

주성분분석과 커널밀도함수를 이용한 미세먼지 측정소 적지분석

Suitability Analysis of Optimal PM Monitoring Stations Using Kernel Density Function and PCA

정종철 Jeong Jongchul*

Abstract

For optimal new PM(Particulate Matter) monitoring locations, it is important to consider the spatial distribution between monitoring station and user along with the accessibility. This study used spatial analysis to analyze the shortest distance among the centers of administrative dong and PM monitoring stations to show the influence of PM monitoring stations. In addition, this research suggested the new PM monitoring location through distance analysis and kernel density estimation of PM monitoring stations and public facilities such as community service center. This study proposed the method to select new PM monitoring station from an area outside the scope of the existing PM monitoring station, without showing redundancy with the existing network. Then the principal component analysis was performed in order to determine the priority PM monitoring stations that have a higher value for environment variables and kernel density estimation related to PM. The new PM monitoring stations suggested in this study will provide the more improved PM measured value service for users than the conventional PM monitoring network.

Keywords: Particulate Matter, Monitoring Stations Network, Kernel Density Estimation, Optimal Location, Principal Component Analysis

I. 문제 제기

서울시는 매년 고농도 미세먼지로 인해 피해를 입고 있으며, 이에 따른 정밀한 미세먼지 측정망 구축 및 관측정보를 수집할 필요성이 강조되고 있다. 미세먼지 관측정보는 대기오염측정소의 공간적 분포에 따라 측정범위와 측정값이 달라질 수 있으며, 대기오염 측정망의 공간적 분포 분석을 통해 효과적으로 미세먼지 관측정보를 수집해야 할 필요성이 있다.

대기오염측정소의 공간적 분포를 분석하는 데 있어서 다음의 국내 연구자들은 공간분석기법과 통계기법을 활용하여 대기오염측정소의 중복성과 위치 적정성 평가에 관한 연구를 수행하였다. 최임조, 조완근, 신승호(2016)는 대기오염물질들의 농도자료와 도시 대기 측정망의 위치 데이터를 다변량 분석법을 이용하여 서울시 도시대기측정망의 공간적 분포를 평가하였다. 서울시를 대상으로 대기오염물질 데이터들을 다변량 분석법 중 주성분분석과 군집분석을 적용한

* 남서울대학교 공간정보공학과 교수 | Prof., Dept. of Geographic Information Science, Namseoul Univ. | jjc1017@gmail.com

결과, 유사한 패턴을 보이는 권역들이 나타났고, 도시 대기 측정망을 총 8개 권역으로 구분할 수 있었다. 유재환, 김학열(2011)은 서울시 대기오염측정소의 오염도 비교분석을 통해 측정소의 공간적 분포를 분석하였다. 분석자료는 NO₂, SO₂, O₃의 농도를 이용하였으며 이 중 O₃ 농도에 한해 변동과 방학동 측정소가 위치의 중복성을 보였다. 김영성, 최용주, 박지수, 김찬혁(2014)은 군집분석을 활용하여 PM₁₀을 포함한 대기질을 일평균의 시간 변화를 점검하여 변화가 유사한 측정소를 군집으로 분류하고, 농도와 환경기준 초과를 지수화하여 군집 내 측정소의 공간적 분포를 평가하였다.

국외 연구사례로 다음 연구들은 대기오염물질들을 기반으로 통계분석을 수행하여 시공간적 패턴을 분석한 것이다. Paciorek, Yanosky, Puett and Laden et al.(2009)은 1988년부터 2002년까지 미국 북서부 지역 PM₁₀ 데이터를 통해 PM_{2.5}를 예측하는 모델링에 관한 연구를 진행하여 미세먼지 데이터를 기반으로 미세먼지의 공간적 패턴을 파악하였다. Lu, Xu, Yang and Zhao(2017)는 1998년부터 2014년까지 중국 내 PM_{2.5} 농도의 공간 및 시간적 패턴을 분석하기 위해 선형 회귀분석, 상관분석을 사용하였고, PM_{2.5} 농도에 따라 5개 단계로 위험 지역을 분류하였다.

공간분석을 통하여 새로운 측정소의 선정조건을 제시한 연구는 다음과 같다. 정종철(2017)은 미세먼지 관측망의 위치를 평가할 때 공간정보의 필요성에 대해 강조하였으며, 공시지가, 공원율, 초등학교, 유동인구의 데이터들을 이용해 기 구축된 미세먼지 측정소와의 관계성을 분석하였다. 권혜옥, 김성준, 김용표, 김상균 외(2017)는 유해 대기오염물질(HAPs)을 측정하는 측정소 설치를 위해 수도권 지역을 그리드 셀(7km×7km)로 나타내고 인구, 차량등록 및 오염원 배출 데이터를 포함한 총 15개 요인 데이터를 수집하였

다. 각 그리드에서 상위 30%를 초과하는 요인 데이터의 수를 사용하여 우선순위 측정지점을 결정하였다. 김아영, 권창희(2016)는 근린생활권을 기준으로 hexagon 격자를 이용해 대기오염측정망의 입지선정을 하였다. 미세먼지 농도, 건물 밀집도, 인구, 토지피복, 표고의 환경변수를 사용해 최적 입지를 분석하였고 총 5개 지역으로 나타났다. 최성우, 이중범(2011)은 대구지역의 대기자동측정망 간의 이격거리 및 대기오염도 현황을 분석하였으며, 격자별 인구수, 환경특성 분석 및 대기오염 배출량을 평가하여 측정소 신규 배치 시나리오를 제시하였다. 하지만 미세먼지 측정소는 미세먼지농도를 측정함과 동시에 오차를 최소화하기 위해 관리가 용이한 위치를 선정해야 한다. 따라서 본 논문에서는 임의의 장소를 입지로 선정할 경우 향후 측정소의 관리에 어려움이 있을 수 있어서 주민센터와 같은 공공건물을 파악하였다.

