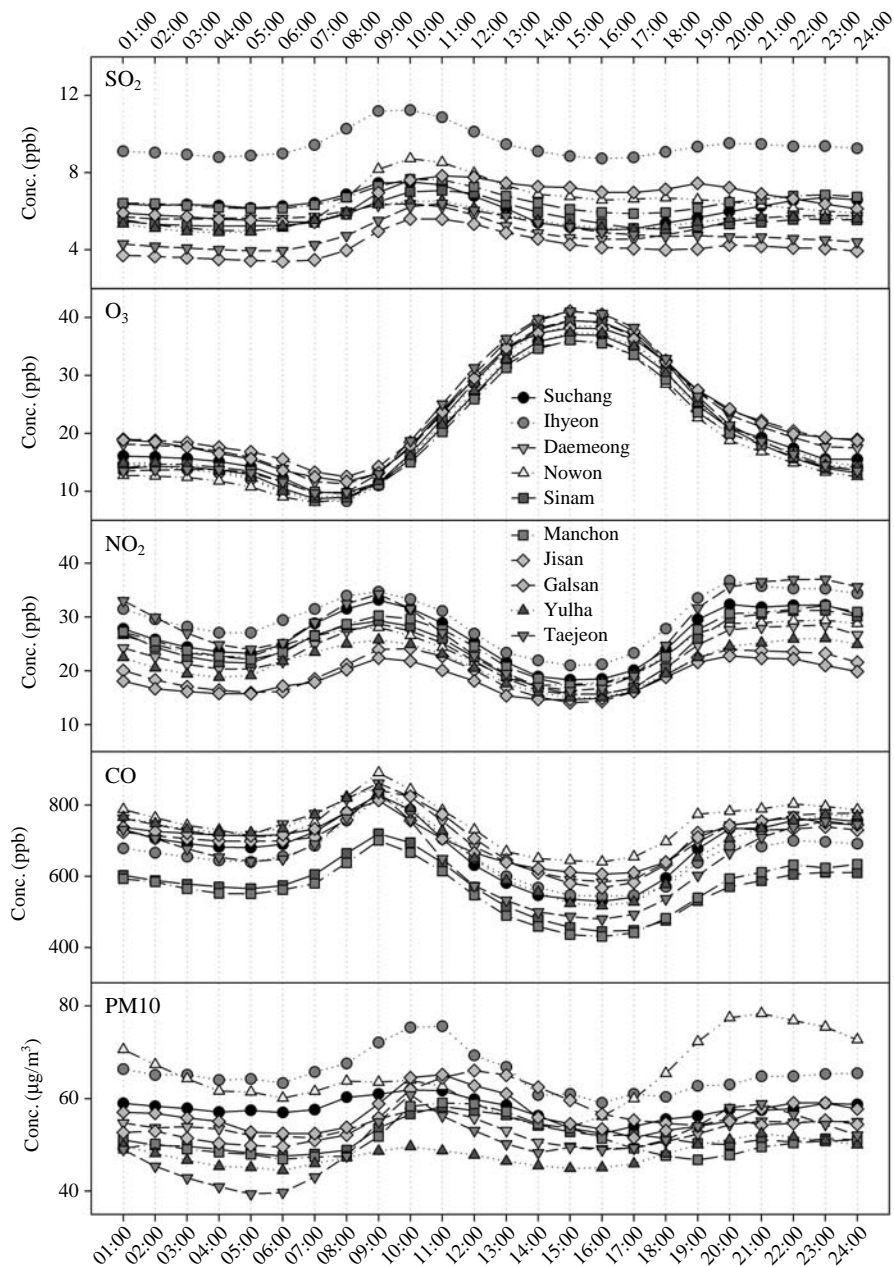


Fig. 2. Hourly average concentrations of each pollutant for the air pollution monitoring networks in Daegu area.

전환, 배연 탈황시설의 설치 등을 통하여  $\text{SO}_2$  농도를 획기적으로 개선하려고 노력한 결과인 것으로 판단된다(대구광역시, 2010). 월별 농도 경향의 경우, 화석연료의 연소가 증가하는 11월, 12월, 1월에 높은

농도를 나타내었으며(그림 3), 계절별 농도 경향 역시 10개 측정소 모두 겨울철에 가장 높은 것으로 조사되었는데(표 2), 이는 겨울철 난방용 연료 소비 증가로 인한  $\text{SO}_2$  농도의 증가인 것으로 사료된다.

