

공간 보간법을 이용한 도시지역 미세먼지 측정소의 배치 적절성 평가

Assessment of PM-10 Monitoring Stations in Daegu using GIS Interpolation

김효정* · 조완근**

Kim, Hyo Jeong · Jo, Wan Kuen

要 旨

본 연구에서는 대기분야에 GIS를 적용하여 대구지역 미세먼지(PM-10) 측정소의 위치가 적절한지 평가하고, 공중 보건과 밀접한 관련이 있는 PM-10을 관리하기 위한 적합한 장소를 모색하였다. 대구시에는 총 11개의 도시대기측정소가 있으며 측정된 자료는 전체적인 PM-10 오염현황 파악에 사용되고 있다. 그러나 기존의 대기오염 자동측정소는 측정기기의 배치상의 문제점을 자주 노출해 왔다. 따라서 본 연구는 GIS 보간법인 IDW와 Kriging 기법을 활용하여 대구지역 PM-10 농도지도도를 작성하였다. 그 후, 대역분석을 통해 법정동별 평균 PM-10오염농도를 산출한 뒤, 기존 설치된 측정소가 저오염지역과 고오염지역 전반에 걸쳐 고르게 분포하고 있는지 평가하였다. 연도별, 계절별, 요일별 각 측정기간별로 살펴본 결과 대구광역시에 설치된 PM-10 대기측정소는 다양한 농도를 대표하기에는 부족한 부분이 있었다. 이러한 부족 부분을 보강하기 위하여, 각 평가단계마다 공통적으로 선정된 7개 지역(남산동, 남일동, 동일동, 북성로 1가, 종로 2가, 향촌동, 화전동)이 PM-10을 위한 추가설치지점으로 제안된다. 나아가, 대구지역 뿐만 아니라 타 도시에서도 공중의 보건을 위해 측정소의 구체적인 설치 장소 선정 및 추가설치가 필요할 것이라 제안된다.

핵심용어 : 공간정보, 미세먼지, 측정소, 농도지도, 시간적 변화

Abstract

This study evaluated the feasibility of the location for PM-10 Monitoring Stations utilizing through GIS analysis. In addition, optimal sites were investigated to properly manage PM-10 which are closely related with public health. There are 11 PM-10 monitoring stations in Daegu area and the PM-10 data monitored at these stations are utilized to understand the overall status of PM-10 pollution. However, there are contrastive issues on the locations of current monitoring stations. Thus, this study prepared the map of PM-10 concentrations in Daegu area using IDW and Kriging techniques. Furthermore, average PM-10 concentrations were calculated using zonal statistical methods according to legal divisions and then, the current monitoring stations were evaluated whether their location is appropriate or not for PM-10 pollution distribution. It was found that, on the basis of yearly, seasonal and daily concentration analysis, the location of current PM-10 monitoring stations were not appropriate, particularly as they could not represent regional PM-10 pollution characteristics. In order to supplement this deficiency, seven sites(Namsandong, Namildong, Dongildong, Buksungro 1, Jongro 1, Hyangchondong and Haejeondong) commonly selected from each analytical step are suggested as additional PM-10 monitoring sites. It is further suggested that this kind of scientific evaluation for the location of PM-10 monitoring stations are needed in order to properly manage public health in other cities as well as Daegu area.

Keywords : GIS, PM-10, Monitoring Station, Concentration Map, Temporal Variation.

1. 서론

도시화가 급속히 진행됨에 따라 대기오염배출원의 수와 규모가 증대되고 대기 영향권역이 점차 확대되면서

서 맑은 공기에 대한 시민들의 욕구가 커져가고 있다. 공기역학적 직경이 10 μ m 이상인 입자까지 포함하는 총 부유분진(total suspended particulates : TSP)과는 달리, PM-10은 호흡기관을 통해 기관지나 폐포까지 침투

2012년 2월 2일 접수, 2012년 5월 29일 채택

* 정희원 · 경북대학교 공간정보학과 석사(hhhyo6@naver.com)

