

ORIGINAL ARTICLE

## 다변량분석법을 활용한 수도권지역의 대기오염측정망 평가

최임조\* · 조완근<sup>1)</sup> · 신승호<sup>2)</sup>

울산 보건환경연구원, <sup>1)</sup>경북대학교 환경공학과, <sup>2)</sup>대구보건대학교 보건환경과

### Evaluation of Air Pollution Monitoring Networks in Seoul Metropolitan Area using Multivariate Analysis

Im-Jo Choi\*, Wan-Keun Jo<sup>1)</sup>, Seung-Ho Sin<sup>2)</sup>

Ulsan Institute of Health & Environment, Ulsan 44642, Korea

<sup>1)</sup>Department of Environmental Engineering, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

<sup>2)</sup>Department of Health Environment, Daegu Health College, Daegu 41453, Korea

#### Abstract

The adequacy of urban air quality monitoring networks in the largest metropolitan city, Seoul was evaluated using multivariate analysis for SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub>, and O<sub>3</sub>. Through cluster analysis for 5 air pollutants concentrations, existing monitoring stations are seen to be clustered mostly by geographical locations of the eight zones in Seoul. And the stations included in the same cluster are redundantly monitoring air pollutants exhibiting similar atmospheric behavior, thus it can be seen that they are being operated inefficiently. Because monitoring stations groups representing redundancy were different depending on measurement items and several pollutants are being measured at the same time in each air monitoring station, it is seemed to be not easy to integrate or transmigrate stations. But it may be proposed as follows : the redundant stations can be integrated or transmigrated based on ozone of which measures are increasing in recent years and alternatively the remaining pollutants other than the pollutant exhibiting similar atmospheric behavior with nearby station's can be measured. So it is considered to be able to operate air quality monitoring networks effectively and economically in order to improve air quality.

**Key words** : Air quality monitoring networks, Cluster analysis, Geographical locations, Ozone

#### 1. 서론

대기오염측정망은 설치목적에 따라 대기환경기준물질 측정하는 일반 대기오염측정망과 대기환경기준물질이외의 물질을 측정하는 특수대기오염측정망으로, 설치·운영기관에 따라 국가측정망과 지자체측정망으로 구분하고 있다(Ministry of Environment, 2011). 현재 전국 97개 시·군에 설치된 311개의 도시대기측정망,

도로변대기측정망, 국가배경측정망, 교외대기측정망에서 측정되는 아황산가스, 이산화질소, 일산화탄소, 미세먼지, 오존 등의 측정데이터는 실시간으로 NAMIS (national ambient air monitoring information system)에 수집된 후 전국대기오염도 실시간공개 웹서비스(AIRKOREA)를 통해 제공된다(KECO, 2016). 일반적으로 지역의 대기오염측정소가 그 지역의 오염도를 대표하는 것으로 인식되며 여기서 측정된 자료는 전체적인

Received 22 February, 2016; Revised 24 March, 2016;

Accepted 5 April, 2016

\*Corresponding author : Im-Jo Choi, Ulsan Institute of Health & Environment, Ulsan 44642, Korea  
Phone : +82-52-229-5642  
E-mail : behappy90@korea.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

현황과악이나 대기질 관리 정책 수립의 기초자료로 쓰이고 있다(Kim and Jo, 2012).

환경부에서는 대기오염측정망에 대해서 설치목적과 측정규모에 맞게 측정소를 분류하여 설치하도록 권고하고 있지만, 현재 운영 중인 측정소는 대기오염물질의 측정규모에 맞게 측정하는 것이 아니라 모든 측정소에서 동일한 대기오염물질을 측정하고 있는 실정이다. 이는 측정규모가 겹치는 오염도가 중복 측정됨으로써 불필요한 측정결과가 사용되어 자료의 객관성을 해치게 될 가능성이 있다(Yu and Kim, 2011). 그리고 일부 측정소는 지리적으로 가깝게 설치되어 있거나 비슷한 측정조건에 의해 특정 지워져 있어 비효율적인 자원의 이용과 과도

한 비용의 결과로 이어진다(Lu et al., 2011).

본 연구에서는 다변량통계분석법을 활용하여 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>의 유사한 대기오염거동을 가지는 도시지역을 확인하였고, 서울시 도시대기측정망이 중복성을 나타내는지를 평가하였다.

## 2. 자료 및 연구방법

### 2.1. 연구의 범위 및 자료

연구대상지역인 서울시 25개 도시대기측정망의 위치와 용도지역에 대한 정보는 Table 1, Fig. 1과 같다(KECO, 2010). 본 연구에서는 2008년부터 2012년까지의 서울시 25개 도시대기측정망 농도자료를 이용하였다.