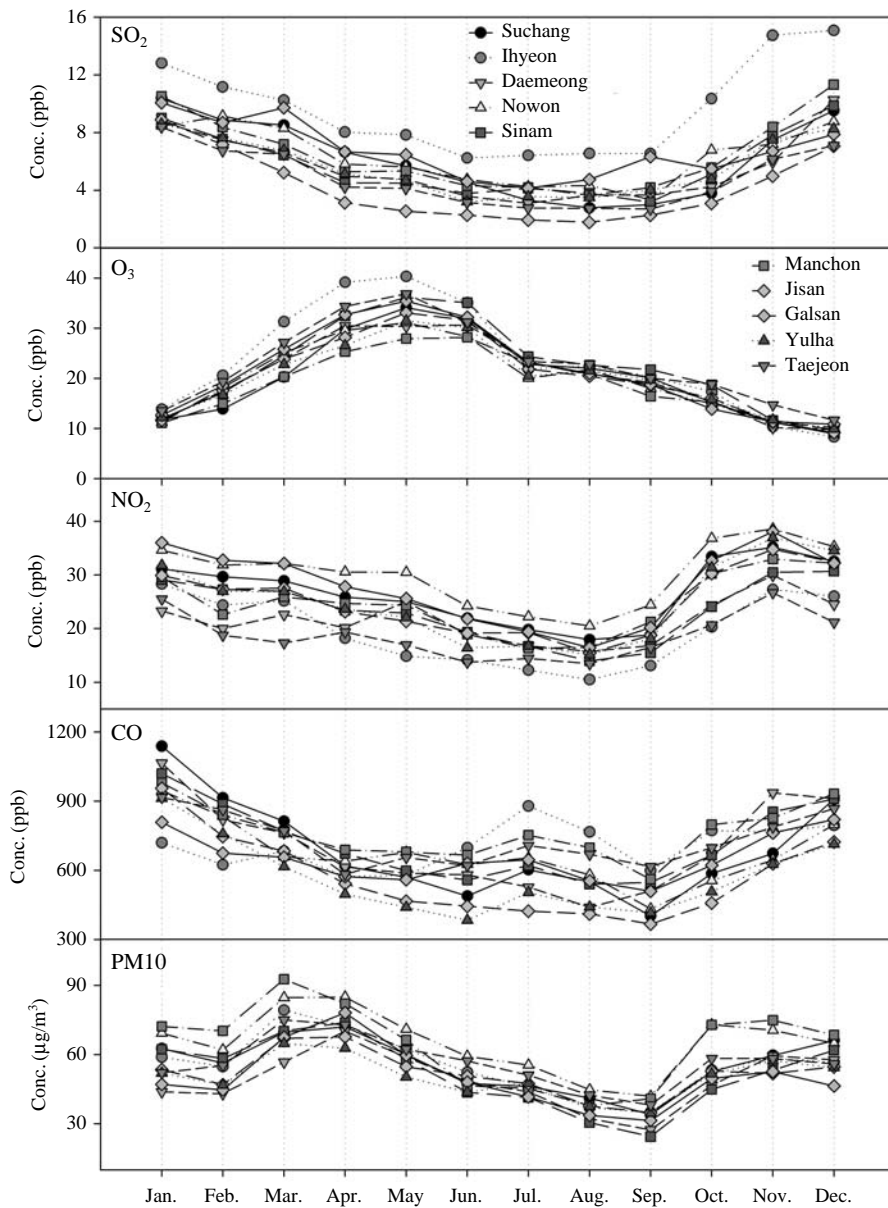


Fig. 3. Monthly average concentrations of each pollutant for the air pollution monitoring networks in Daegu area.

다음으로  $O_3$ 의 경우는 각 측정소별로 시간에 대한 농도 경향이 거의 유사한 것으로 조사되었으며, 오후 3시경에 가장 높은 농도값을 나타내고 있었다. 또한  $NO_2$ 의 경우는 출근 시간대인 오전 7시~9시경에 높은 농도값을 나타내고, 낮 시간대는 농도가 점차 감소하는 경향을 보이며, 퇴근 시간대인 오후 5시부터

점차 증가하여 약 오후 8시경에 최대 농도를 나타내는 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 출, 퇴근 시간에 주로 자동차로부터 배출된  $NO_2$ 가  $O_3$ 의 전구물질로 작용하여  $O_3$ 의 농도를 증가시킨다는 연구 결과와 잘 일치하는 것을 의미한다 (Pitts and Pitts, 2000). 또한  $SO_2$ 와 마찬가지로 10개 측정소 모두 1시간 대기



**Table 2. The seasonal average concentrations of each pollutant for the 10 air pollution monitoring networks in Daegu area.**