공간분석기법에서 주성분분석은 이미 도출된 수많은 입지 내에서 다양한 요인들로 하여금 최적의 입지를 재선정하는 경우도 있으며, 이를 연구한 결과는 다음과 같다. Wang, Fan and Wang(2018)은 중국 구이양시의 소매점 부지선정을 위해 주성분분석을 포함한 PCA-BP 하이브리드 모델을 구축하였다. 훈련된 모델은 18가지 사회경제적 요인을 고려하여 부지를 선정하였으며, 최종적으로 42개소의 최적부지가 선정되었다. Perisor, Ianos, Iurea and Vaidianu(2012)는 루마니아를 대상으로 주성분분석과 GIS을 접목한 모델을 구축하였다. 루마니아 내의 특정 지역에서 경제, 사회문제, 문화, 교육, 등 다양한 측면을 설명하는 변수를 바탕으로 행정 단위에서 개발 수준을 평가하였으며, 이론적으로 효과적인 방법론임을 밝혔다.

하지만 공공시설을 대상으로 한 미세먼지 측정소 선정에 관한 연구는 부족한 실정이다. 또한 기존 측정소는 구별로 1개소를 운영하고 있는데 한 지역구를

모두 담당하기에는 외곽지역에 정확도가 떨어지며 지역별, 동별 미세먼지 추이나 수치가 다르기 때문에 촘촘한 측정을 하기 위해 동별로 취약 지점을 파악하고자 하였다. 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 중 95조 5항을 보면 동사무소와 같은 지역 주민이 많이 이용하는 공공청사는 이용자의 편의를 위하여 일정한 지역에 집단화하여 설치하고 어린이집, 노인복지시설 및 운동시설 등 생활편의시설을 함께 설치하여 지역 공동체의 거점으로 조성하는 것을 고려할 것을 통해 주민자치센터는 각 행정동에서 인구 분포를 나타낼 수 있는 지표가 될 수 있음을 명시하였다. 본 논문은 인구, 측정소 위치와 주민센터와의 거리 등과 같은 환경변수를 통해 신규 미세먼지 측정소가 필요한 지점을 분석하고, 기존 측정소의 위치와 공공시설인 주민자치센터의 주성분분석 및 공간분석 결과를 활용하여 새로운 측정소 위치를 선정하는 데 목적이 있다.

II. 연구의 방법 및 공간범위

1. 연구의 자료와 분석 범위

본 논문은 기존의 측정망을 바탕으로 선정한 신규측

정소를 통해 현 측정망을 개선하는 데 의의가 있으므로 일정한 규모의 미세먼지 측정망이 구축되어 있으며 개선될 여지가 있는 서울시를 연구지역으로 선정하였다.

본 논문에서는 서울시 행정구역과 미세먼지 측정소 사이의 최단거리를 나타내기 위해 서울시 동별 행정구역과 대기오염 측정망의 위치 데이터를 이용하였다. 대기오염 측정망은 도시대기측정망, 도로변대기 측정망, 도시배경측정망 등 다양하게 이루어져 있지만, 본 논문에서는 정확한 농도 값을 제공받지 못하는 공간 지점을 주요 쟁점으로 삼았기 때문에 Airkorea에서 PM₁₀ 데이터를 제공하는 도시대기측정소와 도로변대기측정소를 사용하였다. 서울시 동별 행정구역 데이터는 서울 열린 데이터광장에서 취득하였으며, 대기오염측정소는 Airkorea에서 제공하는 서울시 구별 39곳의 대기오염 측정망과 경기도 108곳의 대기오염 측정망의 주소 데이터를 적용하였다. 서울시 주민자치센터는 서울 열린 데이터광장에서 제공하는 주소 데이터를 통해 제공받았다.

미세먼지의 오염수준은 도시 특성과 높은 상관관계를 나타내기 때문에(홍재선, 김학열, 이승주 2007)¹⁾ 신규측정소 우선지역 선정을 위한 주성분분석에 관계

Table 1_List of Variables and Data Sources Used in Analysis

Code	Date Year	Main Type	Description	Data Source
V1	2017	Address	Air pollution monitoring station roadside	Airkorea (www.airkorea.or.kr)
V2	2017	Address	Air pollution monitoring station urban side	
V3	2017	Address	Administrative divisions by Dong of Seoul	data.seoul.go.kr
V4	2015	Statistical Data	Employed population of Seoul by Gu distinct	
V5	2017	Statistical Data	General residential area	
V6	2017	Statistical Data	Floating population (move in)	
V7	2017	Statistical Data	Floating population(move out)	
V8	2017	Statistical Data	Number of car registration	

1) 주성분 분석을 통해 자동차 등록수, 토지이용과 미세먼지의 관계를 분석함.

성이 높은 환경변수들을 입력 요소로 선정하였다. 정종철(2017)은 서울시 구별 PM₁₀과 유동인구 사이에 연관성이 있음을 밝혔다. 또한, 오규식, 정희범(2007)과 김형건(2018)은 서울시 PM₁₀ 데이터와 일반주거지역, 자동차 등록 수 취업자 수에서 유의미한 상관관계를 나타냈다고 밝혔다. 본 논문에 사용된 각 환경변수 및 측정소 데이터의 출처는 <Table 1>에 나타났다.

