

ORIGINAL ARTICLE

군집분석을 활용한 부산지역 오존, PM₁₀ 측정소의 유사성 분석

도우곤 · 정우식^{1)*}

부산광역시 보건환경연구원, ¹⁾인제대학교 대기환경정보공학과/대기환경정보연구센터

An Analysis of Similarity between Air Quality Monitoring Stations in Busan using Cluster Analysis

Woo-gon Do, Woo-sik Jung^{1)*}

Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment, Busan 46616, Korea

¹⁾Department of Atmospheric Environment Information Engineering, Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University, Gimhae 50834, Korea

Abstract

This study was conducted to determine correlations and similarity between the ozone and PM₁₀ data of 19 air quality monitoring stations in Busan from 2013 to 2016, using correlation and cluster analyses. Ozone concentrations ranged from 0.0278±0.0148 ppm at Gwangbok to 0.0378±0.017 ppm at Taejongdae and were high in suburban areas, such as Yongsuri and Gijang, as well as in coastal areas, such as Jaw, Gwangan, Taejongdae and Noksan. PM₁₀ concentrations ranged from 37.2±25.0 ug/m³ at Gijang to 58.3±32.2 ug/m³ at and Jangrim. PM₁₀ concentrations were high in the west, exceeding the annual ambient air quality standard of 50 ug/m³. Positive correlations were observed for ozone at most stations, ranging from 0.61 between Taejongdae and Sujeong to 0.92 between Bugok and Myeonggiang. The correlation coefficients of PM₁₀ between stations ranged from 0.62 between Jangrim and Jaw to 0.9 between Gwangbok and Sujeong. Yeonsan, Daeyeon, and Myeonggiang were highly correlated with other stations, so they needed to be reviewed for redundancy. Ozone monitoring stations were initially divided into two sections, north-western areas and suburban-coastal areas. The suburban-coastal areas were subsequently divided into three sections. PM₁₀ monitoring stations were initially divided into western and remaining areas, and then the remaining areas were subsequently divided into three sections.

Key words : Correlation analysis, Cluster analysis, Air quality monitoring stations

1. 서론

1973년 최초 설치 이후 2015년 말 현재 전국 93개 시·군에 총 504개소의 대기오염측정소가 운영 중에

있다(National Institute of Environmental Research, 2015). 이 중 도시대기측정소는 해당지역의 환경기준 달성여부와 대기오염정책 시행효과 등의 파악을 주목적으로 하며 대기환경기준물질 6개 항목을 주요 모니터링

Received 19 June, 2017; Revised 19 July, 2017;

Accepted 20 July, 2017

*Corresponding author: Woo-Sik Jung, Department of Atmospheric Environment Information Engineering/Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University, Gimhae 50834, Korea

Phone : +82-55-320-3932

E-mail : wsjung1@inje.ac.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.

대상으로 하고 있다. 대기오염측정망 설치·운영지침에 의하면 도시대기측정소의 경우 지역의 대표성이 확보된 지점에 설치를 원칙으로 하며 측정대상지역내의 인구분포와 밀도를 고려하여 지점을 선정하는 인구비례에 의한 방법, 지도상에 km간격으로 가로세로 격자를 만든 후 구획별로 산정하는 TM (Transverse Mercator) 좌표에 의한 방법, 특정지역의 대표지점을 중심으로 한 동심원과 방위별 직선을 이용하여 만나는 점을 측정점으로 산정하는 중심점에 의한 동심원을 이용하는 방법 등을 지점 선정방법으로 제시하고 있다(Gyeonggi Research Institute, 2007). 부산지역 도시대기측정소는 1979년에 최초 설치된 이후 지속적으로 증가하여 2012년부터 19개의 도시대기측정소가 운영 중에 있으며 환경기준달성 여부 확인과 오존, 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5}) 경보제 운영 등에 활용하고 있다(Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment, 2015). 용도지역별로는 주거지역, 상업지역, 공업지역, 녹지지역에 걸쳐 16개 자치구, 군에 비교적 고르게 분포되어 있으나 도시화와 산업화에 따라 최초 설치 당시와 비교하여 주변 환경이 달라지고 있다. 또한 최근 이슈가 되고 있는 중국발 미세먼지로 인하여 지역 주민들의 대기오염측정소 설치요청이 급격하게 증가하고 있으나 예산과 인력부족으로 어려움을 겪고 있는 실정이다. 한정된 대기오염측정소를 효율적으로 운영하기 위해서는 현재 운영 중인 지점들에 대한 대표성과 적정성평가가 필수적이라고 할 수 있다. 이러한 평가를 통하여 기존에 운영 중인 지점들의 중복성과 신규 필요지점들을 도출하고 대표성이 있는 지점으로의 재배치를 통하여 대기오염측정소의 운영 효율을 증가시킬 수 있다. 대기오염측정소의 위치를 평가하는 방법은 크게 두 가지가 있는데 하나는 Ju and Hwang(2011)의 연구와 같이 공간분석을 활용하는 방법이 있다. Ju and Hwang(2011)은 대구지역 10곳의 대기오염 측정망에서 2005년 1월부터 2008년 12월까지 측정된 각 항목들의 농도 자료를 바탕으로 거리반비례평균법(Inverse Distance Weighting, IDW)을 활용하여 대기오염물질의 공간분포 특성을 분석하고 공간적 변이성을 분석하였다. 또 다른 방법으로 Choi et al.(2016)이 서울지역 대기오염측정소의 평가에 적용한 통계적인 방법이 있다. Choi et al.(2016)은

서울지역 도시대기측정망의 적정성 평가를 위하여 주성분 분석과 군집분석을 적용하였다. 국외의 경우, 칠레 산티아고의 PM₁₀과 오존측정망의 최적화를 위하여 군집분석을 적용한 바가 있고(Gramsch et al., 2006), 대만 오존측정망의 최적화를 위하여 주성분 분석을 활용한 사례가 있다(Yu et al., 2000). 본 연구는 부산지역 도시대기측정소의 최적화를 위한 사전 작업으로 현재 운영 중인 도시대기측정소의 오존, PM₁₀ 측정자료에 통계분석을 적용하여 측정소간의 유사성을 파악하고 최종적으로 부산지역 도시대기측정소의 최적화를 위한 기초자료를 생성하는 것을 목적으로 한다.

2. 자료 및 방법

2.1. 오존 및 PM₁₀ 측정자료

2016년 말 현재 부산지역에는 19개의 도시대기측정소가 운영 중에 있다(Fig. 1). 용도지역별로는 공업지역, 상업지역, 녹지지역, 주거지역 등 비교적 고르게 분포되어 있으며 오존, PM₁₀ 등 대기환경기준물질 6개 항목을 상시측정하고 있다(Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment, 2015). 이중 대기오염경보제 대상물질인 오존과 PM₁₀을 분석 대상으로 선정하였는데 PM_{2.5}의 경우 2015년부터 환경기준으로 설정되면서 상대적으로 측정기간이 짧기 때문에 분석에서 제외하였다. 지점별 상관분석과 군집분석을 적용하기 위하여 19대 도시대기측정소의 2013년에서 2016년간 오존, PM₁₀의 시간별 측정자료를 활용하였다.