** 교신저자 · 경북대학교 환경공학과/공간정보학과 교수(wkjo@knu.ac.kr)

하며 유해성분을 포함한 유독성의 미세입자는 폐포에 침착하여 호흡기 질환을 야기하는 등 인체 건강에 악영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Hong et al., 2002). 뿐만 아니라 대기 중에 부유하면서 빛을 흡수산란시켜 시정을 악화시키고 식물의 잎 표면에 침적되어 식물 생육을 더디게 한다(Bahadur et al., 2009). 주로 연소 및 광화학적 과정에 의해서 생성되며 독성이 강한 물질까지 포함하기 때문에 인체에 더욱 유해한 것으로 알려져 있는 PM-10은 우리나라에서도 TSP와 더불어 PM-10의 기준을 신설하여(연 평균 기준치는 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하이고 일평균 기준치는 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$) 1995년 1월 1일부터 시행하고 있다. 국내 미세먼지 농도는 수도권을 중심으로 도쿄, 런던, 뉴욕, 파리의 2~3배 이상의 수준을 나타내고 있고 EU 기준인 $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 훨씬 상회하며 세계보건기구(WHO) 환경기준치인 $20\mu\text{g}$ 보다도 2.5배가량 높다(환경부, 2007). 대구지역의 경우 인위적 분진오염원인 자동차와 가정 및 산업체 에너지 사용, 열병합발전소, 소각로 특히 여러 공단들로부터 방출되는 미세분진으로 인해 전국에서 PM-10의 오염도가 가장 심한 도시들 중에 하나로 알려져 있다(조완근과 권기동, 2003).

체계적으로 대기질을 관리하기 위해서는 대기에 대한 기초 자료 수집이 필요하며 이를 위해 국가에서는 자동대기 측정소를 설치운영하고 있다. 자동대기 측정소는 도시대기측정소, 도로변대기측정소, 교외대기측정소, 국가배경농도측정소의 네 가지로 구분되며 도시 대기 측정소 및 도로변 대기 측정소는 지자체에서 운영, 대구시에는 각각 11개, 2개의 측정소가 운영되고 있다. 여기서 측정한 자료는 전체적인 현황 파악이나 대기질 관리 정책 수립의 기초자료가 된다. 일반적으로 지역의 대기 측정소가 그 지역의 오염도를 대표하는 것으로 인식되고 있으나 기존의 대기오염 자동측정소는 측정기기의 배치상의 문제점을 자주 노출해 왔다(우정현 등, 1997). 특히 기존의 대기오염측정소의 배치기준은 토지이용형태와 측정 장소의 관리용이성 등에 근거를 두고 있어 지형 및 기상학적 특성은 고려하지 못하는 문제점이 지적되어왔다(유은철과 박옥현, 2007). 그러나 대기측정소는 금전적인 이유로 추가 설치에 한계가 있기 때문에 (Yenisoy Karakas and Tuncel, 2004) 보다 과학적인 기술을 활용하여 평가할 필요가 있다.

환경역학과 노출측정 및 평가 분야에서 새로운 도구로 GIS(geographic information systems) 공간분석 기법이 자주 사용되고 있다(Han DK et al., 2011). 이중 보간법은 모르는 지역의 값을 예측하는데 가장 많이 사용되는 방법으로 도시지역에서의 정확한 대기오염 농도를 예측하기 위한 연구가 선행되었다(Diem and Co