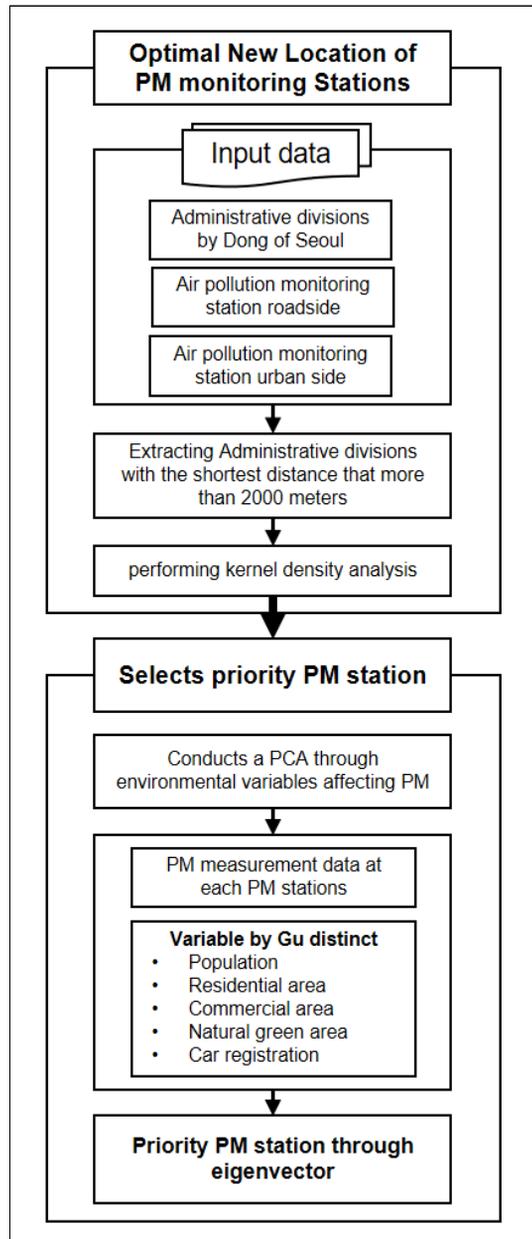
미세먼지 측정소는 거리의 중복성을 최소화하여 최고의 효율을 얻어야 하지만 설치 가능 지역은 주민자치센터, 학교 등과 같은 공공시설이 유효하며 이 중 관리가 용이한 주민센터에 신규 미세먼지 측정소를 설치하는 것이 효율성이 높은 것으로 판단하였다.

2. 연구 방법

본 논문에서는 행정구역과 측정소 및 주민자치센터의 공간분석을 수행하였다. QGIS 3.2.1 버전에서 제공하는 최근린분석을 이용하여 포인트 좌표에서 최단거리를 추출하였다. 분석에 사용된 공간자료는 각 행정구역 중 행정동의 중심지점과 측정소의 좌표지점으로, 각각의 주소정보를 좌표값으로 변환하여 사용하였다. 또한, 두 지점 사이의 최단거리를 추출하여 포인트로 나타냈다.

본 논문의 주요 흐름은 <Figure 1>과 같다. 환경부에서 2018년에 발표한 대기오염 측정망 설치·운영지침에 따르면 대기오염 측정망 설치 규정 중 '측정소 간 간격은 4km 이상을 유지하여 측정소 간 중복을 최소화되, 행정적인 공간 배분을 고려하여 4km 이내라도 설치할 수 있다'라고 제시하였다. 따라서 본 논문에서는 각 측정소의 중복성을 고려하기 위해 측정소로부터 2km 이상 떨어진 주민자치센터들을 이용하였고 기존 측정망과의 중복성을 피하기 위해 커널 반경 또한 2km로 설정하였다.

Figure 1 _ Research Flow Chart



주민자치센터간의 공간 분포를 분석하기 위해 커널밀도추정(Kernel Density Estimation: KDE)을 수행하였다. 커널 밀도추정은 일정한 분석 반경 안에 포함하는 점 데이터 밀도를 측정하여 특징지점에서 밀도

가 커널함수 λ_p 로 표현되며, 이는 <식 1>과 같다(길헤민, 박혁서, 박지윤 2015).

$$\hat{\lambda}_p = \frac{no.[S \in C(p,r)]}{\pi r^2} \quad \text{<식 1>}$$

커널밀도추정은 점 객체가 위치한 지점 p에서 가장 큰 값이 부여되고 이후 거리가 멀어지게 됨에 따라 그 값이 작아져 설정한 반경인 r의 경계를 벗어나면 그 값이 부여되지 않는다. 커널밀도추정은 점 객체가 대상 점과의 거리에 따른 가중치가 고려되기 때문에 공간밀도를 시각적으로 표현할 수 있고 개념적 이해가 용이하다(길헤민, 박혁서, 박지윤 2015). 커널밀도추정은 연구지역의 서로 다른 데이터의 특성으로부터 그 밀도를 측정하는 방법으로 공간상의 점(point) 분포 패턴을 효과적으로 나타내는 방법의 하나이지만, 커널 반경을 나타내는 변수인 r을 결정할 때 이론적인 근거가 필요하다.

커널분석을 통해 도출된 신규측정소 위치 중 인구, 토지이용, 자동차 등의 환경변수를 고려하여 우선지역을 선정하기 위해 주성분분석이 사용되었다. 주성분분석은 다변량 분석법 중 가장 기본적인 분석방법으로서, 서로 상관이 있는 여러 종류의 관측특성을 가진 정보를 상관이 없는 몇 개의 종합 특성값으로 요약하여 자료의 특성을 설명하는 기법으로 본 논문에서는 SPSS statistics 25 버전을 사용하여 진행하였다. 주성분분석에 사용된 환경변수는 선행 연구 및 상관분석을 통해 미세먼지 데이터와 높은 상관관계를 가진 변수로 설정하였으며, 미세먼지 데이터는 AirKorea에서 제공하는 서울시 구별 연평균 PM_{10} 데이터를 사용하였다. 상관분석 결과로 나타난 자기상관성이 높은 변수들을 활용하여 주성분분석을 진행하였다. 주성분분석 결과에서 가장 설명력이 높은 제1주성분은 고유