**Table 1.** Geographical locations of air quality monitoring networks in Seoul

Station name	Land use	Address	Longitude	Latitude
Seosomun (SSM)	Residential	15, Deoksugung-gil, Jung-gu	126°58 ' 33.46 "E	37°33 ' 52.70 "N
Hyoje (HJ)	Commercial	19, Jong-ro 35ga-gil, Jongno-gu	127°00 ' 18.10 "E	37°34 ' 19.29 "N
Myeonmok (MM)	Residential	369, Yongmasan-ro, Jungnang-gu	127°05 ' 39.42 "E	37°35 ' 05.83 "N
Yongdu (YD)	Residential	43, Cheonho-daero 13-gil, Dongdaemun-gu	127°01 ' 46.71 "E	37°34 ' 34.21 "N
Bulgwang (BG)	Residential	215, Jinheung-ro, Eunpyeong-gu	126°55 ' 59.32 "E	37°36 ' 38.10 "N
Daeheung (DH)	Residential	28, Daeheung-ro 20-gil, Mapo-gu	126°56 ' 42.06 "E	37°33 ' 00.48 "N
Dangsan (DS)	Semi-industrial	11, Yangsan-ro 23-gil, Yeongdeungpo-gu	126°53 ' 50.65 "E	37°31 ' 30.00 "N
Sadang (SD)	Residential	6, Sadang-ro 16a-gil, Dongjak-gu	126°58 ' 17.57 "E	37°28 ' 51.56 "N
Sillim (SR)	Residential	14, Sillimdong-gil, Gwanak-gu	126°55 ' 37.52 "E	37°29 ' 17.67 "N
Daechi (DC)	Residential	416, Dogok-ro, Gangnam-gu	127°03 ' 23.61 "E	37°29 ' 49.12 "N
Siheung (SH)	Residential	20, Geumha-ro 21-gil, Geumcheon-gu	126°54 ' 30.00 "E	37°27 ' 08.59 "N
Cheonho (CH)	Residential	59, Gucheonmyeon-ro 42-gil, Gangdong-gu	127°08 ' 12.50 "E	37°32 ' 42.32 "N
Beondong (BD)	Residential	74, Deongneung-ro 41-gil, Gangbuk-gu	127°01 ' 44.83 "E	37°38 ' 16.45 "N
Gileum (GE)	Residential	70, Samyang-ro 2-gil, Seongbuk-gu	127°01 ' 38.15 "E	37°36 ' 24.00 "N
Hannam (HN)	Residential	136, Hannam-daero, Yongsan-gu	127°00 ' 18.30 "E	37°32 ' 25.13 "N
Guui (GU)	Residential	571, Gwangnaru-ro, Gwangjin-gu	127°05 ' 44.54 "E	37°32 ' 40.70 "N
Seongsu (SS)	Semi-industrial	273, Ttukseom-ro, Seongdong-gu	127°02 ' 28.06 "E	37°32 ' 35.18 "N
Ssangmun (SM)	Residential	34, Sirubong-ro 2-gil, Dobong-gu	127°01 ' 45.06 "E	37°39 ' 15.40 "N
Yeohui (YH)	Residential	51, Yeonhui-ro 32-gil, Seodaemun-gu	126°56 ' 16.07 "E	37°34 ' 35.68 "N
Guro (GR)	Semi-industrial	54, Digital-ro 26-gil, Guro-gu	126°53 ' 33.38 "E	37°28 ' 48.64 "N
Banpo (BP)	Residential	16, Sinbanpo-ro 15-gil, Seocho-gu	126°59 ' 40.06 "E	37°30 ' 16.37 "N
Hwagok (HG)	Residential	71, Gangseo-ro 45da-gil, Gangseo-gu	126°50 ' 06.34 "E	37°32 ' 40.76 "N
Bangi (BI)	Green	424, Olympic-ro, Songpa-gu	127°07 ' 27.35 "E	37°31 ' 17.75 "N
Sinjeong (SJ)	Residential	8, Eunhaengjeong-ro 11ga-gil, Yangcheon-gu	126°51 ' 31.28 "E	37°31 ' 23.83 "N
Sanggye (SG)	Residential	17, Sanggye-ro 23-gil, Nowon-gu	127°04 ' 06.42 "E	37°39 ' 31.86 "N

결측치를 제외한 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>의 각각 24,786, 25,287, 24,038, 21,660, 25,036개 시간별 농도 자료를 활용하였고, 통계분석 프로그램은 SAS 9.1을 사용하였다.

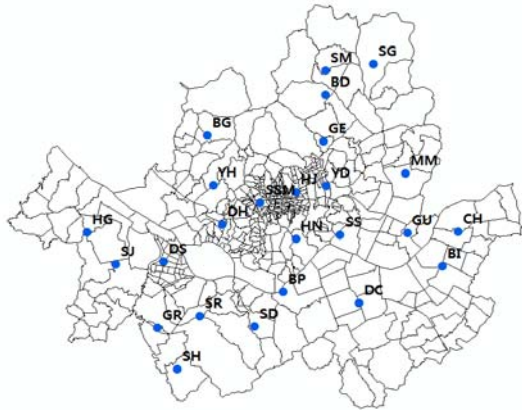


Fig. 1. Urban air quality monitoring networks in Seoul(25).