2.2. 상관분석

상관분석은 두 개 이상의 변수 사이에 존재하는 상관관계의 밀접한 정도를 측정하는 통계적 기법이다. 가장 보편적인 상관분석방법으로 피어슨 상관계수(Pearson's correlation coefficient)와 스피어만 상관계수(Spearman's rank correlation coefficient)가 있으며 ±1 사이의 값으로 상관성을 나타낸다. 피어슨 상관계수는 Karl Pearson에 의해 만들어진 상관분석 방법으로, 보편적인 모수통계에서 사용되는 상관계수 분석 방법이다. +1의 상관계수는 완전한 양(+)의 상관관계를

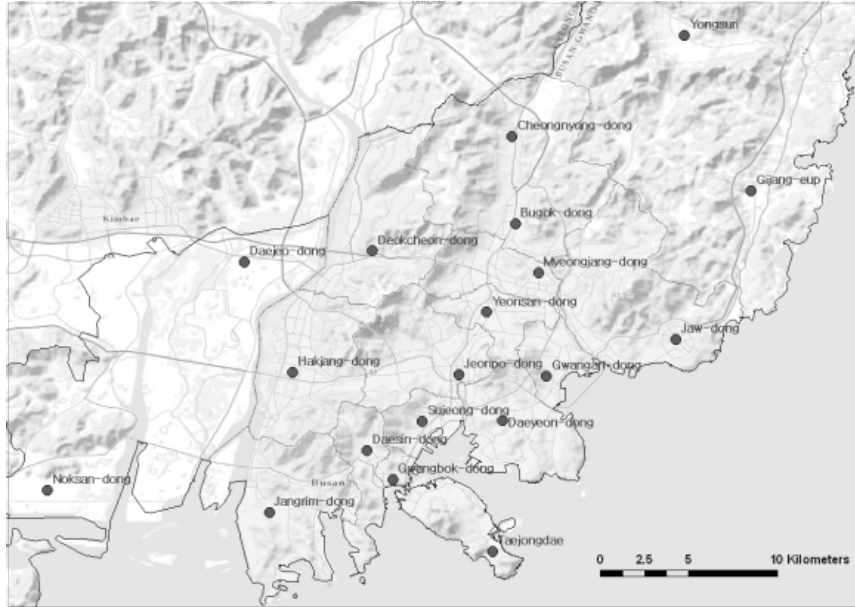


Fig. 1. The locations of air quality monitoring stations in Busan.

나타내고, -1의 상관계수는 완전한 음(-)의 상관관계를 나타낸다. 상관계수의 제곱값은 결정계수(coefficient of determination, R^2)라고 하며, 종속변수의 전체 변이 중 독립변수가 설명해 줄 수 있는 비율을 나타낸다. 본 연구에서는 부산지역 19개 도시대기측정소에서 측정된 시간별 오존, PM₁₀ 측정자료에 대하여 지점별로 피어슨 상관계수를 계산하고 공간분석 방법 중의 하나인 kriging법을 적용하여 공간분포를 제시하였다.

2.3. 군집분석

군집분석은 다변량 통계기법(multivariate analysis)의 하나로, 대용량의 데이터를 유사한 특성을 갖는 몇 개의 집단으로 군집화한 후 각 집단의 특성을 파악하는 방법이다. 이렇게 형성된 각 그룹을 군집(cluster)이라고 정의한다. 즉, 비슷한 데이터 특성은 같은 군집에 속하고, 특성이 다른 데이터들은 다른 군집에 속하게 된다. 군집분석은 계층적 방식(hierarchical methods)과 비계층적 방식(nonhierarchical methods)으로 구분되며, 계층적 방식은 다시 응집식과 분할식으로 나눌 수 있다. 계층적 방식에는 n개의 독립된 대상이 n개의 독립군집이 되어 다른 군집들과 군집을 이

루기 시작한다. 형성된 군집들끼리 연속적으로 군집화가 일어나면서 군집의 수(number of cluster)가 감소하게 된다. 응집식 기법은 n개의 독립군집에서 시작하여 가까운 대상끼리 순차적으로 묶어 점차 군집의 수를 줄여 나가는 상향식 접근법인 반면, 분할식 기법은 모든 대상들이 소속된 단일군집에서 출발하여 분할을 통해 새로운 군집들을 형성하는 하향식 접근법이다. 본 연구에서는 2013년에서 2016년간 시간별 오존 및 PM₁₀자료를 이용하여 도시대기측정소에 대하여 계층적 군집분석을 수행하였다. 계층적 군집분석 수행 시에 거리산출은 유클리안제곱 거리를 적용하였고 군집간의 연결방법은 각 군집을 구성하는 개체의 분산을 기준으로 연결하는 ward법을 적용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 2013-2016년 오존, PM₁₀ 농도분포

부산지역 도시대기측정소는 2012년 말에 19번째 측정소가 설치되어 2013년부터 19개의 측정소가 운영 중에 있다. 따라서 운영 중인 19개 도시대기측정소 간의 유사성을 파악하기 위하여 본 연구에서는 2013년