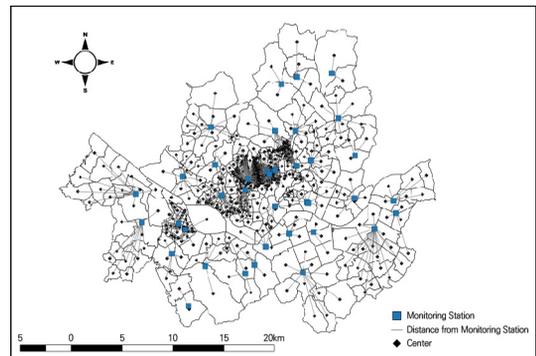
벡터를 통해 환산한 주성분 점수를 이용하여 구별에 따라 수치로 나타내어 우선지역을 선정하였다. 주성분분석에서 성분 회전에 사용된 방법은 Varimax를 사용하였고 분석 결과의 검정을 위해 KMO 및 Bartlett의 구형성 검정을 사용하였다.

III. 연구결과

1. 동 중심과 측정소 최단거리 분석

본 논문에서는 서울시를 대상으로 하여 각 행정동의 중심지점과 대기오염측정소와의 거리를 계산하고 각 지점의 미세먼지 측정값에 대한 신뢰성을 분석하였다. <Figure 2>는 서울시의 대기오염측정소와 동 단위의 행정구역 중심의 최단거리를 나타낸 것이다. 서울시에 존재하는 39개의 대기오염 측정망과 468개의 동별 행정구역 중심에서 측정소까지 최단거리에 이르는 노드를 나타냈다. <Figure 3>은 <Figure 2>에서 나타낸 동 중심과 대기오염측정소 간의 거리를 히스토그램으로 나타낸 것이다. 히스토그램으로 나타낸 각 도수의 계급값은 250m 단위로 산정했다. 대부분의 행정동이 0~2,000m 사이에 분포하고 있으며 그 중

Figure 2_ Status of Shortest-Distance Distribution in The Center of PM Monitoring Stations and Stroke



측정소와의 거리가 1,000~1,250m에 해당하는 도수가 가장 많은 분포를 나타냈다. 또한, 행정동 중심과 측정소 간의 거리가 2,000m 이상을 나타내는 지점도 다수 분포하고 있으며 그중에는 6,000m가 넘게 떨어진 행정동의 중심도 존재한다. 대기오염측정소와 행정동 중심 간의 최단거리가 500m 이하인 동은 전체 468개의 동 가운데 가장 가까운 102m를 나타낸 성동구 성수동 1가부터 497m를 나타낸 종로구 을지로 9가까지 총 55개의 동이 나타났다. 500~1,000m 이하인 동은 측정소와의 거리가 505m로 가장 가까운 중랑구의 면목동부터 996m인 서초구의 잠원동까지 총

Figure 3 _ Histogram of PM Monitoring Stations and Central Distance Distribution

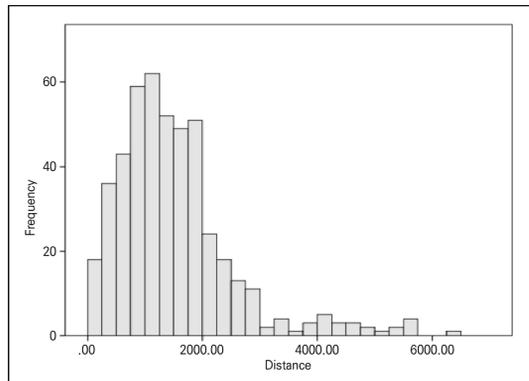
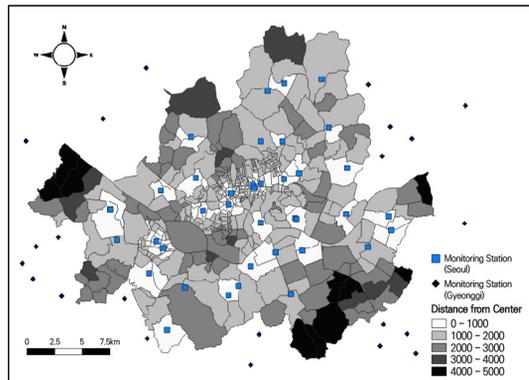


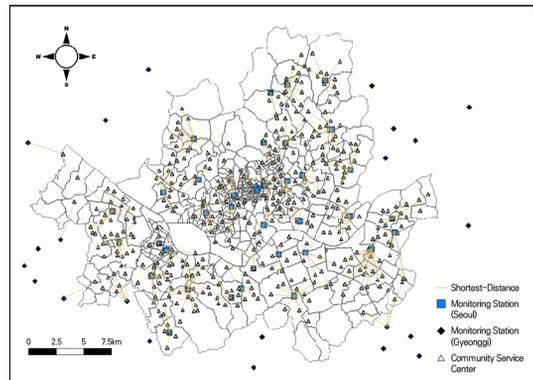
Figure 4 _ Classification Distribution According to The Distance Between The Location of The Monitoring Station and The Center of The Stroke



102개의 동이 나타났다.