2.2. 대기오염측정망의 적정성 분석

도시대기측정망의 적정성 평가에서 중복성 기준을 다음과 같이 설정하였다. 첫 번째 기준은 측정소간 직선거리가 4 km 미만을 나타내는 경우이다. 대기오염측정망 설치·운영지침에 의하면 도시대기측정망은 인구 10만 이상의 도시에 설치하고, 측정소간 간격은 4 km 이상을 유지하여 측정소간 중복성을 최소화하고 넓은 지역을 감시할 수 있도록 권고하고 있다(Ministry of Environment, 2011). Jeon(1998)은 경기도내 대기오염측정망의 적정성 연구에서 4 km 이내로 근접한 두 측정소는 비슷한 측정결과가 나올 수 있어 설치기간이 짧은 측정소를 다른 곳으로 이전하는 것을 제안하였다. Na et al.(2005)은 측정소간 거리가 3 km 이내인 측정소에 대한 오염물질별 상관계수를 분석한 결과 높은 상관도로 인해 유사한 대기오염특성을 나타내고 있다고 하였다. 본 연구에서는 환경부의 측정소간 중복성 기준인 4 km을 적용하였다. 모든 측정소간 직선거리를 계산한 결과 환경부 설치기준 4 km 미만의 이격거리를 유지하는 측정망군은 22개로 나타났다. Table 3은 측정망군의 거리가 1.8 ~ 3.8 km인 22개 대상 측정망군을 나타내고 있다. 두 번째 기준은 다변량통계분석 결과 동일한 주성분이나 군집에 속해 있는 경우이다. 측정망의 중복성 평가를 위해서 주성분분석과

군집분석을 활용하였고, 이를 통해 현재 도시대기측정소들을 유사성에 기초하여 각각의 주성분과 군집으로 분류하였다. 그리고 기존 측정소들이 동일한 주성분이나 군집에 속해 있어 중복 측정을 하고 있는지를 알아봄으로써 적정한지를 평가하였다(Choi and Lee, 2011; Gramsch et al., 2006; Lu et al., 2011; Pires et al., 2008). 동일한 주성분이나 군집에 속한 경우라도 측정망간 거리가 4 km 이상이면 중복성의 기준에서 제외하였다.

2.3. 다변량통계분석

주성분분석은 변수들 사이의 상관관계를 분석하여 자료의 차원을 축약하거나 새로운 변수를 만드는 방법이다. 여러 개 다변량 변수들의 분산-공분산 행렬을 이용하여 상관관계가 있는 변수들의 선형결합으로 표시되는 새로운 변수인 주성분들을 찾고, 이 중에서 중요한 몇 개의 주성분으로 전체 변동의 대부분을 설명하고자 하는 다변량 분석기법이다. 주성분의 개수를 결정하는 방법에는 주성분의 전체 변동에 대한 공헌도를 고려하거나, 1 이상의 고유값(eigenvalue)의 개수만큼 선택하는 방법이 있다(Kim and Kim, 2007). 주성분 적재값의 차이를 보다 크게 하여 각 주성분에 해당하는 변수를 선명하게 가려내기 위해 주성분을 회전시키는데 본 연구에서는 베리맥스 회전법을 이용하였다.

군집분석은 대상들이 지니고 있는 다양한 특성의 유사성을 바탕으로 동질적인 군집으로 묶거나 다수의 대상들을 몇 개의 동질적인 군집으로 구분함으로써 동일 군집 내에 속해 있는 공통된 특성들을 조사하는 경우에 사용한다. 군집분석과정은 변수의 선정, 유사성의 측정, 군집화를 통한 군집추출과 같이 크게 3가지 과정으로 나눌 수 있다. 변수의 선정은 중요한 변수가 빠지거나 불필요한 변수가 추가되지 않게 해야 한다. 유사성의 측정은 각 대상이 지니고 있는 특성에 대한 측정치들을 거리로 환산하는 방법이다. 거리 측정 방법으로 일반적으로 많이 사용되는 방법은 유클리디안 거리로서 다음과 같이 계산된다.

$$d(A,B) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{Ai} - X_{Bi})^2}$$

d(A,B) : 대상 A와 B사이의 거리, X<sub>ji</sub> : 대상 j의 변수 i의 좌표, n : 측정변수의 개수

군집화를 통한 군집추출은 크게 비연결 군집분석과 계층적 군집분석으로 나눌 수 있는데, 본 연구에서는 계층적 군집분석의 센트로이드 방법을 사용하였다. 이는 관측치의 중심거리를 먼저 구하고, 이들 중심간의 거리를 구하여 군집간의 거리로 하는 방법이다(Kim, 2012).