		Suchang	Ihyeon	Daemeong	Nowon	Sinam	Manchon	Jisan	Galsan	Yulha	TaeJeon
SO <sub>2</sub> (ppb)	Spring	7.0	8.7	5.4	6.6	5.1	5.9	3.6	7.6	5.5	4.9
	Summer	3.5	6.4	3.4	4.4	3.9	4.0	2.0	4.5	3.4	2.9
	Fall	4.8	10.7	4.6	5.8	5.5	6.3	3.4	6.2	5.4	4.2
	Winter	9.0	13.1	8.6	8.7	8.7	10.1	7.9	9.2	8.4	7.7
	Avg.	6.2	9.4	5.5	6.4	5.7	6.5	4.2	6.8	5.6	4.8
O <sub>3</sub> (ppb)	Spring	28.1	28.6	31.1	24.5	28.4	26.9	36.9	32.8	28.2	31.3
	Summer	25.6	24.0	27.3	24.0	24.6	24.0	26.5	25.8	24.9	25.5
	Fall	15.5	14.7	17.4	14.4	15.5	15.1	16.0	17.9	14.9	14.7
	Winter	11.8	14.1	13.2	12.1	13.5	13.2	15.2	15.1	13.0	14.4
	Avg.	20.8	20.5	22.8	19.0	20.8	20.1	23.9	23.1	20.5	21.6
NO <sub>2</sub> (ppb)	Spring	26.6	31.1	24.4	25.0	24.0	24.2	19.4	17.9	22.6	28.5
	Summer	19.9	22.3	16.7	17.3	17.9	16.1	12.3	13.9	17.2	19.3
	Fall	29.2	33.8	23.4	27.6	28.4	30.1	20.2	21.3	23.7	30.3
	Winter	30.6	33.5	28.8	28.7	29.3	30.9	27.5	21.8	22.7	34.4
	Avg.	26.4	29.7	23.2	24.4	24.5	25.0	19.4	18.7	21.5	27.9
CO (ppm)	Spring	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.6	0.7	0.7	0.6
	Summer	0.5	0.6	0.6	0.7	0.4	0.4	0.8	0.7	0.5	0.6
	Fall	0.6	0.5	0.7	0.8	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.6
	Winter	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.9	1.0	0.8
	Avg.	0.7	0.7	0.7	0.8	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6
PM-10 (µg/m <sup>3</sup> )	Spring	67.2	80.2	67.4	80.3	63.1	59.3	71.3	70.1	61.9	68.4
	Summer	49.8	53.1	38.5	43.2	45.2	42.9	45.1	50.2	41.4	41.1
	Fall	48.1	61.8	40.8	61.5	45.3	49.9	46.0	51.5	44.5	44.5
	Winter	65.3	66.7	63.3	71.8	52.9	51.9	58.0	55.6	47.5	46.0
	Avg.	56.8	65.1	52.4	64.6	51.5	50.5	55.5	56.6	48.8	50.1

환경기준 (O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> 각각 0.1 ppm)을 모두 만족하는 것으로 조사되었다. O<sub>3</sub>의 경우는 모든 측정소에서 4월과 5월에 가장 높은 농도를 나타내었으며, 계절별로는 모든 측정소에서 봄철에 높은 농도를 나타내는 것으로 조사되었다. 또한 NO<sub>2</sub>의 경우는 10월, 11월, 12월에 높은 농도를, 그리고 계절별로는 이현동, 율하동(가을철에 최고 농도) 측정소를 제외한 모든 측정소에서 겨울철에 가장 높은 농도를 나타내는 것으로 조사되었다.

다음으로 CO의 시간별 농도 경향은 NO<sub>2</sub>와 매우 유사한 경향을 나타내는 것으로 조사되었다. 즉, 농도가 점차 증가하여 오전 9시경에 최고 농도를 나타내고, 점차 감소한 후 오후 4경부터 다시 농도가 증가하는 경향을 나타내었다. CO의 경우 역시 모든 측정소에서 1시간 평균 대기환경기준(25 ppm)을 크게 밑도는 것으로 조사되었다(그림 2). 월별 농도 경향은

12월, 1월에 높은 농도를, 계절별로는 연소 활동이 증가하는 겨울철에 가장 높은 농도를 나타내었다. 그러나 지산동 측정소의 경우는 여름철에 최고 농도를 나타내었고, 가을철과 겨울철은 유사한 평균 농도값을 나타내어 다른 측정소와는 다른 경향을 보이고 있었다.

마지막으로 PM10의 경우는 각 측정소별로 약간의 농도 편차는 존재하지만 시간별 농도 경향은 유사한 것으로 나타났다. 즉, 일과 시작 시간대와 퇴근 시간대에 주로 높은 농도를 나타내는 것으로 조사되었다. PM10의 월별 농도 경향은 황사의 영향을 받는 3월, 4월에 최고 농도를 나타내고 있으며, 계절별 농도 경향은 봄철과 겨울철에 높은 농도를 나타내는 것으로 조사되었다.

연구기간(2005년~2008년) 동안의 대구지역 10개 도시대기 측정망에 대한 대기오염물질별 평균 농도

를 그림 4에 나타내었다. 먼저  $\text{SO}_2$ 의 경우는 이현동 측정소가 최고 평균 농도를, 지산동 측정소가 가장 낮은 평균 농도를 나타내는 것으로 조사되었다. 이현동 측정소의 서쪽과 서북서 방향에는 각종 공장들이 밀집되어 있는 공업지역이다. 또한 서쪽으로는 중부

내륙고속지선 도로가, 북쪽으로는 경부고속도로가 위치해 있으며, 연구기간 동안의 대구지역 주풍향은 서북서, 서풍으로 조사되어(기상청, 2009) 공업지역에서 배출된  $\text{SO}_2$ 가 영향을 미친 것으로 사료된다. 또한 지산동 측정소는 주거지역이며, 주변이 산으로 둘러