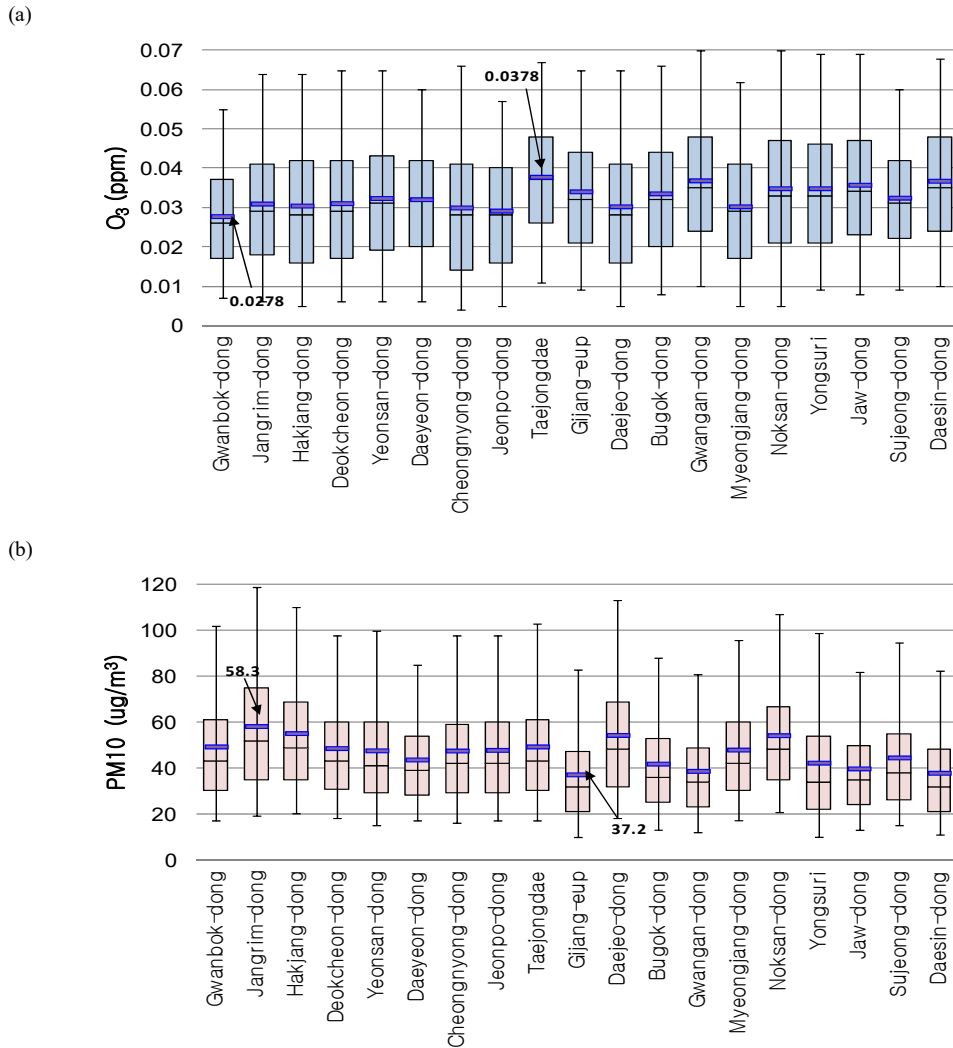


Fig. 2. The concentration distributions of ozone (a) and PM₁₀ (b) between 2013 and 2016 by each station in Busan.

부터 2016년간 시간별 오존, PM₁₀ 자료를 사용하였다. Fig. 2는 본 연구의 기본 데이터가 되는 2013년에서 2016년간 각 측정소별 오존(a), PM₁₀(b)의 농도분포를 나타낸 그림이다. 오존의 경우는 하절기에 농도가 높아지기 때문에 매년 4월에서 10월까지를 오존 시즌으로 보고 오존 시즌의 시간자료만 사용하였다. 오존 시즌 지점별 오존 농도분포는 광복동에서 0.0278±0.0148 ppm으로 가장 낮았고 태종대에서 0.0378±0.017 ppm으로 가장 높게 나타났다. 공간분포를 살펴

보면(Fig. 3(a)) 도시외곽지역인 용수리, 기장읍측정소와 해안지역인 좌동, 광안동, 태종대, 녹산동측정소에서 전반적으로 높게 나타나고 있다. 이는 중국 Ningbo 지역 오존에 관한 연구결과와 유사한데 교외지역의 경우 NO에 의한 적정반응이 적기 때문에 오존농도가 높으며 도심지역은 자동차 배출가스의 영향으로 낮은 오존농도를 보이기 때문이다(Tong et al., 2017). 연구대상 기간의 지점별 PM₁₀ 농도는 Fig. 2의 (b)와 같이 기장읍 37.2±25.0에서 장림동 58.3±32.2 ug/m³의

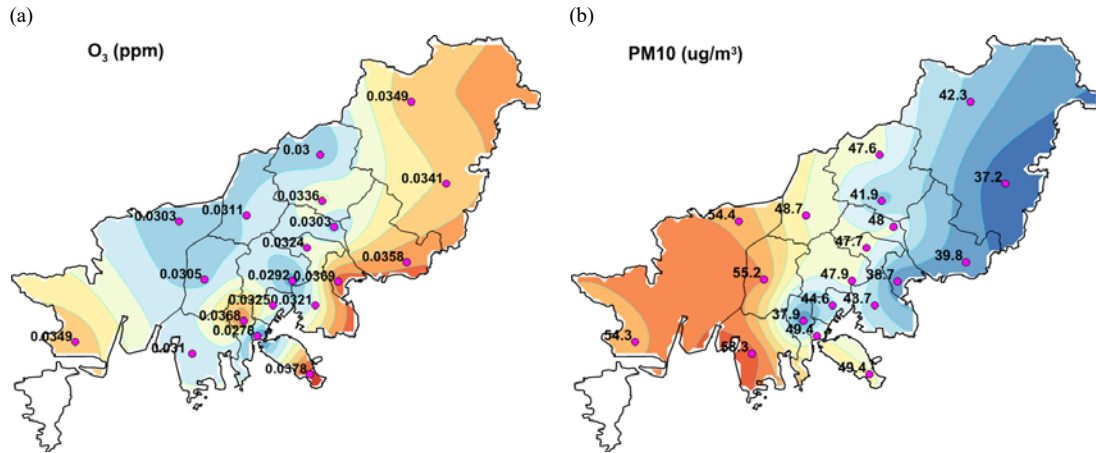


Fig. 3. The spatial distributions of ozone (a) and PM₁₀ (b) between 2013 and 2016 in Busan.

분포를 보이고 있다. 장림동과 더불어 공업지역인 학장동, 녹산동측정소에서 각각 55.2 ± 29.4 , 54.3 ± 28.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 우리나라 PM₁₀의 연간 환경기준인 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 넘어서고 있다. 평균농도의 공간분포를 살펴 보면(Fig. 3(b)) 도심의 동쪽인 기장군 지역이 낮은 농도를 보이고 공업지역이 있는 강서구, 사상구, 사하구를 중심으로 한 서쪽에서 높게 나타나고 있다. 국가 대기오염물질 배출량 서비스(National Air Pollutants Emission Service, 2017)에 따르면 2013년 부산지역 PM₁₀ 배출량은 강서구가 696 ton/year으로 가장 많고 사하구에서 579 ton/year로 다음으로 높은 것으로 나타나 지역 배출량의 분포와 비교적 일치하는 것을 알 수 있다. 연구대상 기간인 2013년에서 2016년간 부산지역 오존의 공간분포는 NO_x의한 적정반응이 적은 교외지역과 해안지역을 중심으로 높게 나타났으며 PM₁₀은 배출량이 많은 공업지역을 중심으로 높게 나타나는 것을 알 수 있었다.