군집분석의 결과는 일반적으로 주성분분석의 결과와 일치하는 경우가 많으며, 개체의 그룹화는 군집분석이 더 쉽다. 주성분분석의 결과가 있다면, 군집분석 결과의 군집들이 무엇을 대표하는지 이해하기가 더 수월하다. 따라서 군집분석과 주성분분석을 같이 사용하는 것은 종종 좋은 접근법이 된다(Kim and Kim, 2007).

### 3. 결과 및 고찰

Table 2는 2008 ~ 2012년 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>의 시간별 농도자료에 대한 주성분분석 결과를 나타내고 있다. SO<sub>2</sub>의 경우 주성분 1, 2, 3이 eigenvalue가 1 이상을 나타내고 있고, 총분산의 73.8%를 설명하고 있다. 주성분 1은 불광, 당산, 사당, 시흥, 구의, 성수, 연희, 구로, 반포, 화곡, 신정,이 유사한 특성을 제시하고 있고, SO<sub>2</sub>의 오염수준을 설명하는데 많은 기여를 하고 있다. 주성분 2는 서소문, 효제, 대치, 천호, 번동, 길음, 한남, 쌍문, 방이, 상계의 기여도가 높고, 주성분 3는 면목, 용두, 대흥,

**Table 2.** Principal analysis results for air pollutants of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub> in Seoul

Station name	SO <sub>2</sub>			NO <sub>2</sub>	CO	PM <sub>10</sub>	O <sub>3</sub>
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC1	PC1	PC1
SSM	0.605	<b>0.612</b>	0.191				
HJ	0.463	<b>0.520</b>	0.503				
MM	0.156	0.323	<b>0.830</b>				
YD	0.297	0.415	<b>0.724</b>				
BG	<b>0.617</b>	0.428	0.289				
DH	0.537	0.244	<b>0.633</b>				
DS	<b>0.728</b>	0.153	0.378				
SD	<b>0.607</b>	0.407	0.225				
SR	0.602	0.186	<b>0.660</b>				
DC	0.426	<b>0.603</b>	0.370				
SH	<b>0.568</b>	0.399	0.392				
CH	0.464	<b>0.747</b>	0.172				
BD	0.196	<b>0.766</b>	0.398	-	-	-	-
GE	0.395	<b>0.681</b>	0.379				
HN	0.507	<b>0.657</b>	0.210				
GU	<b>0.646</b>	0.569	0.291				
SS	<b>0.563</b>	0.557	0.078				
SM	0.264	<b>0.700</b>	0.449				
YH	<b>0.639</b>	0.395	0.198				
GR	<b>0.797</b>	0.311	0.279				
BP	<b>0.750</b>	0.476	0.237				
HG	<b>0.689</b>	0.390	0.248				
BI	0.458	<b>0.696</b>	0.331				
SJ	<b>0.661</b>	0.390	0.318				
SG	0.363	<b>0.704</b>	0.368				
Eigenvalue	16.257	1.153	1.047	19.668	18.270	23.002	21.606
Variance (%)	65.0	4.6	4.2	78.7	73.1	92.0	86.4
Cumulative variance (%)	65.0	69.6	73.8	78.7	73.1	92.0	86.4

신림의 기여도가 높다. SO<sub>2</sub>의 주성분분석결과 주성분 1에서는 4 km 미만인 대상 측정망군인 불광-연희, 당산-신정, 사당-반포, 화곡-신정이 같은 주성분에 속해 있음을 알 수가 있다. 주성분 2에서는 서소문-효제, 서소문-한남, 효제-한남, 천호-방이, 반동-길음, 반동-쌍문, 쌍문-상계의 대상 측정망군이 동일한 주성분에 포함되어 있다. 주성분 3에 속한 대상 측정망군은 없음을 알 수 있다. NO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>에 대한 주성분분석 결과에 대해서는 각각 하나의 성분만 추출되었으므로 성분도표를 작성할 수 없었고, 또한 적재값 표시를 할 수 없었다. SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>의 주성분분석 결과 eigenvalue가 1 이상을 가지는 주성분은 각각 총분산의 73.8, 78.7, 73.1, 92.0, 86.4%를 설명하고 있지만 유사한 거동을 설명하기 위해서 여러 개의 범주로 구분하는 것은 어렵다. 특히 NO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>는 많은 측정소에 의해 적재되어 있고, 변량을 설명하는데 높은 비율을 차지하더라도, 하나의 주성분만 추출되어 거동 특성을 설명하기 위한 구분이 어렵다. 따라서 이러한 오염물질에 대해서 군집분석의 적용이 필요하다(Lu et al., 2011).