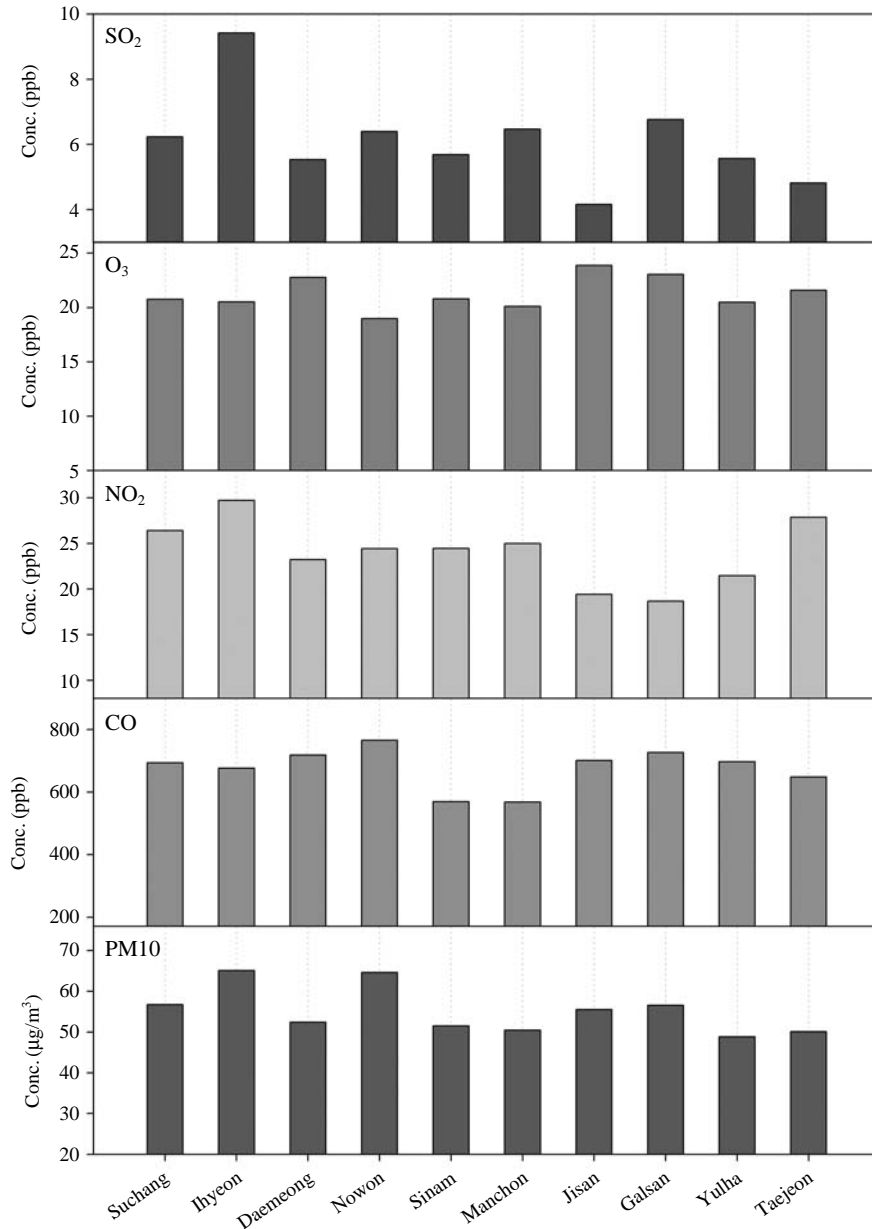


Fig. 4. Total average concentrations of each pollutant for the air pollution monitoring networks during the sampling periods.



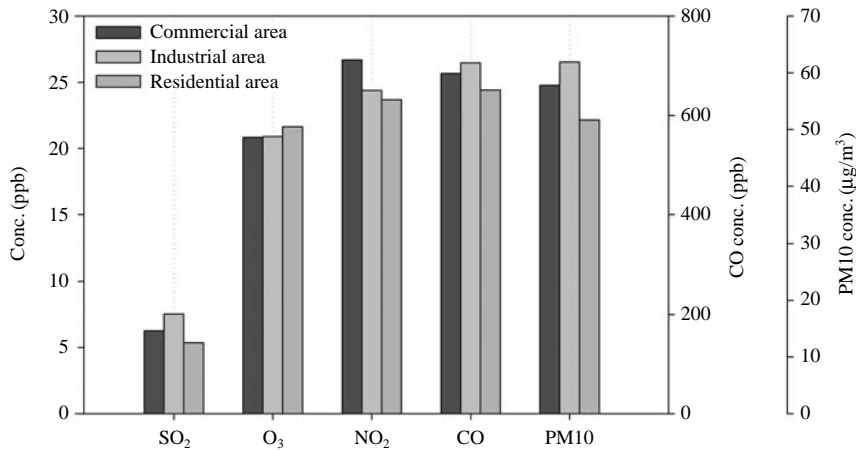


Fig. 5. Total average concentrations of each pollutant for land use during the sampling periods.

싸여 있어 낮은 농도를 나타내는 것으로 판단된다. O<sub>3</sub>에 대한 장소별 전체 평균은 19.0 ppb(노원 측정소)~23.9 ppb(지산동 측정소)의 범위로 지역적 차이는 거의 없는 것으로 조사되었다. NO<sub>2</sub>의 경우는 이현동 측정소(29.7 ppb)와 태전동 측정소(27.9 ppb)가 높은 농도값을 나타내었으며, 지산, 갈산동 측정소의 경우는 각각 19.4, 18.7 ppb로 가장 낮은 농도값을 나타내고 있는 것으로 조사되었다. 이현동과 태전동의 경우는 주풍향 방향에 경부고속도로, 중앙고속도로, 그리고 지방도로 등이 위치해 있어 많은 차량의 통행에 의해 배출된 NO<sub>2</sub>의 영향으로 사료된다. 다음으로 PM10의 경우, 이현동 측정소(65.1 µg/m<sup>3</sup>)와 노원동 측정소(64.6 µg/m<sup>3</sup>)가 높은 농도를 나타내었다. 두 측정소는 공업지역으로서 특히, 노원동 측정소의 경우는 대구 3공단의 중앙에 위치해 있어 다른 측정소에 비해 높은 PM10 농도를 나타낸 것으로 사료된다.