3.2. 오존, PM₁₀의 지점별 상관관계

3.2.1. 오존의 지점별 상관관계 분포

2013년에서 2016년 오존 시즌 지점별 오존 농도의 피어슨 상관계수를 Table 1에 나타내었다. 오존 농도의 상관계수는 태종대와 수정동측정소 0.61에서 부곡동과 명장동측정소 0.92의 범위를 보여서 전반적으로 전체 지점 간에는 양의 상관성을 보이고 있다. 상관성

이 높은 지점으로 부곡동과 명장동측정소가 0.92(측정소간 거리 2.98 km), 연산동과 명장동측정소 간에 0.90으로(측정소간 거리 3.25 km)강한 양의 상관을 보이고 있으며 대부분의 인접한 지점에서 0.8이상의 강한 양의 상관성을 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 지점간의 거리가 가까울수록 농도 변화 패턴이 유사함을 의미한다. Fig. 4는 측정소 별로 다른 측정소들과의 상관계수 분포를 공간분석방법인 kriging법을 적용하여 나타낸 그림이다. 붉은색이 짙어 질수록 해당 측정소와 상관성이 높은 지점을 의미하는데 전반적으로 각 지점별 인접한 지역에서 높은 상관성을 보이고 있다. 그러나 태종대, 수정동측정소는 최고 상관계수가 각각 0.77(좌동), 0.80(대신)로 다른 지점들에 비하여 다소 낮게 나타났으며 인접한 지점에서도 비교적 낮은 상관분포를 보이는 것으로 나타나 농도 변화 패턴이 주변과 다른 것을 짐작할 수 있다. 반면에 덕천동, 연산동, 대저동, 부곡동, 명장동측정소는 상관계수가 높은 지점이 비교적 넓게 분포하는 것으로 나타나 인접한 측정소를 포함한 넓은 지역에 걸쳐서 이들 측정소와 농도 변화 패턴이 유사한 것을 알 수 있다. 특히 연산동, 부곡동 명장동측정소의 경우 상관계수의 공간 분포가 서로 유사하게 나타나고 있어 다른 지점과의 중복성에 대한 추가적인 검토가 필요할 것으로 판단이 된다. 한편 덕천동, 청룡동, 대저동측정소는 인접해 있지는 않으나 상관계수의 공간 분포가 서로 유사한

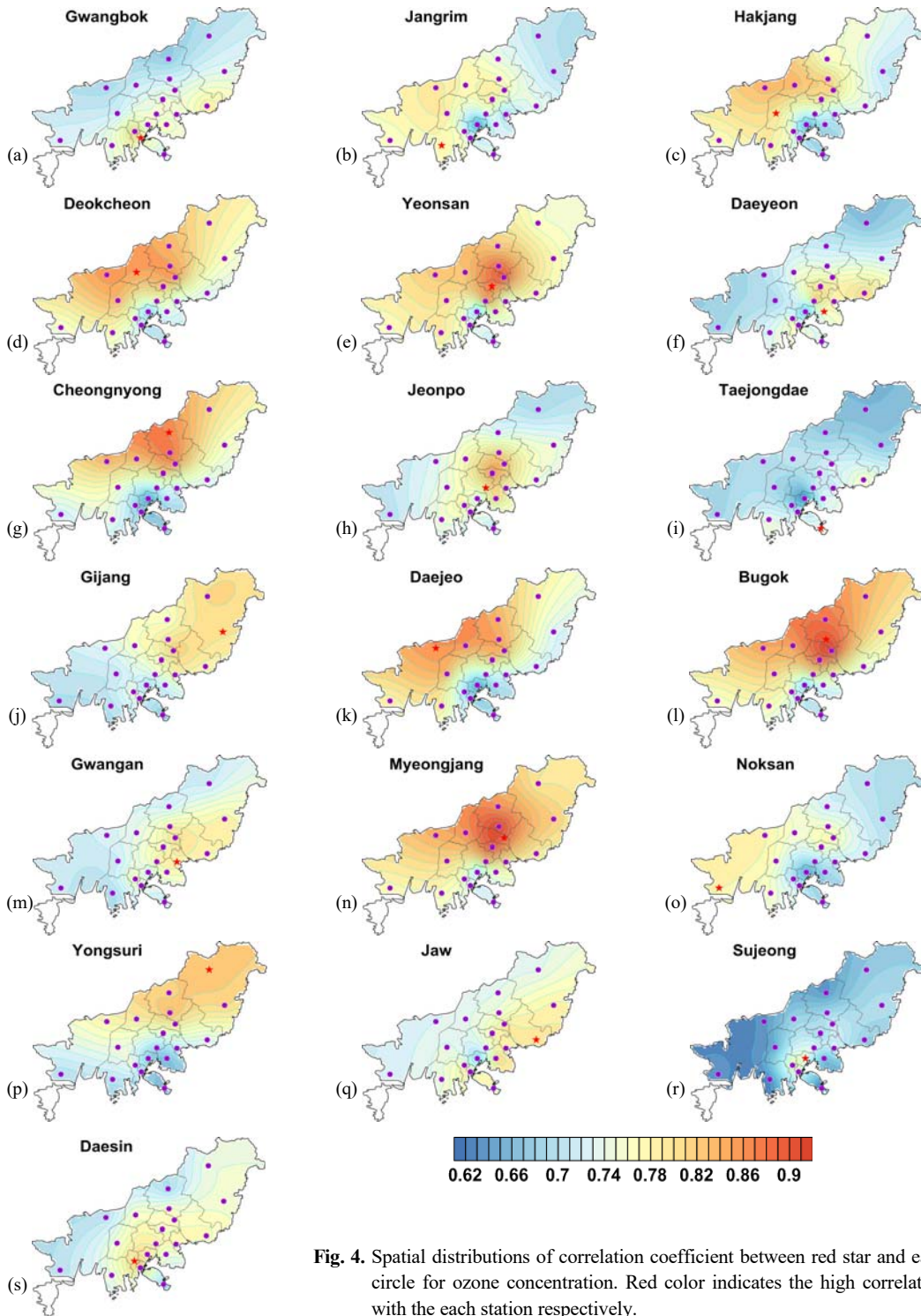


Fig. 4. Spatial distributions of correlation coefficient between red star and each circle for ozone concentration. Red color indicates the high correlation with the each station respectively.