mrie, 2002; Fuentes, 2002; Rojas-Avellaneda, 2007; Wong et al., 2004). 특히 Kriging 같은 내삽법(interpolation method)을 이용한 공간보간법 기반의 과학적이고 객관적인 후보입지를 선정하기 위한 연구에 활용되고 있다(Son et al., 2010, Eum, 2008). PM10 관리를 효과적으로 실행되기 위해서는 우선 기존 측정소 자료 분석을 통하여 PM10 농도변화 추이와 특성을 이해하고 그 주요 원인을 파악하는 등 PM10 농도변화를 이해하기 위한 종합적인 연구가 뒷받침 되어야 한다(한지현 등, 2008; 김용표, 2006). 따라서 이들 물질의 장기적이고도 정기적인 관측을 통하여 대기오염물질에 대한 관리방안을 마련하는 것은 매우 중요한 과제라고 할 수 있다. 본 연구에서는 대기분야에 GIS 농도보간법을 활용하여 대구지역 PM-10 측정소의 위치가 농도 다양성을 대표하고 있는지 평가하고, 부족하다고 판단될 경우 추가설치지역을 추천하였다. 이를 통하여 PM-10 농도에 관한 다양한 기초자료의 수집 및 체계적인 관리가 가능하게 되어 공중 보건에 기여하는데 본 연구의 목적이 있다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 Figure 1에서 나타난 바와 같이 대기오염 분야에 GIS를 활용하여 대구시 대기오염 농도 지도를 작성하고 이 지도를 바탕으로 현재 대기오염측정소의 위치가 적절한지를 평가하였다. GIS 시스템을 구성하는 자료는 크게 속성자료와 공간자료로 구분된다. 대구시 대기오염 농도지도의 경우 속성자료로 Air Korea에서 제공하는 대구시 도시대기측정소에서의 측정 농도를 활용하였고, 공간자료로 대구보건환경연구원을 통해 얻은 대구시 측정소의 경위도 좌표를 활용하였다. 그 후 공간추정기법 중 하나인 GIS 보간법(IDW, Kriging)을 활용하여 지도를 작성하였다. 대구시는 1989년부터 동인동, 중리동, 대명동, 산격동 측정소가 설치운영되었고 그 후 측정소가 추가 설치되어 현재 11곳에서 대기오염 농도자료를 측정제공하고 있다. 대구시 대기오염 농도지도가 작성이 되면 zonal statistics를 통해서 법정동별 평균 대기오염도를 구하고 이를 Natural Breaks(Jenks)에 따라서 9단계(저 농도부터 LL-LM-LH-ML-MM-MH-HL-HM-HH)로 나눴다. 각 단계에 해당하는 곳에 현재 측정소가 설치되어있는 지를 파악하고, 미 설치시 해당 단계에 속하는 법정동을 추천지로 제안하였다. 법정동은 오염물질 확산과는 직접적인 관계가 없지만 현재 대기측정소가 법정동을 기준으로 설치되어 있어 행정적인 편의를 위하여 공간분석 단위를 법정

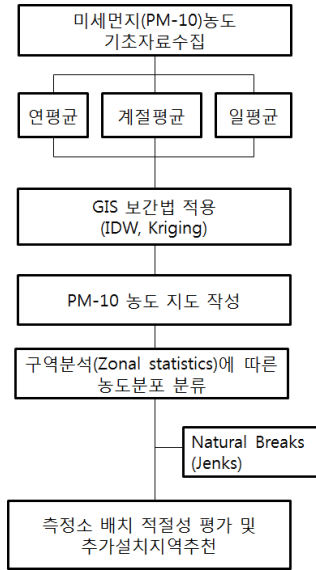


Figure 1. Flow chart of the study

동을 선택하였다. 그 밖에 농도자료 외에 다른 요인은 고려하지 않았다.

2.1 농도지도 활용자료

공간데이터는 속성자료와 공간자료로 구분되는데, 속성자료로 사용될 농도는 대기환경연보 자료로 현재 설치된 10곳 모두에서 측정이 이뤄진 것은 2004년도부터이다. 그러나 PM-10의 경우 2004년과 2005년 두 해에 걸쳐 이현동과 노원동 지점에서 결측치가 발생하여 보간을 하기위한 기초 데이터를 만족시키지 못하여 2006년 자료부터 활용하였다. 농도 값은 다시 시간에 따라 연도별, 계절별, 요일별로 나눠서 입력하였다. 요일별 데이

터는 일일 데이터가 있는 대구시 보건환경연구원에서 운영하는 실시간 대기 정보 시스템의 자료를 사용하였다. 이 값들은 측정소에서 실측한 값으로 앞선 연도별, 계절별 자료와 달리 이상 자료를 선별하지 않은 값이다. 이상 자료란 대기오염도를 측정하는 장비가 교정, 동작불량 등 비정상적일 경우 측정된 자료를 뜻한다.

공간자료로 측정소의 위치를 사용하였다. 동인동, 중리동, 대명동, 산격동 측정소를 시작으로 자동대기측정소를 설치운영했으나, 시간의 흐름에 따라 삼덕동, 수창동, 이현동, 노원동, 복현동, 신암동, 만촌동, 지산동, 갈산동, 율하동, 태전동, 현풍면 측정소가 추가로 설치되고 일부 측정소는 사라져 현재 대구시(달성군 현풍 측정소 제외)에는 총 10개의 측정소가 운영되고 있다. 각 측정소마다의 설치장소, 경도와 위도는 Table 1에 나타나 있으며 이를 공간자료로 나타내면 Figure 2와 같다.