대구지역 10개 도시대기 측정망을 토지용도별로 상업지역(수창동), 공업지역(이현동, 노원동, 갈산동), 주거지역(대명동, 신암동, 만촌동, 지산동, 율하동, 태전동) 등으로 구별하여 연구기간 동안의 평균농도를 그림 5에 나타내었다. 먼저, SO<sub>2</sub>의 경우는 공업지역(7.5 ppb)이 상업지역(6.3 ppb)과 주거지역(5.4 ppb)에 비해 높은 농도를 나타내는 것으로 조사되었다. O<sub>3</sub>의 경우는 상업지역, 공업지역, 주거지역(각각 20.8, 20.9, 21.7 ppb) 모두 유사한 농도값을 나타내었다. NO<sub>2</sub>의 경우는 다른 지역에 비해 자동차의 통행이 빈

번할 것으로 예상되는 상업지역(26.7 ppb)이 가장 높은 농도를 나타내는 것으로 조사되었으며, 공업지역(24.4 ppb)과 주거지역(23.7 ppb)은 유사한 농도를 나타내고 있었다. CO는 공업지역(705.8 ppb)에서 가장 높은 농도를 나타내었으며, PM10의 경우 역시 주요 오염원이 밀집되어 있는 공업지역(61.9 µg/m<sup>3</sup>)이 가장 높은 농도를 나타내는 것으로 조사되었다.

### 3. 2 대기오염물질의 공간분포 및 공간적 변이성

도시대기 측정망 자료의 각 항목들에 대한 공간적 분포 패턴을 파악하기 위하여 10개 측정소에서 측정된 대기오염물질의 농도값을 이용하여 미측정 장소의 농도값을 추정하는 공간분석을 수행하였다. 이때 입력된 자료는 2005년 1월부터 2008년 12월까지 측정된 대기오염물질의 평균값을 이용하였다. 공간분석은 지리정보시스템(geographic information system; GIS) 프로그램인 ArcGIS(ver. 9.3, ESRI Inc.)를 이용하였다. ArcGIS 프로그램으로 계산된 각 항목들의 분포도를 수치지도에 중첩시켜 나타내었으며, 그 결과를 그림 6에 나타내었다. 전술한 바와 같이 연구의 성격 그리고 입력자료의 성격, 종류 및 위치정보(즉, 측정장소의 수)의 수 등에 따라 공간분석의 결과는 조금씩 차이가 있는데, 본 연구에서는 IDW 방법을 이용하여 공간분석을 수행하였다.