Table 1. Correlation coefficients of ozone concentrations between air quality monitoring stations in Busan

	Gwanbok	Jangrim	Hakjang	Deokcheon	Yeonsan	Daeyeon	Cheongnyong	Jeonpo	Taejongdae	Gijang	Daejeo	Bugok	Gwangan	Myeongjang	Noksan	Yongsuri	Jawjeong	Sujeong	Daesin
Jangrim	0.75																		
Hakjang	0.72	0.79																	
Deokcheon	0.72	0.78	0.84																
Yeonsan	0.76	0.80	0.81	0.83															
Daeyeon	0.77	0.74	0.70	0.75	0.80														
Cheongnyong	0.68	0.75	0.77	0.84	0.83	0.72													
Jeonpo	0.76	0.76	0.75	0.78	0.86	0.82	0.73												
Taejongdae	0.72	0.75	0.69	0.71	0.72	0.74	0.68	0.71											
Gijang	0.74	0.71	0.71	0.77	0.78	0.73	0.77	0.75	0.68										
Daejeo	0.70	0.80	0.84	0.86	0.83	0.70	0.84	0.74	0.70	0.74									
Bugok	0.73	0.78	0.82	0.86	0.89	0.75	0.88	0.82	0.71	0.80	0.85								
Gwangan	0.75	0.70	0.72	0.74	0.77	0.79	0.73	0.79	0.72	0.79	0.73	0.79							
Myeongjang	0.74	0.78	0.82	0.86	0.90	0.78	0.86	0.84	0.73	0.82	0.85	0.92	0.81						
Noksan	0.73	0.76	0.77	0.76	0.77	0.69	0.72	0.71	0.69	0.70	0.78	0.77	0.72	0.78					
Yongsuri	0.71	0.71	0.75	0.80	0.76	0.67	0.82	0.70	0.66	0.81	0.78	0.84	0.72	0.80	0.70				
Jawjeong	0.79	0.75	0.75	0.74	0.78	0.82	0.74	0.75	0.77	0.79	0.73	0.76	0.78	0.80	0.73	0.74			
Sujeong	0.76	0.63	0.65	0.69	0.69	0.66	0.64	0.74	0.61	0.70	0.64	0.69	0.73	0.72	0.64	0.68	0.68		
Daesin	0.84	0.75	0.76	0.77	0.77	0.76	0.70	0.79	0.69	0.76	0.71	0.77	0.78	0.78	0.71	0.75	0.78	0.80	

Correlations are significant at the 0.01 level (2-tailed)

것을 알 수 있다.

3.2.2. PM₁₀의 지점별 상관관계 분포

Table 2는 2013년에서 2016년간 지점별 PM₁₀ 농도의 상관계수를 나타낸 표이다. 장림동과 좌동측정소 간 상관계수가 0.62로 가장 낮았고 광복동과 수정동측정소 간에 0.90으로 가장 높은 값을 보이고 있으나 전반적으로 오존과 유사하게 전체 지점들 간에 양의 상관성을 보이고 있다. 광복동과 수정동측정소 간의 거리는 약 3.55 km로 비교적 인접해있으며 오존과 비슷하게 연산동과 명장동측정소 간에도 0.90로 높은 양의 상관을 보이고 있다. PM₁₀의 경우도 오존과 비슷하게 인접한 측정소에서 유사한 농도변화패턴을 보이고 있음을 확인 할 수 있었다. Fig. 5는 각 지점별로 다른 측정소들과의 상관계수 분포를 공간분석방법인 kriging법을 적용하여 나타낸 그림이다. 용수리측정소와의(Fig. 5(p)) 상관계수 분포는 다른 측정소들과

비교하여 전반적으로 낮은 것으로 나타나고 있어 PM₁₀ 농도변화 패턴이 다른 지점들과 차이가 있음을 짐작할 수 있었다. 다음으로 연산동(Fig. 5(e)), 대연동(Fig. 5(f)), 명장동측정소(Fig. 5(n)) 전체 지점들과의 상관계수 분포가 전반적으로 높게 나타나고 있다. 이들 세 지점들은 비교적 도심에 위치한 지점으로 인접한 지역과 높은 상관계수를 보이면서 외곽에 있는 지점들과의 상관계수도 비교적 높게 나타나면서 농도변화 패턴이 다른 지점들과 유사한 것을 알 수 있어 다른 지점들과의 중복성을 검토해 볼 필요가 있을 것으로 판단된다. 한편 광복동(Fig. 5(a)), 수정동(Fig. 5(r)), 대신동측정소(Fig. 5(s))는 광복동, 대신동측정소 간 약 2 km에서 광복동, 수정동측정소 간 약 3.55 km의 범위에 서로 위치하고 있어 매우 인접해 있는 측정소들이며 인접한 지역을 중심으로 높은 상관계수를 보이다가 용수리측정소에서 낮은 값을 보이는