다음 Fig. 2는 2008 ~ 2012년 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>의 시간별 농도자료에 대한 군집분석 결과를 나타내고 있다. SO<sub>2</sub>의 경우 6개의 군집으로 구분되는데, A군집(길음, 반동, 쌍문, 상계), B군집(효제, 대흥, 용두, 면목, 신림), C군집(신정, 화곡, 구로, 당산), D군집(시흥, 사당), E군집(서소문, 한남, 성수, 구의, 반포, 대치, 방이, 천호), F군집(불광, 연희)으로 나뉜다. SO<sub>2</sub>의 주성분분석 결과와 비교하면 A군집은 주성분2에 속해있고, B군집은 주성분3, C, D, F군집은 주성분 1, E군집은 주성분 1과 주성분 2에 속해 있음을 알 수가 있다. 강북권역의 A군집, 동서울권역의 B군집, 서남권역의 C군집, 남서울권역의 D군집, 도심, 강남과 동남권역의 E군집, 서서울권역의 F군집으로 주로 지리적 위치에 의해서 나뉜다는 것을 알 수가 있다. NO<sub>2</sub>의 경우도 6개의 군집으로 나뉜다. A군집(길음, 반동, 쌍문, 상계), B군집(불광), C군집(효제, 서소문, 연희, 용두), D군집(한남, 성수, 구의, 면목, 방이, 천호), E군집(대흥, 신정, 화곡, 구로, 당산, 신림), F군집(시흥, 사당, 반포, 대치)으로 구분된다. 강북권역의 A군집, 서서울권역의 B군집, 도심권역의 C군집, 동서울과 동남권역의 D군집, 서남권역의 E군집, 그리고 남서울과 강남권역의 F군집으로 구분할 수 있다.

CO는 3개의 군집으로 구분된다. A군집(한남, 대흥, 성수, 신정, 화곡, 구로, 시흥, 당산, 사당, 신림, 반포, 대치, 효제, 서소문), B군집(불광, 연희), C군집(용두, 길음, 반동, 쌍문, 상계, 방이, 구의, 면목, 천호)으로 나눌 수 있다. A군집은 다시 A1(한남, 대흥, 성수, 신정, 화곡, 구로, 시흥, 당산, 사당, 신림, 반포, 대치), A2(효제, 서소문)로 구분된다. C군집은 다시 C1(용두, 길음, 반동, 쌍문, 상계, 방이), C2(구의, 면목, 천호)로 구분된다. CO의 군집분석 결과를 살펴보면 A1군집은 서남, 남서울과 강남권역, A2군집은 도심권역, B군집은 서서울권역, C1군집은 강북과 동남권역, C2군집은 동서울과 동남권역으로 구분되는 것을 알 수 있다. PM<sub>10</sub>의 경우 5개의 군집으로 나눌 수 있고, A군집(효제, 서소문, 한남, 불광, 성수, 용두, 길음, 쌍문, 반포), B군집(구의, 면목, 대치, 방이, 천호), C군집(반동, 상계), D군집(대흥, 화곡, 구로, 당산, 신림, 연희), E군집(신정, 시흥, 사당)으로 나뉜다. D군집은 다시 D1(대흥, 화곡, 구로, 당산, 신림), D2(연희)로 구분된다. A, C군집은 도심, 강북과 서서울권역, B군집은 강남, 동서울과 동남권역, D1, D2군집은 서서울과 서남권역, E군집은 남서울권역을 나타내고 있다. O<sub>3</sub>는 군집분석 결과 5개의 군집으로 구분할 수 있다. A군집(효제, 서소문, 불광, 용두, 길음), B군집(반동, 쌍문, 상계), C군집(성수, 구의, 면목, 방이, 천호), D군집(한남, 대흥, 신정, 화곡, 구로, 시흥, 당산, 사당, 신림, 반포, 대치), E군집(연희)으로 나뉜다. D군집은 다시 D1(한남, 대흥, 신정, 화곡, 구로, 시흥, 당산, 사당, 신림, 반포)과 D2(대치)로 나뉜다. A군집과 E군집은 도심과 서서울권역, B군집은 강북권역, C군집은 동서울과 동남권역, D군집은 서남, 남서울과 강남권역으로 구분됨을 알 수 있다. 서울시 도시대기측정망의 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub> 농도자료에 대한 군집분석 결과 기존의 측정소들이 주로 지리적 위치, 즉 도심, 강북, 동서울, 동남, 강남, 남서울, 서남, 서서울의 8개 서울시 권역에 따라 군집으로 그룹화 되어 있음을 확인할 수 있다.

Table 3은 서울시 도시대기측정망의 측정소간 거리가 4 km 미만인 22개 대상 측정망군이 속하는 군집을 나타내고 있다. SO<sub>2</sub>의 경우 12개, NO<sub>2</sub>에 대해서는 14개, CO의 경우 13개, PM<sub>10</sub>에 대해서는 11개 그리고 O<sub>3</sub>의 경우 13개의 측정망군이 각각 동일한 군집에 속해 있어 중복성을 나타내고 있다. SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub> 모든