첫 번째 SO<sub>2</sub>의 경우는 이현동 부근에서 가장 높은 농도의 공간분포를 나타내고 있다. 전술한 바와 같이

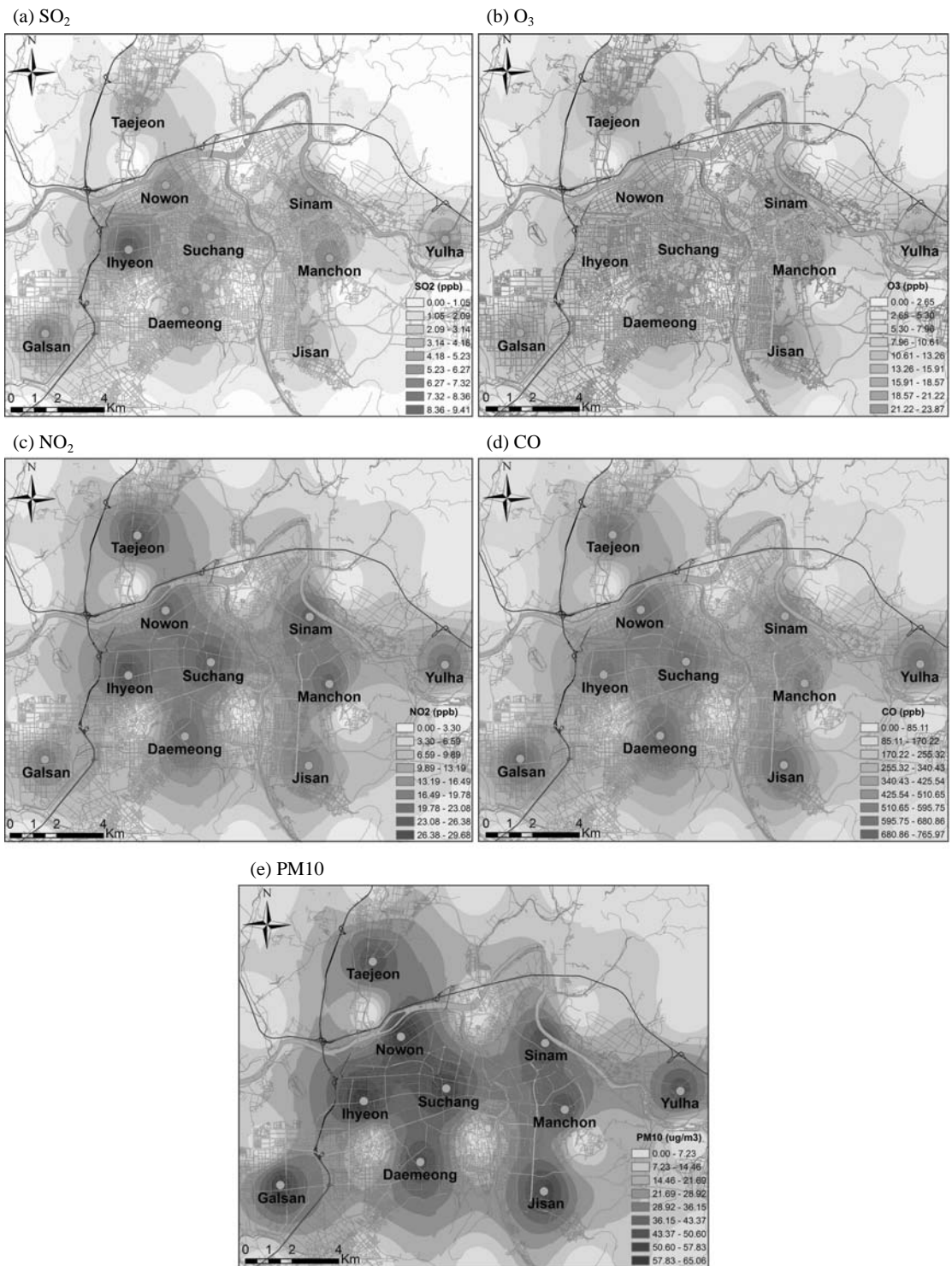


Fig. 6. Comparison of the each concentration for spatial interpolation of each species estimated by the IDW method.

이 장소는 각종 공장들이 밀집되어 있는 공업지역으로서 이곳에서 배출된  $\text{SO}_2$ 의 영향인 것으로 사료된다. 반면에 동쪽 방향으로 떨어진 신암, 만촌, 지산동 부근은 낮은 농도의 공간분포를 나타내는 것으로 조사되었다. 다음으로  $\text{O}_3$ 의 경우는 갈산, 대명, 지산동 등 주로 연구대상 지역의 남쪽 부분이 고농도를 나타내고 있었다. 반면에  $\text{NO}_2$ 의 경우는 태진, 이현, 수성동 측정소 등과 같이 연구대상 지역을 통과하는 주요 고속도로 부근의 측정소에서 높은 농도의 공간분포를 나타내는 것으로 조사되었다. 네 번째 CO의 경우는 신암, 만촌동 측정소 부근을 제외한 대부분의 측정소 부근이 고농도의 공간분포를 나타내고 있었다. 특히, 갈산 및 연구지역의 중심부인 노원, 이현, 수성, 그리고 대명동 측정소 주변의 CO 공간분포가 높은 것으로 조사되었다. 마지막으로 PM10의 경우는 공단 지역에 위치해 있는 이현, 노원, 갈산동 측정소 부근이 고농도의 공간분포를 나타내고 있었다.

전술한 바와 같은 공간분포 분석은 각 항목들의 공간적 농도 분포를 시각적으로 손쉽게 확인할 수 있으며, 각 오염물질의 정성적 오염원 위치 확인 등에 사용될 수 있다. 본 연구에서 사용된 IDW 방법은 거리의 역수를 가중값으로 하기 때문에 연구지역에서 측정된 값(본 연구의 경우는 측정망의 수)이 많으면 많을수록(즉, 측정값과 측정값 사이의 거리가 짧아질수록) 공간분석의 결과는 더 정확한 값이 산정될 것이다. 측정소 사이의 미측정 위치에서 대기오염물질의 농도가 오염원의 분포에 따라 측정소에서의 농도보다 높을 가능성도 존재한다. 이러한 원인은 IDW 방법의 경우 거리가 가까울수록 가중값의 영향이 상대적으로 크며, 거리가 멀수록 영향은 적어지기 때문이다. 본 연구의 경우는 연구 대상지역에서 총 10개 측정소 자료를 이용하여 공간분석을 수행하였지만 위치정보 즉, 측정 장소의 수를 증가시켜 공간분석에 입력되는 농도값의 수가 증가할수록 공간분포에 대한 해상도는 증가할 것으로 사료된다. 또한 공간분포의 해상도가 증가할수록 좀 더 정확한 정성적 오염원의 위치 파악이 가능할 것으로 판단된다(Kim and Hwang, 2009).

대구시 대기오염 측정망에 대한 공간적 변이성(spatial variability)을 평가하기 위하여 피어슨 상관계수와 COD 값을 이용하여 공간적 변이성 분석을 수행하였다. 대구시 10개 측정망의 각각의 쌍(pair)에

대한 각 오염물질의 피어슨 상관계수 평균값과 COD 평균값을 그림 7에 나타내었다. 각 오염물질에 대한 피어슨 상관계수 평균값의 범위는 0.59(CO)~0.88(PM10)이며, 각 오염물질에 대한 COD 평균값의 범위는 0.15( $\text{O}_3$ )~0.27( $\text{SO}_2$ )로 조사되었다. 대기오염물질 중 PM10의 경우 가장 높은 상관계수 값(0.88)과 낮은 공간적 변이성(0.16)을 나타내었다.  $\text{O}_3$ 의 경우는 두 번째로 높은 상관계수 값(0.86)과 가장 낮은 공간적 변이성(0.15)을 나타내는 것으로 조사되었다. 반면에 CO와  $\text{SO}_2$ 의 경우는 낮은 상관계수 값(0.59, 0.70)과 높은 COD 값(0.22, 0.27)을 나타내었다.