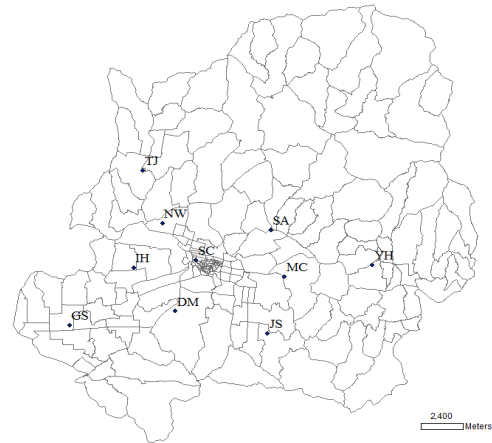


Figure 2. Air quality monitoring stations in Daegu

Table 1. Geographical attributes of air quality monitoring stations

| 측정소 | 설치장소 | 경도 (° ' ") | 위도 (° ' ") |
|-----|--------------|--------------|-------------|
| SC | 수창초등학교 | 128 35 10.00 | 35 52 15.00 |
| IH | 중리초등학교 | 128 32 49.00 | 35 51 59.00 |
| DM | 성명초등학교 | 128 34 24.00 | 35 50 33.00 |
| NW | 삼영초등학교 | 128 33 54.00 | 35 53 28.00 |
| SA | 신암5동주민센터 | 128 38 00.16 | 35 53 15.65 |
| MC | 동원초등학교 | 128 38 32.00 | 35 51 43.00 |
| JS | 대구지방환경청 | 128 37 53.95 | 35 49 49.32 |
| GS | 한국폴리텍 섬유패션대학 | 128 30 24.00 | 35 50 04.00 |
| YH | 안일초등학교 | 128 41 50.00 | 35 52 06.00 |
| TJ | 태암초등학교 | 128 33 08.00 | 35 55 13.00 |

※ SC* : 수창동 , IH* : 이현동, DM* : 대명동, NW* : 노원동 , SA* : 신암동, MC* : 만촌동, JS* : 지산동, GS* : 갈산동, YH* : 율하동, TJ* : 태전동

2.2 보간법을 이용한 농도지도작성

법정동별 농도를 구하기 위해 보간법을 이용하였다. 보간법 중에는 Bilinear 보간법, Cubic convolution 기법, 거리반비례평균법(Inverse distance weighting; IDW), 그리고 Kriging 보간법 등이 있다. 대기환경분야에서 적용될 수 있는 공간보간기법 중 최적의 방법은 현재 많은 비교연구에서도 명확하게 제시되지 않았으나 일반적으로 사용되는 기법은 IDW 보간법과 Kriging 보간법이 있어(윤성원, 1997) 본 연구에서 이 두 가지 보간법을 통해 대구시 농도 보간을 실시하였다.

$$Z(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^n z(x_i) d_{ij}^{-p}}{\sum_{i=1}^n d_{ij}^{-p}} \quad (1)$$

IDW 보간법에서는 거리에 따른 가중치의 영향력을 선택하는 것으로 Eq. (1)에 의해 산출된다. IDW는 공간적으로 인접한 지점 사이의 값은 유사성을 갖는 반면, 두지점 사이의 거리가 멀어질수록 이러한 유사성이 상대적으로 감소하게 된다고 가정한다. 여기서 Optimal Power Value(이하 P값)을 결정해야 한다. P값의 경우 값이 커질수록 예측지점과 멀리 있는 지점의 영향력은 작아지며, 반대로 이 값이 작아질수록 영향이 유사해진다(Cressie, 1991). 앞선 연구에 따르면 P값이 2일 때 가장 높은 정확도를 보여(김준현 등, 2010; 조홍래와 정종철, 2007) p값을 2로 설정하였다. 본 논문은 대구시 측정소의 농도를 바탕으로 GIS 보간법을 적용하여 농도 지도를 작성하였으나 내삽을 이용하는 GIS 보간법의 특성상 대구시 전역의 보간은 불가능 하였다. 농도 예측이 가능한 지역은 연도별, 계절별, 요일별 시간적 특성에 따라 IDW, Kriging 보간을 실시하고 이를 토대로 자동대기측정소의 위치 적절성을 평가하였다.