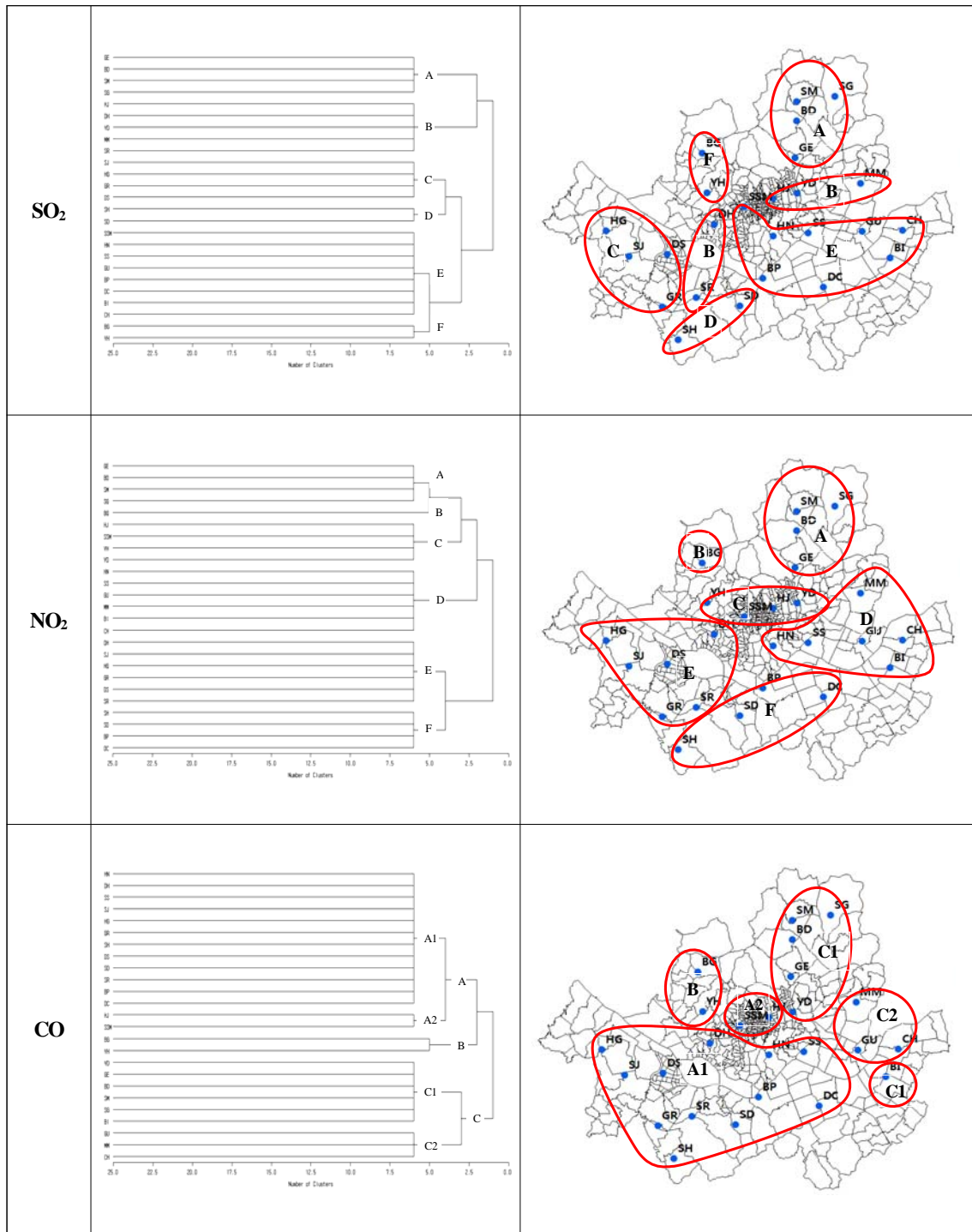


Fig. 2. Cluster analysis results for air pollutants of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub> in Seoul.