전술한 바와 같이 COD는 대기오염 측정망 사이의 균일도 정도를 의미하는데, 두 곳의 대기오염 측정망에서 측정된 각 오염물질의 측정값이 유사하면 COD 값이 0으로 접근하고, 반대로 측정값이 다르면 COD 값은 1로 접근하게 된다. 또한 피어슨 상관계수는 대기오염 측정망 사이의 유사도(degree of similarity)를 의미하며, 높은 상관계수 값은 두 곳의 대기오염 측

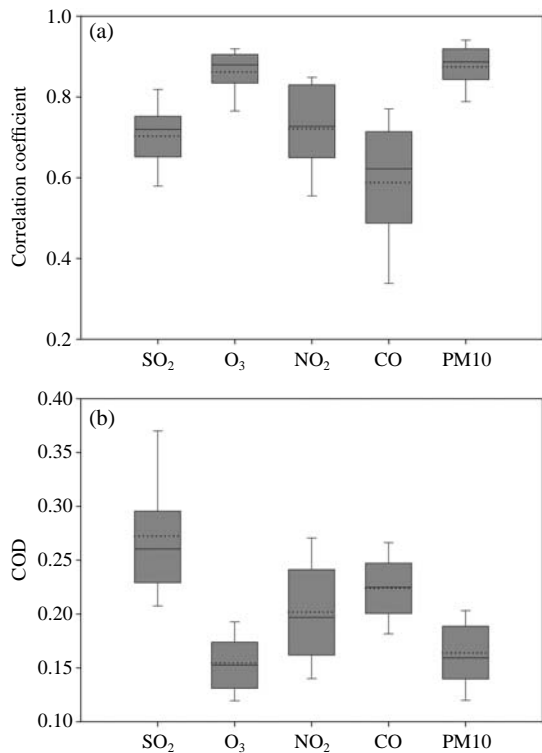


Fig. 7. Average correlation coefficients (a) and COD (b) for each concentration between all of the site pairs.

정망에서 특정 측정 항목의 농도값에 영향을 미치는 특정 오염원의 기여가 유사하다는 것을 의미한다(측정 항목의 농도값이 높은 상관성: 상관계수는 1로 접근, 낮은 상관성: 0으로 접근). 본 연구의 경우는 각 측정망 쌍에 대한 각 오염물질의 COD 값이 0.15~0.27의 범위로 매우 낮은 값을, 그리고 피어슨 상관계수는 0.59~0.88의 범위로 높은 값을 나타내었다. 이러한 결과는 본 연구지역의 10개 대기오염 측정망이 공간적으로 유사하며 균일하다는 것을 의미한다. 즉, 본 연구지역의 대기오염 측정망의 수가 적정한 것이 아니라, 연구지역의 측정망이 공간적으로 과다하게 운영되고 있다는 것을 의미한다. 현재 각 지자체들은 대기오염 측정망을 확충하여 국민들의 환경적 요구에 부응하고 있는 실정이지만 측정 자료의 정확도 및 정밀도 문제, 전문 인력의 부족, 대기오염에 대한 종합적 분석 미비, 측정망 설치 및 운영기관의 중복으로 인한 측정망 운영 효율 저하, 예산 낭비 등과 같은 문제점들을 가지고 있다. 그러므로, 무조건적인 측정망의 확충이 아니라 과학적 근거에 의한 측정망의 설치가 이루어져야 할 것으로 사료된다. 본 연구 결과는 향후 대기오염 측정망의 확충, 위치 선정 및 위치 이동, 효율적인 대기오염 측정망의 운영 등을 위한 자료로 이용할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 대구지역 10곳의 대기오염 측정망에서 2005년 1월부터 2008년 12월까지 측정된 각 항목들의 농도 변화와 경향을 파악하고자 하였다. 또한 각 측정 항목들의 농도값을 이용하여 대기오염물질의 공간분포 특성 및 대기오염 측정망에 대한 공간적 변이성을 파악하고자 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

대구지역 10개 대기오염 측정망에 대한 각 대기오염물질의 시간별, 월별, 계절별 농도 경향을 파악하였다. 또한 연구기간 동안의 각 측정망에 대한 대기오염물질별 평균 농도 경향을 파악하였다.  $SO_2$ 의 경우는 이현동 측정소,  $O_3$ 의 경우는 지산동 측정소,  $NO_2$ 는 이현동 측정소, CO는 노원동 측정소, PM10의 경우는 이현동과 노원동 측정소가 가장 높은 농도를 나타내고 있었다. 토지 용도별 각 오염물질에 대한 농

도 경향은  $SO_2$ 의 경우는 공업지역,  $O_3$ 은 상업, 공업, 주거 지역 모두 유사한 경향을,  $NO_2$ 의 경우는 상업지역, CO는 공업지역, 마지막으로 PM10의 경우 역시 공업지역이 다른 지역에 비해 높은 농도값을 나타내는 것으로 조사되었다.