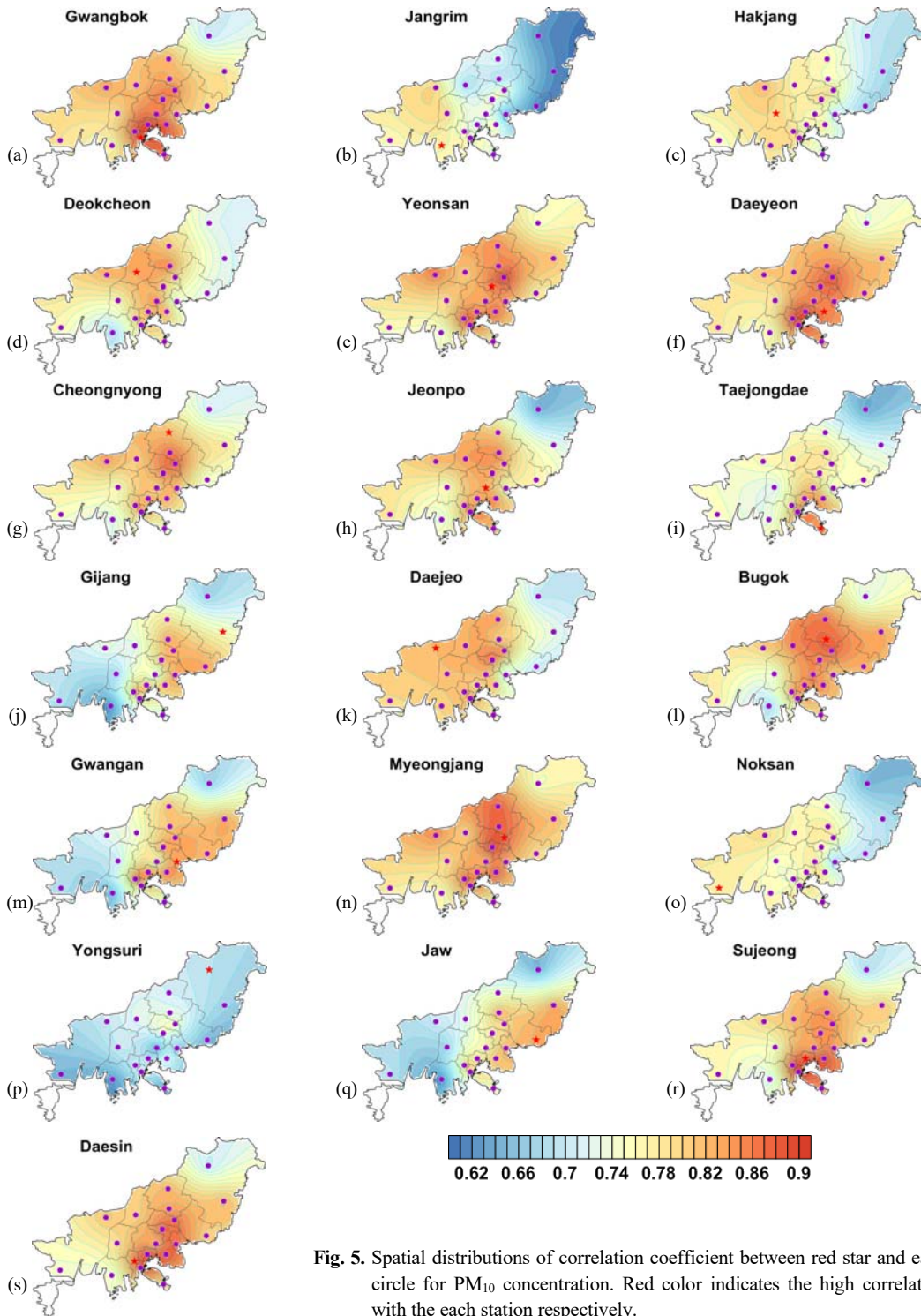


Fig. 5. Spatial distributions of correlation coefficient between red star and each circle for PM₁₀ concentration. Red color indicates the high correlation with the each station respectively.

Table 2. Correlation coefficients of PM₁₀ concentrations between air quality monitoring stations in Busan

	Gwanbok	Jangrim	Hakjang	Deokcheon	Yeonsan	Daeyeon	Cheongnyong	Jeonpo	Taejongdae	Gi-jang	Daejeo	Bugok	Gwang-an	Myeongjang	Noksan	Yongsuri	Jaw	Sujeong	Sujeong	Sujeong	
Jangrim	0.77																				
Hakjang	0.80	0.80																			
Deokcheon	0.81	0.69	0.77																		
Yeonsan	0.87	0.75	0.80	0.81																	
Daeyeon	0.88	0.76	0.78	0.82	0.87																
Cheongnyong	0.83	0.73	0.77	0.81	0.85	0.83															
Jeonpo	0.85	0.74	0.76	0.84	0.83	0.85	0.81														
Taejongdae	0.86	0.73	0.72	0.78	0.78	0.83	0.75	0.82													
Gijang	0.79	0.62	0.68	0.73	0.82	0.82	0.79	0.74	0.72												
Daejeo	0.84	0.80	0.82	0.83	0.86	0.81	0.84	0.82	0.77	0.74											
Bugok	0.83	0.69	0.75	0.85	0.85	0.85	0.86	0.85	0.79	0.83	0.81										
Gwang-an	0.81	0.65	0.71	0.75	0.84	0.86	0.82	0.77	0.75	0.83	0.73	0.81									
Myeongjang	0.86	0.77	0.80	0.80	0.90	0.88	0.88	0.83	0.78	0.82	0.85	0.88	0.83								
Noksan	0.79	0.76	0.75	0.76	0.76	0.78	0.75	0.79	0.76	0.69	0.80	0.78	0.69	0.78							
Yongsuri	0.70	0.63	0.70	0.72	0.75	0.74	0.71	0.64	0.64	0.67	0.70	0.73	0.67	0.76	0.65						
Jaw	0.79	0.62	0.68	0.73	0.78	0.82	0.75	0.77	0.76	0.83	0.71	0.83	0.82	0.80	0.70	0.65					
Sujeong	0.90	0.72	0.76	0.82	0.85	0.89	0.82	0.83	0.84	0.81	0.80	0.85	0.84	0.85	0.77	0.69	0.78				
Daesin	0.89	0.74	0.79	0.80	0.87	0.89	0.83	0.82	0.80	0.82	0.81	0.83	0.87	0.86	0.75	0.71	0.80	0.89			

Correlations are significant at the 0.01 level (2-tailed)

유사한 공간 분포를 보여주고 있으며 기장군과 광안동, 좌동측정소는 서로 인접해 있지는 않으나 상관계수의 분포가 서로 유사한 것을 알 수 있었다.

3.3. 군집분석을 활용한 유사성 분류

2013년에서 2016년간 도시대기측정소의 시간별 오존(4월-10월) 및 PM₁₀ 자료를 이용하여 계층적 군집분석을 수행하고 측정소간의 유사성을 분석하였다. 계층적 군집분석 수행 시에 거리산출은 유클리안제곱 거리를 적용하였고 군집간의 연결방법은 각 군집을 구성하는 개체의 분산을 기준으로 연결하는 ward 방법을 적용하였다.

3.3.1. 오존 측정소의 유사성 분류

Fig. 6은 2013년에서 2016년간 도시대기측정소의 시간별 오존(4월-10월) 측정자료에 계층적 군집분석을 적용하여 분류된 군집의 분포를 나타내는 덴드로

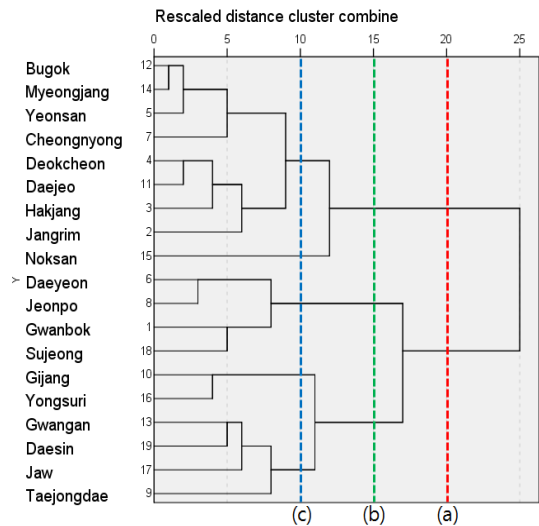


Fig. 6. Dendrogram from the hierchial cluster analysis using hourly ozone concentrations from 2013 to 2016 during ozone season.

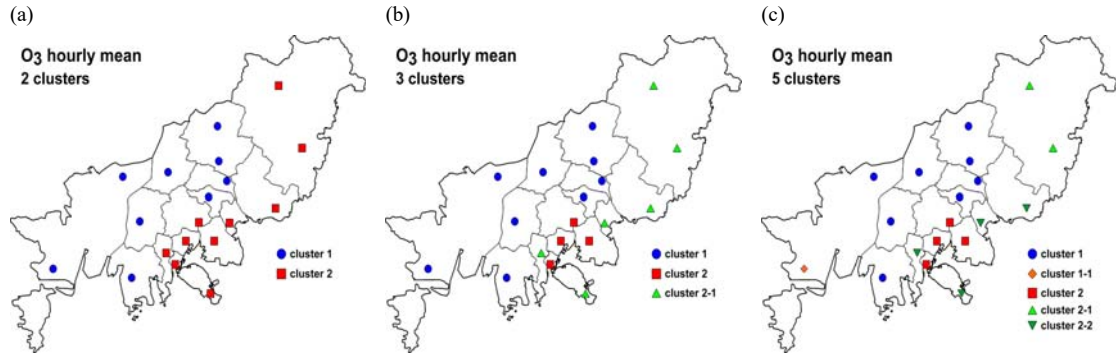


Fig. 7. Cluster distributions of hourly ozone from 2013 to 2016 using hierarchical cluster analysis. The same symbols mean the similar concentration patterns from cluster number 2 to 5.