Kriging은 IDW와 마찬가지로 가중치의 적용에 의해 예측하고자 하는 방법이지만 IDW와 같이 단순거리에 관한 함수를 이용하기보다는 측정된 알려진 값들 간의 공간적 구조와 공간상관(Spatial autocorrelation)에 근거하는 방법이다. Ordinary Kriging과 Universal Kriging으로 나뉘며 이는 다시 적절한 보간과 정확성 향상을 위해서는 관측지점의 수 지정, 분리거리(Lag size), 분리개수, Semivariogram 함수 모델을 결정해야 한다. Semivariogram은 수학적 모델에 따라 Spherical, Circular, Exponential, Gaussian, Linear의 유형으로 나뉜다. Eqs. (2)와 (3)에 의해 산출되며 파라미터 μ 는 La

grange multiplier로 unbiasedness한 조건에서 오차를 최적으로 줄여주는 역할을 한다.

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

$$\begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma(x_1, x_1) & \cdots & \gamma(x_1, x_n) & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma(x_n, x_1) & \cdots & \gamma(x_n, x_n) & 1 \\ 1 & \cdots & 1 & 0 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \gamma(x_1, x^*) \\ \vdots \\ \gamma(x_n, x^*) \\ 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

선행 연구에 따르면 Ordinary Kriging이 Universal Kriging보다 비교적 예측 정확도가 높다. Semivariogram 함수 모델의 경우 Gaussian, Spherical, Exponential, Circular, Linear의 순으로 예측 정확도가 높게 나타나(김준현 등, 2010; 조홍래와 정종철, 2007) 본 연구에서는 Ordinary Kriging 기법에 Gaussian 함수 모델(Eq. (4))을 적용하여 보간하였다. C_0 는 문턱값, a 는 상관거리, h 는 분리거리를 나타낸다.

$$r(h) = C_0 \text{Gauss}_a(h) = C_0 [1 - \exp(-3(\frac{h}{a})^2)] \quad (4)$$

3. 결과 및 고찰

본 논문은 대구시 측정소의 농도를 바탕으로 GIS 보간법을 적용하여 농도 지도를 작성하였으나 내삽을 이용하는 GIS 보간법의 특성상 대구시 전역의 보간은 불가능 하였다. Figure 3은 기준에 설치된 측정소의 외부 지역으로 농도를 예측이 불가능한 지역이다. 농도 예측이 가능한 지역은 연도별, 계절별, 요일별 시간적 특성



Figure 3. Unpredictable 83 areas when GIS interpolation applied

에 따라 IDW, Kriging 보간을 실시하고 이를 토대로 자동 대기측정소의 위치 적절성을 평가하였다. 색이 짙을수록 오염도가 높으며 색이 옅을수록 오염도가 낮다. 지도에 표시된 핀 모양은 기존 설치된 측정소를 나타낸다.

3.1 연도별 측정소 위치 평가

연도별로 보간한 농도를 나타내면 Figure 4와 같다. 2008년을 제외하고는 보간법 간의 유사한 경향이 보이지 않았다. 보간법 별 교차검증에 따른 RMSE (Root-

Mean Square Error) 값을 비교하면 전반적으로 IDW 보간법보다 Kriging 보간법이 더 낮은 값을 나타내었다. 대기분야에 GIS 보간법을 적용한 다른 논문과 같이 Kriging 기법이 IDW 기법보다 좀 더 정밀한 것으로 드러났다(나영우, 2002; 김준현 등 2010). Table 2에 제시된 것과 같이 연도별로 각 측정소가 대표하는 단계를 비교하여 보면 2006년 IDW의 경우 중간농도 ML을 대표하는 기존 측정소가 없는 반면 Kriging은 낮은 농도(LL-LM-LH)와 고농도(HM)를 대표하는 기존 측