본 논문에서는 측정소의 영향권을 측정망 운영지침에 따라 2km로 정하고 <Figure 4>와 같이 대기오염측정소와 행정동 중심 간의 거리를 1,000m 간격으로 5개 등급으로 나누어 측정소로부터 영향권을 나타냈다. 가장 가까운 1등급은 측정소와의 거리를 0~1,000m 내에 들어오는 행정동으로 선정하였다. 2등급은 1,000~2,000m, 3등급은 2,000~3,000m, 4등급은 3,000~4,000m이고 가장 거리가 먼 5등급은 4,000m 이상 지역으로 선정하였다. 이 중 5등급으로 나타난 행정동은 측정소의 영향권에서 벗어나 정확한 측정값을 제공받고 있지 않다고 판단할 수 있다. 5등급으로 산정된 지역은 강서구, 구로구, 강남구, 송파구, 강동구에 있는 행정동으로 총 21개의 행정동으로 나타났고 대부분 서울시 외곽지역에 위치하고 있다. 대기오염 측정망 설치·운영방침에서 제시한 측정소 영향권은 반경 2km 범위를 기준으로 할 경우 <Figure 4>에서 나타난 등급 중 3등급 이상의 지역에 해당한다. 3등급 이상에 해당하는 행정동은 총 96개 동으로 나타났으며 주로 강서구, 구로구, 관악구, 강남구, 송파구, 강동구, 용산구, 은평구 지역에 분포하고 있다. 측정소로부터 거리가 먼 행정동 지역은 다른 행정동에 비

Figure 5 _ Map of The Shortest-Distance Distribution Between The PM Monitoring Station and The Community Service Center



하여 신뢰성이 낮은 측정소 값 데이터가 제공되기 때문에 해당 행정동을 기반으로 하는 새로운 측정소의 필요성을 확인할 수 있다.

2. 주민자치센터의 커널분석

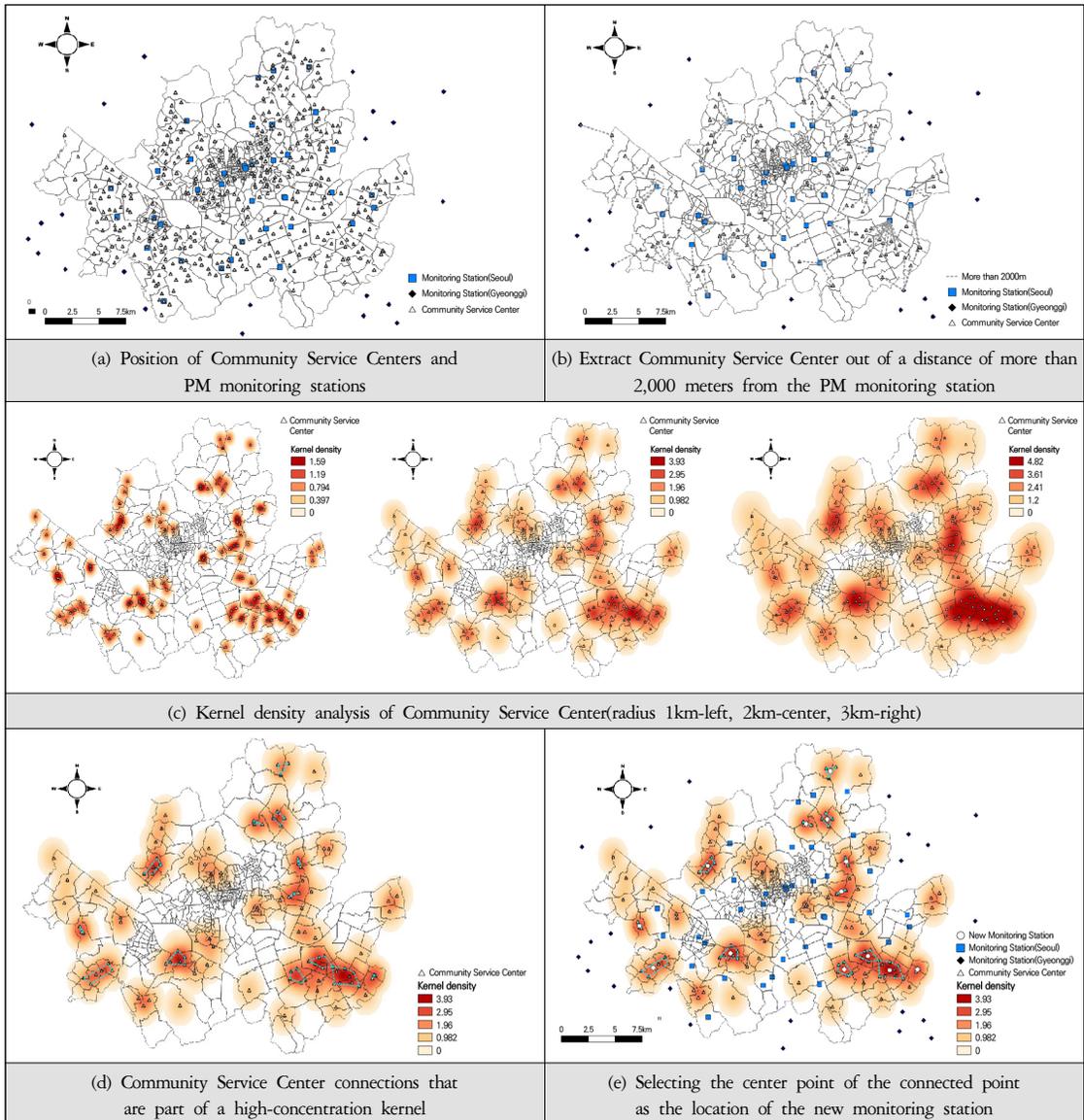
본 논문에서는 각 행정구역의 대표 위치라고 할 수

있는 주민자치센터의 공간 분포를 분석하였다. <Figure 5>는 서울시 39곳의 대기오염측정소와 425곳의 주민자치센터 간의 최단거리를 나타낸 것이다.

<Figure 6>은 서울시 동별 주민자치센터들을 이용하여 신규측정소 위치를 선정하는 과정을 나타낸 것이다.