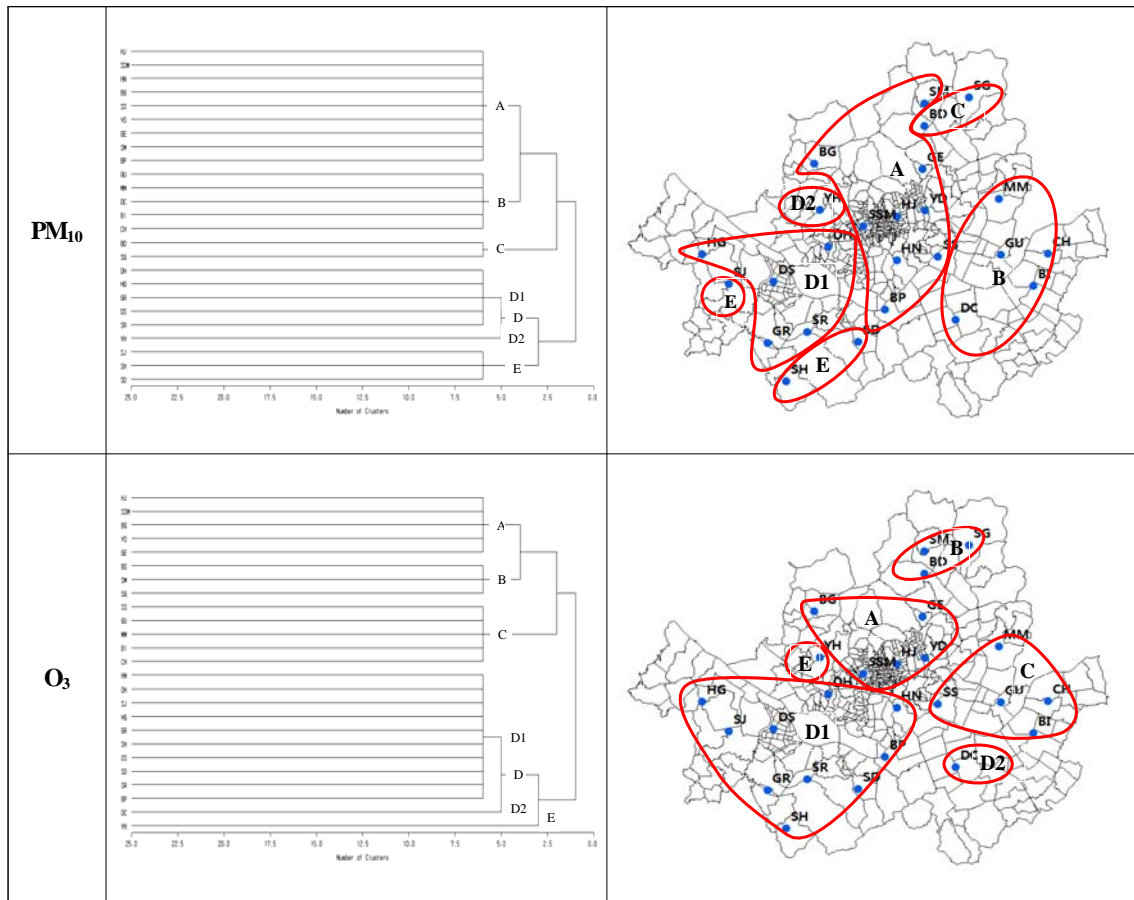


Fig. 2. Continued.

항목에 대해서는 천호-구의가 공통적으로 동일군집에 속해 있음을 알 수 있다. 동일한 군집에 속한 대상 측정망군들은 이들 오염물질들의 유사한 대기거동에 의해 특징 지워져 있어 두 측정소 중 하나로 이전·통합이 가능할 것으로 보인다. 하지만 기존 도시대기측정망에서는 여러 측정항목들이 각 측정소에서 동시에 측정되고 있기 때문에 하나의 항목만을 기준으로 통합 혹은 이전 설치가 쉽지 않을 것이다. 따라서 이들 측정항목 중 근래에 연평균 농도가 증가하고 있고, 대기환경기준의 초과율이 높은 O<sub>3</sub>을 기준으로 중복되는 지점을 통합하고 필요한 지역에 새로운 지점을 추가 설치하는 방안을 고려해 볼 수 있을 것이다. 그리고 현재의 도시대기측정망은 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>의 모든 항목을 일괄적으로 측정하게 되어

있어 각 도시의 토지이용현황과 측정소 환경에 따른 조건을 반영하지 못하고 있다. 따라서 인근 측정소와 중복성을 보이는 측정항목을 제외한 측정소가 대표하는 항목에 대해서 측정이 이뤄진다면 대기오염의 개선을 위해서 효과적이면서도 경제적으로 측정망을 운영할 수 있고, 필요한 지역에 측정소를 추가할 수 있는 여력이 생길 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

우리나라 수도권 대도시인 서울지역 도시대기측정망의 적정성 평가를 위해 다변량통계분석을 이용하였다. 다변량분석법을 통해 현재 서울에 위치한 도시대기측정망에 대해서 유사성을 기초로 각각의 주성분과 군집으로

**Table 3.** Target monitoring station groups belonging to the same cluster in Seoul

Target group	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	PM <sub>10</sub>	O <sub>3</sub>
SSM-HJ		C	A2	A	A
SSM-DH					
SSM-HN	E			A	
SSM-YH		C			
HJ-YD	B	C		A	A
HJ-HN				A	
YD-GE			C1	A	A
YD-SS				A	
BG-YH	F		B		
DH-YH					
DS-SJ	C	E	A1		D
SD-BP		F	A1		D
SR-GR		E	A1	D	D
SH-GR			A1		D
CH-GU	E	D	C2	B	C
CH-BI	E	D		B	C
BD-GE	A	A	C1		
BD-SM	A	A	C1		B
HN-SS	E	D	A1	A	
GU-BI	E	D		B	C
SM-SG	A	A	C1		B
HG-SJ	C	E	A1		D

분류하고, 측정소간 거리가 4 km 미만인 대상 측정망군이 동일한 주성분이나 군집에 속하는지를 분석하여 중복성 여부를 평가하였다.