그램이다. 거리분포에 따른 군집화 과정을 상세히 보여주고 있다. 최종적으로 부곡동에서 녹산동측정소로 구성되는 군집과 대연동에서 태종대측정소로 구성되는 두 개의 군집을 확인 할 수 있다(Fig. 6(a)). 군집수를 확장하면 두 번째 군집에서 두개의 그룹이 분리되면서 세 개의 군집이 형성되고(Fig. 6(b)) 한 번 더 군집수를 확장하면 첫 번째 군집에서 녹산동이 분리되고 세 번째 군집에서 두 개의 군집이 분리되면서 5개의 군집으로 설정 할 수 있다(Fig. 6(c)). 추가적으로 군집수를 확장하면 다양한 수의 군집으로 나누어 질 수 있으나 오존 경보제의 권역 설정이나 측정소 간의 유사성 검토 등 현업의 활용을 위하여 2-5개의 군집에 대하여 공간상의 분포를 확인하고 추가적인 분석을 수행하였다.

Fig. 7은 앞에서 제시한 군집화 과정에서 현업 등에서의 활용을 위하여 2-5개의 군집 분포를 각각 공간상에 나타낸 그림이다. 도시대기측정소의 시간별 오존 측정자료의 유사성을 두 개의 군집으로 분류하면 Fig. 7의 (a)와 같이 분류된다. 부산광역시의 북서쪽에 위치한 9개의 측정소가 하나의 군집이고 동남쪽으로 위치한 10개의 측정소가 다른 하나의 군집을 형성한다. 연구대상 기간의 오존 평균농도와 비교해보면(Fig. 3(a)) 평균농도가 낮은 도심지역 측정소와 평균농도가 높은 외곽과 해안에 인접한 측정소로 구분이 되는 것을 알 수 있다. Fig. 7의 (b)는 두 개의 군집에서 세 개로 확장한 군집 분포를 나타낸 그림이다. Fig. 6의 덴드로그램에서 확인 할 수 있듯이 cluster 2가 두 개의

군집으로 분리되면서 전체적으로 세 개의 군집이 형성된다. 상대적으로 인접해 있는 광복동, 대연동, 전포동, 수정동측정소가 같은 군집을 형성하고 나머지 측정소가 군집을 형성하는데 상대적으로 떨어져 있는 대신동, 태종대측정소가 용수리, 기장읍, 좌동측정소와 같은 군집에 속하는 것을 알 수 있다. 다음으로 cluster 1에서 녹산동측정소가 다른 특성을 보이고 (cluster 1-1), cluster 2-1은 교외지역인 용수리와 기장읍측정소가 다른 특성을 보이면서 다른 군집과 (cluster 2-2) 구분이 된다. 2013년에서 2016년간 오존 시준 도시대기측정소의 시간별 오존 측정자료에 계층적 군집분석을 적용하여 유사성을 분류한 결과 도심의 북서쪽에 위치한 측정소와 외곽 및 해안에 인접한 측정소 그룹으로 크게 구분할 수 있으며 북서쪽 군집에서는 해안과 인접한 녹산동측정소가 다른 농도 특성을 보이는 것을 알 수 있었다. 도심의 동쪽에 위치한 기장읍, 용수리측정소가 해안지역과 다른 농도 특성을 보이고 해안지역에서는 광복동, 대연동, 전포동, 수정동측정소가 나머지 측정소들과 다른 농도 특성을 보이는 것을 알 수 있었다.

3.3.2. PM₁₀ 측정소의 유사성 분류

Fig. 8은 2013년에서 2016년간 도시대기측정소의 시간별 PM₁₀ 측정자료에 계층적 군집분석을 적용한 덴드로그램이다. 오존과 마찬가지로 거리분포에 따른 군집화 과정이 세부적으로 나타나있다. PM₁₀의 경우 최종적으로 장림동, 학장동, 대저동, 녹산동측정소

군집과 그 외의 측정소 그룹으로 구분이 되었다(Fig. 8(a)). 군집수를 확장하면(Fig. 8(b)) 측정소 수가 많은 15개의 측정소 군집이 대연동에서 용수리와 광안동에서 좌동측정소로 구성되는 두 개의 군집으로 분리가 된다. 다시 한번 군집을 확장하면 용수리측정소가 분리되면서 4개의 군집이 형성되는 것을 알 수 있다.

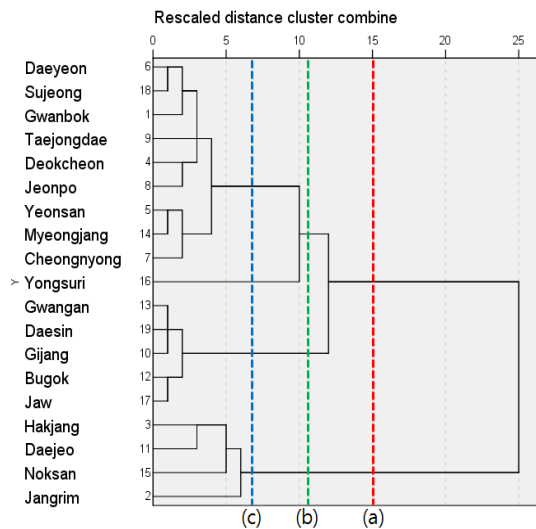


Fig. 8. Dendrogram from the hierarchial cluster analysis using hourly PM₁₀ concentrations from 2013 to 2016.