(a)에서 서울시의 동별 주민자치센터 425곳과 미세 먼지를 관측하는 대기오염측정소 39곳의 위치를 나

Figure 6 _ Optimal Location Process of New PM Monitoring Station in Seoul



타내었다. 다음으로 기존 대기오염측정소와 거리의 중복성을 배제하기 위해 주민자치센터와 측정소의 최단거리가 2,000m 이상인 지점을 추출하였다. (b)를 보면 측정소와의 거리가 2,000m 이상인 주민자치센터들은 특정 지역에서 밀집되어 분포하고 있다. (c)는 이러한 지점들의 밀도를 나타내기 위해 측정소와 2,000m 이상 떨어진 주민자치센터들을 이용해 커널 분석을 수행한 결과이다. 커널의 반경에 따라 신규측정소 위치로 나타나는 결과가 달라질 경우를 고려하기 위해 1km, 2km, 3km 세 가지 경우를 나타냈다. 주민자치센터는 인구, 지리적, 행정적으로 대표 위치에 해당하므로 커널밀도가 높은 지역은 신규 미세먼지 측정값을 제공해야 하는 지역이라는 의미이다. 그 중에서도 가장 커널밀도가 높은 지역은 인구 분포나, 행정구역상으로 중요한 위치에 있음에도 불구하고 주변 지역에 미세먼지 측정소가 존재하지 않는다. (c)에서 나타난 주민자치센터가 가장 밀집된 지역은 대치동, 잠실동, 고척동을 비롯하여 총 25개의동이 파악되었다. 분석된 결과를 통해 신규측정소를 선정하기 위해 가장 밀집된 커널에 속하는 주민자치센터들을 포괄할 수 있는 중심점을 이용하였다. (d)는 커널의 중심점을 나타내기 위해 가장 밀집된 커널에 속하는 주민자치센터들을 폴리곤으로 묶은 것이다. 폴리곤의

중심점을 나타내 주민자치센터들을 모두 포괄할 수 있는 지역을 선정한 결과가 (e)이다. (e)에서 나타난 폴리곤의 중심점은 신규측정소의 위치가 될 것이며 각 커널에 속한 모든 주민자치센터는 최단거리로 연결되어 있으므로 측정값의 오차 발생 가능성이 매우 낮을 것으로 판단된다. 해당 과정을 거쳐 선정된 신규측정소는 총 13곳으로 나타났다.

3. 주성분분석을 이용한 우선 지역 선정

본 논문에서는 커널밀도분석을 통해 선정된 신규측정소 중 우선지역을 선정하기 위해 측정소 선정에 영향을 줄 것으로 판단되는 환경변수인 구별 취업자 수, 자동차 등록 수, 일반주거지역, 유동인구(전입, 전출)를 이용하여 각 측정소에서 측정된 연평균 PM₁₀ 데이터 함께 상관분석을 수행하였고, 그 결과를 <Table 2>에 나타냈다. 환경변수 간의 상관분석 결과는 상관계수가 모두 ±0.5 이상으로 높은 상관관계를 가진 것으로 나타났다. <Table 3>은 환경변수 간의 주성분 분석 수행 결과와 각 성분의 고유값을 나타낸 것이다. 자기 상관성이 높은 환경변수 간의 주성분분석 결과는 취업자 수, 자동차 등록 수, 일반주거지역, 인구 전입, 인구 전출이 같은 성질을 가진 1성분으로 분류되

Table 2_PCA and Correlation Analysis of Environment Variables in Seoul

Variables	Correlation coefficient				
	V4	V5	V6	V7	V8
V4	1.000				
V5	0.619	1.000			
V6	-0.660	-0.521	1.000		
V7	-0.677	-0.506	0.978	1.000	
V8	0.858	0.693	-0.585	-0.623	1.000

Note: V4: Employed population, V5: Residential area, V6: Floating population(move in)

V7: Floating population(move out), V8: Car registration.

PCA Method : Varimax, KMO : 0.668 Bartlett : $\chi^2(15)=132.218, p<.000$.

있고 총 분산의 56.841%의 설명력을 가진다. 또한 KMO 검정 결과 0.668로, 0.5 이상이기 때문에 적절한 주성분분석 결과로 해석된다. <Figure 7>은 주성분분석 결과 나타난 1성분을 구별 고유벡터를 통해 주성분 점수로 환산한 것이다.

통계적인 측면에서는 강남구, 송파구가 상대적으로 높은 주성분 점수를 나타내고 있다. 그에 비해 금천구, 종로구, 중구의 경우 상대적으로 낮은 주성분 점수를 나타내고 있어 환경변수들의 값이 상대적으로 낮은 수치를 가지고 있다. 따라서 강남구, 송파구가 인구, 자동차 등록 수, 주거지역 등이 상대적으로 다른 구에 비해 높은 수치를 나타내고 있으므로 신규측정소 우선지역으로 선정되었다. <Table 4>는 커널분석을 통해 선정된 13곳의 후보지 중 커널합수 및 주성분 점수가 가장 높은 우선지역 3곳을 나타낸 것이다. 1순위로 선정된 지역은 커널합수가 3.8인 강남구 가락1동 주민센터이다. 2순위는 커널밀도가 3.52인 송

파구 삼전동 주민센터이고, 3순위는 커널밀도가 3.22인 송파구 대치1동 주민센터로 나타났다.

IV. 결론

본 논문에서는 서울시 대기오염 측정망과 행정동 중심과의 거리를 통해 현재 제공되고 있는 미세먼지 측정소 위치에 관한 문제점을 제기하였다. 또한, 문제점 해결을 위해 주민자치센터의 커널분석, 주성분분석을 이용하여 얻어낸 결론은 다음과 같다.

첫째, 서울시 행정동 중심과 대기오염측정소와의 최단거리를 1,000m 단위로 총 5등급으로 나누어 지도로 나타낼 경우 대기오염 측정망 설치·운영기준에서 제시한 측정소 영향권 2,000m 이내를 초과하는 지역은 총 96개 행정동으로 나타났다.