서울시 도시대기측정망의 5개 오염물질 농도자료에 대한 주성분분석결과 SO<sub>2</sub>의 경우 3개의 주성분이 추출되었지만, NO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>의 경우 각각 1개의 주성분만 추출되어 유사한 대기오염거동을 나타내는 측정소들을 그룹화하기 위한 구분이 어려운 것으로 나타났다. 이를 보완하기 위하여 군집분석을 적용한 결과 도시대기 측정망들이 SO<sub>2</sub> 6개, NO<sub>2</sub> 6개, CO 3개, PM<sub>10</sub> 5개, O<sub>3</sub> 5개의 군집으로 나뉘어 주로 서울시의 8개 권역으로 구분됨을 알 수 있었다.

측정소간 거리가 4 km 미만이고, 동일한 군집에 속해 있어 중복성을 보이는 대상 측정망군은 SO<sub>2</sub> 12개, NO<sub>2</sub> 14개, CO 13개, PM<sub>10</sub> 11개, O<sub>3</sub> 13개로 나타났고, 모든

항목에 대해서는 천호-구의가 중복성을 보였다. 측정항목에 따라 중복성을 나타내는 측정망군이 다르게 나타났고, 각 측정소에서는 여러 항목들이 동시에 측정되고 있어 하나의 항목만을 기준으로 측정소의 통합 혹은 이전 설치가 쉽지 않을 거라 판단된다. 하지만 이들 측정항목 중 근래 들어 연평균 농도가 증가하고 있고, 대기환경기준의 초과율이 높은 O<sub>3</sub>을 기준으로 중복되는 지점을 통합하고 새로운 지점을 추가로 설치하는 방안을 고려해 볼 수 있을 것이다. 그리고 각 측정소의 토지이용현황과 측정소 환경을 반영하도록 인근 측정소와 중복성을 보이는 측정항목을 제외한 측정소가 대표하는 항목에 대해서 측정하도록 하는 방안을 생각해 볼 수 있다.

다변량분석법을 이용한 도시대기측정망의 적절성 평가는 우리나라에서 운영되고 있는 전체 측정망의 최적위치 선정을 위해서 적용될 수 있고, 측정소를 추가 선정할



때 경제성을 고려하여 최소·최적의 장소를 선정할 수 있는 기초자료 및 공간분석기법을 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

#### REFERENCES

- Choi, S. W., Lee, J. B., 2011, Feasibility study for the location of air quality monitoring network in daegu area, *J. Environ. Sci. int.*, 20(1), 81-91.
- Gramsch, E., Cereceda-Balic, F., Oyola, P., Von Baer, D., 2006, Examination of pollution trends in Santiago de Chile with cluster analysis of PM10 and Ozone data, *Atmospheric Environment*, 40, 5464-5475.
- Jeon, M. G., 1998, Study of the optimal allocations of air pollution monitoring stations in kyonggi-Do, *Kyonggi Development Institute*, 98-08, 82-83.
- Kim, C. R., 2012, SAS data analysis, 21 Century Publishing, 363-418.
- Kim, H. J., Jo, W. G., 2012, Assessment of PM10 monitoring stations in daegu using GIS interpolation, *Korean Society for Geospatial Information System*, 20(2), 3-4.
- Kim, Y. J., Kim, H. G., 2007, *Environmental statistics*, Donghwa technology Publishing, 164-177.
- Korea Environment Corporation (KECO), 2016, <http://www.airkorea.or.kr>.
- Korea Environment Corporation (KECO), 2010, Air pollution monitoring stations metrological location Handbook, 1-2.
- Lu, W. Z., He, H. D., Dong, L. Y., 2010, Performance assessment of air quality monitoring networks using principal component analysis and cluster analysis, *Building and Environment*, 46, 577-583.
- Ministry of Environment, 2011, Air pollution monitoring network installation and operation instructions, 4-5, 30-32.
- Na, Y. W., Kim, J. S., Choi, B. G., 2005, The Allocation analysis of TMS using GIS, *Korean Society for Geospatial Information System*, 13(1), 82-83.
- Pires, J. C. M., Sousa, S. I. V., Pereira, M. C., Alvim-Ferraz, M. C. M., Martins, F. G., 2008, Management of air quality monitoring using principal component and cluster analysis—Part I : SO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub>, *Atmospheric Environment*, 42, 1249-1260.
- Pires, J. C. M., Sousa, S. I. V., Pereira, M. C., Alvim-Ferraz, M. C. M., Martins, F. G., 2008, Management of air quality monitoring using principal component and cluster analysis—Part II : CO, NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>, *Atmospheric Environment*, 42, 1261-1274.
- Yu, J. H., Kim, H. R., 2011, An Evaluation on redundancy of air pollution monitoring stations in Seoul, *Korean Urban Management Association*, 24(4), 299-313.