Table 2. Evaluation of monitoring station positions based on yearly concentrations

| | IDW보간법 | | | | Kriging보간법 | | | |
|------|--------|------|------|------|------------|------|------|------|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| DM | LM | LM | LM | LM | ML | LL | LM | ML |
| GS | HL | LM | HH | LH | HH | LL | HM | LL |
| IH | HH | HH | HH | HM | MH | LL | HH | LH |
| JS | HM | MH | LM | MH | ML | LL | LM | ML |
| MC | ML | ML | LL | LM | ML | LM | LL | LL |
| NW | HH | HH | HH | HH | ML | LL | HH | ML |
| SA | MH | LL | LL | LH | ML | LL | LL | ML |
| SC | LM | ML | HL | ML | ML | LL | HL | ML |
| TJ | MM | MH | LL | LL | HL | LL | LL | LH |
| YH | LL | MH | ML | MH | MM | HH | LH | HM |
| 최고 | 64.4 | 62.7 | 65.1 | 59.9 | 55.3 | 53.7 | 63.2 | 50.2 |
| 최저 | 45.0 | 44.0 | 49.0 | 39.0 | 52.5 | 51.6 | 52.8 | 48.1 |
| 평균 | 54.4 | 53.1 | 57.3 | 49.2 | 54.4 | 53.1 | 57.2 | 48.8 |
| RMSE | 7.42 | 7.20 | 6.54 | 8.09 | 7.17 | 7.12 | 6.52 | 7.09 |

※ 저농도 : LL, LM, LH. 중농도 : ML, MM, MH. 고농도 : HL, HM, HH.

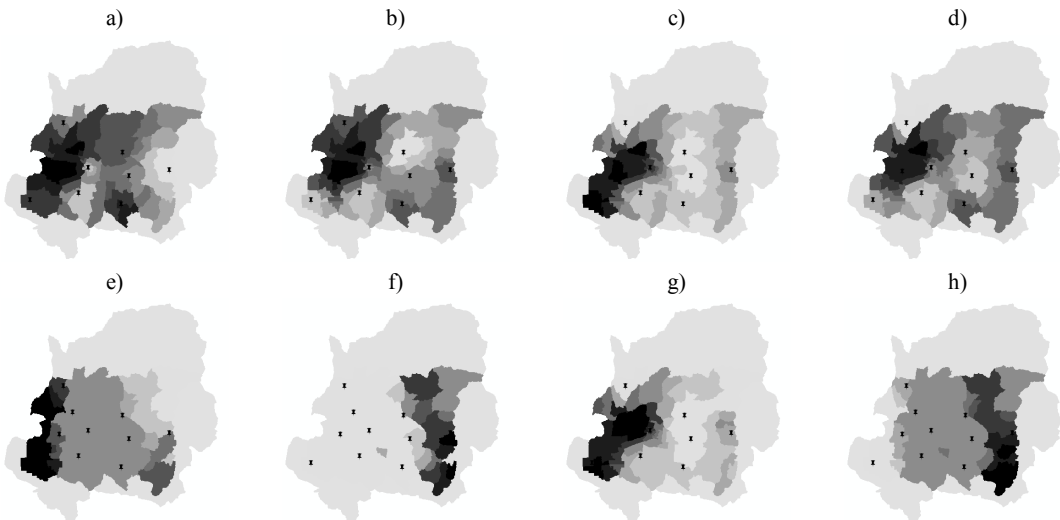


Figure 4. Yearly PM-10 concentration distribution by IDW(a-d, from left 2006, 2007, 2008, 2009) and Kriging(e-h from left 2006, 2007, 2008, 2009)

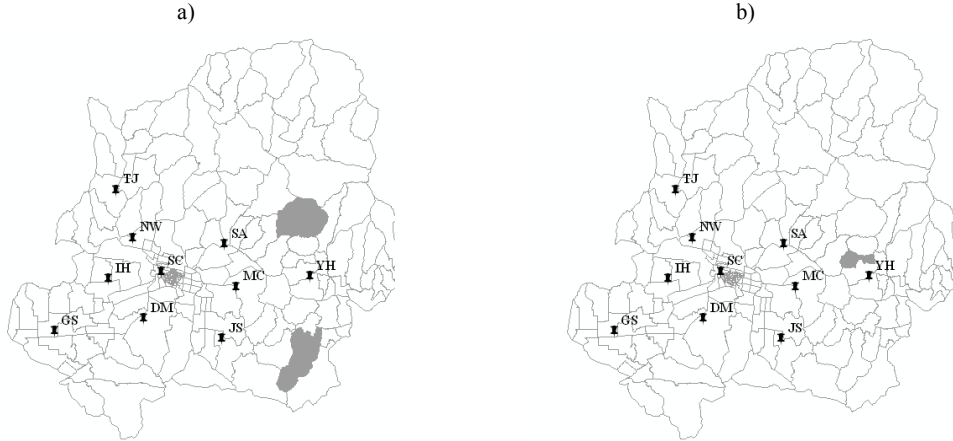


Figure 5. Selected site based on yearly PM-10 concentration. IDW(a), Kriging(b)