둘째, 서울시 소재 주민자치센터 중 측정소와의 거리가 2000m 이상인 지점들을 커널밀도분석을 통하여

Table 3_ PCA Results and Corresponding Eigenvalue Information

Env. Variables	Components	
	1	2
V4	0.772	-0.473
V5	0.759	-0.217
V6	-0.507	0.779
V7	-0.533	0.754
V8	0.933	-0.183
PM10_years	0.678	0.090
Eigen Value	3.979	1.229
Change (%)	56.841	17.563
Cumulative (%)	56.841	74.404

Figure 7_ PC Score and New Monitoring Station in Seoul

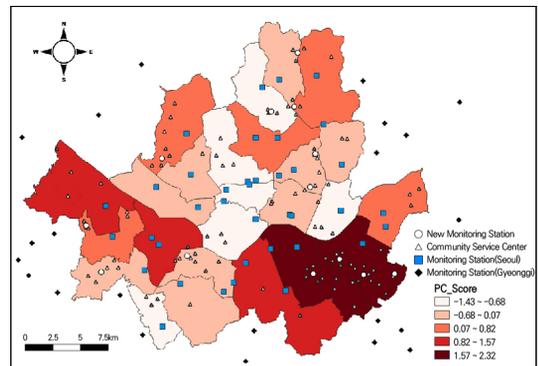


Table 4_ Priority Area of New PM Monitoring Station in Seoul

	Address	Kernel Density	Distance from Nearest PM Station(m)
1	Garak 1-dong Community Center	3.867064	2839
2	Samjeon-dong Community Center	3.527023	2541
3	Daechi 1 dong Community Center	3.226242	2854

신규측정소가 필요한 영역을 나타냈다. 각 커널에서 가장 밀집된 지역의 중심점을 신규측정소 위치로 선정하였으며 총 13곳이 선정되었다.

셋째, 우선지역은 커널분석을 통해 선정된 신규측정소 위치 중 우선지역을 나타내기 위해 환경변수를 통한 주성분분석을 사용하였다. 주성분분석에 사용한 환경변수는 취업자 수, 자동차 등록 수, 일반주거지역, 인구 전입, 인구 전출이며 주성분분석 결과로 나타난 주성분 점수와 대상 지역의 커널함수를 통해 총 3곳의 우선지역을 선정하였다.

본 논문은 공공시설인 주민자치시설에 대한 신규측정소 선정으로, 국가로 하여금 더욱 정밀한 미세먼지 측정망관리가 가능하다는 것을 파악하였다. 연구과정에서 제시된 서울시의 행정동과 측정소의 거리를 이용하여 측정 농도를 파악하기 어려운 지역의 공간적 범위를 나타내고, 주민자치센터의 커널밀도를 통해 신규측정소의 위치를 선정하는 본 연구는 서울시의 미세먼지 측정소 간의 거리 중복성을 평가하는 데 하나의 방법으로 적용될 수 있다. 향후에는 본 연구의 결과를 바탕으로 도로변측정소와 도시대기측정소의 신규 측정지점을 선정하는 과정에서 각각의 측정목적에 맞는 대기오염물질정보 수집을 위한 위치를 선정하는 연구가 필요하다고 판단된다.

참고문헌 •••••

1. 도시·군계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙. 2014. 국토교통부령 제679호(12월 31일 일부개정). 제95조, 제5항.
2. 권해욱, 김성준, 김용표, 김상균, 홍지형, 최성득. 2017. 유해 대기오염물질 모니터링을 위한 대도시 우선순위 측정지점 선정기법 제안. 한국대기환경학회지. 33권, 6호: 544-553. <http://doi.org/10.5572/KOSAE.2017.33.6.544>
Kwon Hyeok, Kim Seongjoon, Kim Yongpyo, Kim

- Sangkyun, Hong Jihyung and Choi Sungdeuk. 2017. Suggestions on the selection method of priority monitoring sites for hazardous air pollutants in megacities. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 33, no.6: 544-553. <http://doi.org/10.5572/KOSAE.2017.33.6.544>
3. 길혜민, 박혁서, 박지윤. 2015. GIS기반 커널밀도함수분석과 LISA분석을 활용한 요양병원 입지선정요인분석 수도권 의 수요공급요인을 중심으로. 주거환경 13권, 4호: 283-299. Kil Hyemin, Park Hyeokseo and Park Jiyun. 2015. Analyzing the location-selecting factors for care hospitals using Kernel Density Function and LISA based on GIS: Focusing on the demand and supply factors of the metropolitan area. *Journal of The Residential Environment Institute Of Korea* 13, no.4: 283-299.
4. 김아영, 권창희. 2016. GIS를 이용한 도심지 대기오염 측정망 최적위치 선정에 대한 연구: 서울특별시를 대상으로. 한 국재난정보학회 논문집 12권, 4호: 358-365. <https://doi.org/10.15683/kosdi.2016.12.31.358>
Kim Ahyoung and Kwon Changhee. 2016. Study on optimal location of air pollution monitoring networks in urban area using GIS: Focused on the case of Seoul City. *Journal of the Korea Society of Disaster Information* 12, no.4: 358-365. <https://doi.org/10.15683/kosdi.2016.12.31.358>
5. 김영성, 최용주, 박지수, 김찬혁. 2014. 서울지역 도시대기측정망 평가 연구. 한국대기환경학회지 30권, 5호: 504-509. <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2014.30.5.504>
Ghim Youngsung, Choi Yongjoo, Park Jisoo and Kim Chanhyuk. 2014. An assessment study for the urban air monitoring network in Seoul. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 30, no.5: 504-509. <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2014.30.5.504>
6. 김형진. 2018. 미세먼지 원인 요소들의 영향력 변화 추정: 경유를 중심으로. *Journal of The Korean Data Analysis Society* 20권, 2호: 747-757. <http://doi.org/10.37727/jkdas.2018.20.2.747>
Kim Hyunggun. 2018. Estimating changes of causative factors' influences: Focusing on diesel. *Journal of The Korean Data Analysis Society* 20, no.2: 747-757. <http://doi.org/10.37727/jkdas.2018.20.2.747>
7. 서울 열린데이터광장. <http://data.seoul.go.kr>
Data Seoul. <http://data.seoul.go.kr>
8. 에어코리아. <http://www.airkorea.or.kr>