대기오염물질의 공간분포 특성을 파악하기 위하여 공간분석 방법 중 IDW 방법을 이용하였다. 이러한 결과는 각 항목들의 공간적 분포를 시각적으로 손쉽게 확인할 수 있었으며, 공간분포에 대한 해상도가 개선된다면 정성적 오염원의 확인 및 위치 파악이 가능할 것으로 판단된다. 또한 연구지역 대기오염 측정망에 대한 공간적 변이성을 파악하기 위하여 측정망 각각의 쌍에 대한 각 오염물질의 피어슨 상관계수와 COD 값을 계산하였다. 각 측정망 쌍에 대한 각 오염물질의 COD 값은 매우 낮은 값을, 피어슨 상관계수는 비교적 높은 값을 나타내었다. 이러한 결과는 연구지역 10개 측정망이 공간적으로 유사하고 균일하다는 것을 의미한다.

이러한 연구 결과는 향후 대기오염에 대한 종합적 분석 기능 미비와 같은 문제점 개선, 도시지역의 대기 오염도에 대한 대표성 확보, 대기오염 측정망 자료의 활용, 대기오염 측정망의 확충, 위치 선정 및 위치 이동, 효율적 운영 그리고 대기오염물질 저감 대책 및 정책 수립 등을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 2009학년도 대구대학교 학술 연구비 지원(과제 번호: 20070429)에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- 기상청(2009) 기상연감(2008).
- 대구광역시(2010) 2010 환경백서; 대구의 환경.
- 환경부(2006) 환경백서.
- 환경부·국립환경과학원(2009) 대기환경연보(2008).
- Chen, C.H., W.L. Lin, and C.H. Chen(2006) Development of a multiple objective planning theory and system for sustainable air quality monitoring networks, Science

- of the Total Environment, 354, 1-19.
- Demerjian, K.L. (2000) A review of national monitoring networks in North America, *Atmospheric Environment*, 34, 1861-1884.
- Gramsch, E., F. Cereceda-Balic, P. Oyola, and D. von Baer (2006) Examination of pollution trends in Santiago de Chile with cluster analysis of PM10 and ozone data, *Atmospheric Environment*, 40(28), 5464-5475.
- Han, J.H., M.H. Lee, and Y.S. Ghim (2008) Cluster analysis of PM10 concentrations from urban air monitoring network in Korea during 2000 to 2005, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 24(3), 300-309. (in Korean with English abstract)
- Handscombe, C.M. and D.M. Elsom (1982) Rationalisation of the national survey of air pollution monitoring network of the United Kingdom using spatial correlation analysis: A case-study of the greater London area, *Atmospheric Environment*, 16(5), 1061-1070.
- Hwang, I.J., P.K. Hopke, and J.P. Pinto (2008) Source apportionment and spatial distributions of coarse particles during the Regional Air Pollution Study, *Environ. Sci. Technol.*, 42, 3524-3530.
- Ionescu, A., Y. Candau, E. Mayer, and I. Colda (2000) Analytical determination and classification of pollutant concentration fields using air pollution monitoring network data: Methodology and application in the Paris area, during episodes with peak nitrogen dioxide levels, *Environmental Modelling & Software*, 15, 565-573.
- Jun, W., M.W. Arthur, and J.D. Ralph (2006) Exposure assessment of particulate matter air pollution before, during, and after the 2003 Southern California wildfires, *Atmospheric Environment*, 40, 3333-3348.
- Kim, C.H., I.S. Park, S.J. Lee, J.S. Kim, H.A. Jin, and H.G. Sung (2004) On the recent air pollution levels observed in the regional air monitoring network-High air pollution concentration episodes and their meteorological characteristics in 2002, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 20 (2), 215-224. (in Korean with English abstract)
- Kim, T.O. and I.J. Hwang (2009) The study for characteristics and spatial distribution of carbonyl compounds at electronic industrial complex, *Korean Journal of Odor Research and Engineering*, 8(4), 179-187.
- Pitts, B.J.F. and J.N. Pitts (2000) *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere*, Academic Press.
- Rebert, L. and T. Derek (1992) *Fundamentals of Spatial Information Systems*, Academic Press.
- Silva, C. and A. Quiroz (2003) Optimization of the atmospheric pollution monitoring network at Santiago de Chile, *Atmospheric Environment*, 37(17), 2337-2345.
- Wongphatarakul, V., S.K. Friedlander, and J.P. Pinto (1998) A comparative study of PM2.5 ambient aerosol chemical databases, *Environ. Sci. Technol.*, 32, 3926-3934.
- Woo, J.H., S.T. Kim, and J.W. Kim (1997) Evaluation and complement of the representativeness of air quality monitoring stations using passive air samplers, *Journal of Korea Air Pollution Research Association*, 13(6), 415-426. (in Korean with English abstract)
- Yoo, E.C. and O.H. Park (2006) The assessment of air quality monitoring network considering the change of various environmental factors in Busan, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 22(4), 405-420. (in Korean with English abstract)