Fig. 9는 앞에서 제시한 군집화 과정 중 현업 등에서 활용을 위하여 2-4개의 군집 분포를 각각 공간상에 나타낸 그림이다. 도시대기측정소의 시간별 PM₁₀

측정자료의 유사성을 두 개의 군집으로 분류하면 Fig. 9의 (a)와 같이 부산광역시의 서쪽에 위치한 4개의 측정소 군집과 도심과 동쪽에 위치한 나머지 15개 측정소 군집으로 분류가 된다(Fig. 9(a)). Fig. 3(b)의 PM₁₀ 평균농도와 비교해보면 cluster 1에 해당되는 장림동, 학장동, 대저동, 녹산동측정소는 부산광역시의 서쪽에 위치한 공업지역으로 나머지 지점들보다 높은 PM₁₀ 평균농도를 보이는 것을 알 수 있다. 군집수를 세 개로 확장하면(Fig. 9(b)) cluster 2에서 청룡동, 기장읍, 광안동, 좌동, 대신동측정소가 새로운 그룹을 형성하면서(cluster 2-1) 전체적으로 세 개의 군집이 분류된다. Fig. 3(b)의 PM₁₀ 평균농도와 비교해보면 이들 지점들은 cluster 2의 측정소들 중에서 상대적으로 낮은 평균농도를 보이는 지점들임을 알 수 있다. 군집수를 더 확장하면(Fig. 8(c), Fig. 9(c)) cluster 2에서 용수리측정소가 분리되면서 전체적으로 서쪽의 고농도 군집과(cluster 1), 저농도 지역(cluster 2-1), 도심지역(cluster 2)과 용수리측정소의 4개 군집이 형성된다. 2013년에서 2016년간 도시대기측정소의 시간별 PM₁₀ 측정자료에 계층적 군집분석을 적용하여 측정소간의 유사성을 분류한 결과 도심의 서쪽, 공업지역을 중심으로 한 고농도 지역과 나머지 지점들로 크게 구분할 수 있으며 나머지 지점들은 도심과 항만의 상대적으로 높은 농도지역과 나머지 지역들로 구분이 된다. 용수리측정소는 이들 두 그룹의 사이의 특성을 보여주는 지점으로 판단할 수 있다.

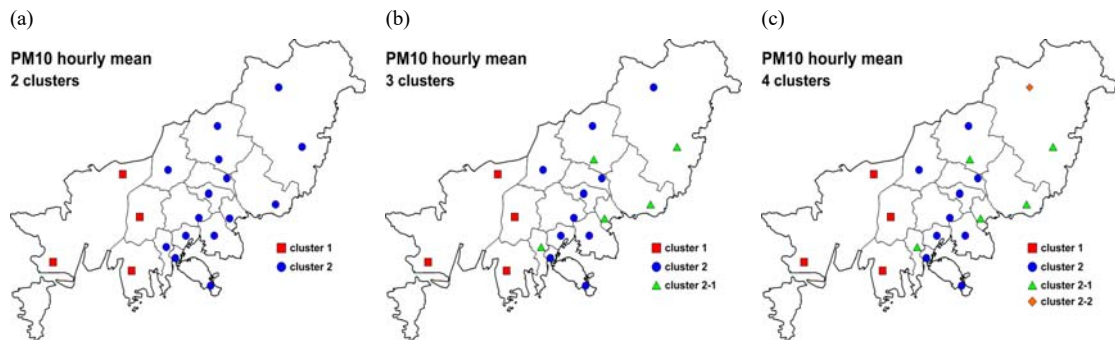


Fig. 9. Cluster distributions of hourly PM₁₀ from 2013 to 2016 using hierarchial cluster analysis. The same symbols mean the similar concentration patterns from cluster number 2 to 4.

4. 결론

본 연구는 2013년에서 2016년간 부산지역 19개 도시대기측정소 오존, PM₁₀ 측정자료의 상관성과 유사성을 분석하여 대기오염경보제에 활용 및 측정소 위치 평가 등의 기초자료를 제공하는 것을 목적으로 한다. 연구대상 기간의 부산지역 오존 농도분포는 광복동 0.0278±0.0148 ppm에서 태종대에서 0.0378±0.017 ppm의 분포를 보였고 도시외곽지역인 용수리, 기장읍측정소와 해안지역인 좌동, 광안동, 태종대, 녹산동측정소에서 전반적으로 높게 나타나고 있다. PM₁₀ 농도는 기장읍 37.2±25.0 ug/m³에서 장림동 58.3± 32.2 ug/m³의 분포를 보이고 있으며 공업지역에서 PM₁₀의 연간 환경기준인 50 ug/m³을 넘어서고 있고 강서구, 사상구, 사하구를 중심으로 한 서부지역에서 높게 나타나고 있다. 지점 간 오존 농도의 상관계수는 태종대와 수정동측정소 간에 0.61에서 부곡동과 명장동측정소 간에 0.92의 범위를 보여서 전반적으로 전체 지점 간에는 양의 상관성을 보이고 있으며 연산동, 대연동, 명장동측정소는 다른 지점들과 높은 상관계수를 나타내고 있어 이들 지점에 대해서는 추가적인 검토가 필요해 보인다. PM₁₀의 경우 장림동과 좌동측정소 간 상관계수가 0.62로 가장 낮았고 광복동과 수정동측정소 간에 0.90으로 가장 높은 값을 보이고 있으며 연산동, 대연동, 명장동측정소는 다른 지점들과의 상관계수 분포가 전반적으로 높게 나타나고 있어 중복성 검토의 필요성이 있어 보인다. 오존 측정자료의 군집분석 결과 도심의 북서쪽에 위치한 측정소와 외곽 및 해안에 인접한 측정소 그룹으로 크게 구분할 수 있으며 도심의 외곽에 위치한 기장읍, 용수리측정소가 해안지역과 다른 농도 특성을 보이고 해안지역에서는 광복동, 대연동, 전포동, 수정동측정소가 나머지 측정소들과 다른 농도 특성을 보이는 것을 알 수 있었다. PM₁₀의 경우 도심의 서쪽, 공업지역을 중심으로 한 고농도 지역과 나머지 지점들로 크게 구분할 수 있으며 나머지 지점들은 도심과 항만에 인접한, 상대적으로 높은 농도를 보이는 지역과 나머지 지역들이 각각의 군집으로 분리 되었다.

감사의 글

이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2017R1D1A3B03036152).

REFERENCES

- Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment, 2015, <http://heis.busan.go.kr/>
- Choi, I. J., Jo, W. K., Sin, S. H., 2016, Evaluation of air pollution monitoring networks in Seoul metropolitan area using multivariate analysis, *J. Environ. Sci. Int.*, 25, 673-681.
- 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, *Atmos. Environ.*, 40, 5464-5475.
- Gyeonggi Research Institute, 2007, Improvements of ambient air quality monitoring in Gyeonggi-Do.
- Ju, J. H., Hwang, I. J., 2011, A Study for spatial distribution of principal pollutants in Daegu area using air pollution monitoring network data, *J. Kor. Soc. Atmos. Environ.*, 27, 545-557.
- National Air Pollutants Emission Service, 2017, <http://airemiss.nier.go.kr/>
- National Institute of Environmental Research, 2015, Annual report of air quality 2015.
- Tong, L., Zhang, H., Yu, J., He, M., Xu, N., Zhang, J., Qian, F., Feng, J., Xiao, H., 2017, Characteristics of surface ozone and nitrogen oxides at urban, suburban and rural sites in Ningbo, China, *Atmos. Research*, 187, 57-68.
- Yu, T. Y., Chang, L. F. W., 2000, Selection of the scenarios of ozone pollution at southern Taiwan area utilizing principal component analysis, *Atmos. Environ.*, 34, 4499-4509.