- Airkorea. <http://www.airkorea.or.kr>
9. 오규식, 정희범. 2007. 도시의 개발밀도 변화가 대기오염에 미치는 영향: 서울시 이산화질소(NO₂) 및 미세먼지(PM₁₀)를 중심으로. 국토계획 42권, 5호: 197-210.
Oh Kyushik and Chung Heebum. 2007. The influence of urban development density on air pollution. *Journal of Korea Planning Association* 42, no.5: 197-210.
 10. 유재환, 김학열. 2011. 서울시 대기오염측정소의 중복가능성 평가. 도시행정학보 24권, 4호: 299-313.
Yoo Jaehwan and Kim Hageol. 2011. An evaluation on redundancy of air pollution monitoring stations in Seoul. *The Journal of the Korean Urban Management Association* 24, no.4: 299-313.
 11. 정종철. 2017. 서울시 미세먼지 관측망 위치 적정성 평가를 위한 공간정보 활용방안. 지적과 국토정보 47권, 2호: 175-184. <http://doi.org/10.22640/lxsiri.2017.47.2.175>
Jeong Jongchul. 2017. Spatial information application case for appropriate location assessment of PM₁₀ observation network in Seoul City. *Journal of Cadastre & Land InformatiX* 47, no.2: 175-184. <http://doi.org/10.22640/lxsiri.2017.47.2.175>
 12. 최성우, 이증범. 2011. 대구지역 대기오염자동측정망 위치의 타당성 분석. 한국환경과학회지 20권, 1호: 81-91.
Choi Sungwoo and Lee Jungbeom. 2011. Feasibility study for the location of air quality monitoring network in Daegu Area. *Journal of the Environmental Sciences* 20, no.4: 81-91.
 13. 최임조, 조완근, 신승호. 2016. 다변량분석법을 활용한 수도권 지역의 대기오염측정망 평가. 한국환경과학회지 25권, 5호: 673-681. <http://doi.org/10.5322/JESI.2016.25.5.673>
Choi Imjo, Jo Wankeun and Sin Seungho. 2016. Evaluation of air pollution monitoring networks in Seoul Metropolitan area using multivariate analysis. *Journal of Environmental Science International* 25, no.5: 673-681. <http://doi.org/10.5322/JESI.2016.25.5.673>
 14. 홍재선, 김학열, 이승주. 2007. 도시특성요소가 서울시 대기 중 이산화질소 오염에 미치는 영향. 서울도시연구 8권, 3호: 117-130.
Hong Jaesun, Kim Hageol and Lee Seungjoo. 2007. The analysis of the effects of urban characteristics on NO₂ concentrations in Seoul. *Seoul Studies* 8, no.3: 117-130.
 15. Lu, D., Xu, J., Yang, D. and Zhao, J. 2017. Spatio-temporal variation and influence factors of PM 2.5 concentrations in China from 1998 to 2014. *Atmospheric Pollution Research* 8, no.6: 1151-1159. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.05.005>
 16. Paciorek, C., Yanosky, J., Puett, R., Laden, F. and Suh, H. 2009. Practical large-scale spatio-temporal modeling of particulate matter concentrations. *The Annals of Applied Statistics* 3, no.1: 370-397. <http://dx.doi.org/10.1214/08-AOAS204>
 17. Petrisor, A. I., Ianos, I., Iurea, D. and Vaidianu, M. N. 2012. Applications of principal component analysis integrated with GIS. *Procedia Environmental Sciences* 14: 247-256. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.03.024>
 18. Wang, L., Fan, H. and Wang, Y. 2018. Site selection of retail shops based on spatial accessibility and hybrid BP neural network. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 7, no.6: 202. <https://doi.org/10.3390/ijgi7060202>
-
- 논문 접수일: 2020. 1. 10.
 - 심사 시작일: 2020. 1. 29.
 - 심사 완료일: 2020. 6. 4.

요약

주제어: 미세먼지, 대기오염측정망, 커널분석 추정, 위치선정, 주성분분석

새로운 미세먼지 측정소 위치를 선정하기 위해서 접근 가능성에 따라 미세먼지 측정소와 사용자 간 공간상 분포를 고려하는 것은 중요하다. 본 논문에서는 공간분석을 활용하여 서울시 각 행정동과 측정소의 최단거리를 분석하였고 공간 분석된 결과에 따라 측정소의 영향력을 지도로 나타냈다. 또한 주민센터와 같은 공공시설과 미세먼지 측정소의 커널밀도추정과 거리 분석을 통하여 새로운 미세먼지 측정소 위치를

제시했다. 환경부에서 제공하는 측정소 위치 선정기준을 이용해 분석된 결과에서 기존 측정망과의 중복성을 나타내지 않고 기존 측정소의 영향권을 벗어난 지역으로 새로운 측정소를 선정하는 방법을 제시하였다. 주성분 분석을 사용하여 신규측정소의 위치 중 우선 선정지역을 나타냈다. 본 논문에서 제시하는 신규측정소를 통해 기존 미세먼지 측정망보다 정확한 농도 제공서비스를 할 수 있을 것으로 판단된다.