정소가 없는 것으로 나왔다. 가장 유사한 경향을 보였던 2008년의 경우 두 보간법 모두 중간농도에 해당하는 추가 설치가 필요하다는 결과가 나왔다. 두 보간법 모두 해가 거듭할수록 PM10 농도가 다소 줄어드는 것으로 드러나 권춘근(2008), 조완근과 권기동(2004) 등 다른 선행 연구와 결과를 같이하였다. 측정소별로 보면 대명동 측정소와 만촌동 측정소는 비교적 저농도 지역을, 이현동 측정소와 노원동 측정소가 비교적 고농도 지역을 대표하고 있는데 이는 DM, MC은 주거지역이고 IH, NW은 공업지역이기 때문으로 사료된다(권춘근, 2008). 연도마다 측정소를 각각 평가하고 모든 연

도에서 공통으로 추가 설치가 필요하다고 생각되는 지점을 Figure 5에 제시하였다. IDW의 경우 복성로 1가외 12곳(Table 5)이 선정된 반면 Kriging의 경우 신평동 한 곳만이 공통으로 선정되었다.

3.2 계절별 측정소 위치 평가

계절별로 보간하여 가시화하면 Figure 6과 같다. 연도별 보간법과는 달리 비교적 IDW와 Kriging 보간법 사이의 차이가 적었다. 봄을 제외하고는 Kriging의 교차검증 RMSE 값이 적어 IDW 보간법보다 높은 정확도를 보였다. 사계절의 농도를 비교하면 여름철 농도가

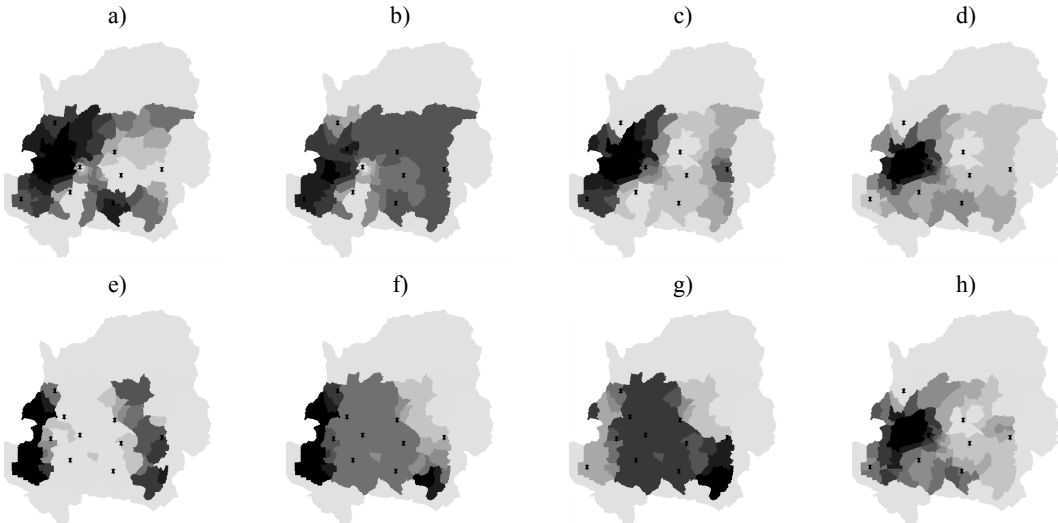


Figure 6. Seasonal PM-10 concentration distribution by IDW(a-d, from left spring, summer, fall, winter) and Kriging(e-h, from left spring, summer, fall, winter)

Table 3. Evaluation of monitoring station positions based on seasonal concentrations

| | IDW보간법 | | | | Kriging보간법 | | | |
|------|--------|------|------|------|------------|------|------|------|
| | 봄 | 여름 | 가을 | 겨울 | 봄 | 여름 | 가을 | 겨울 |
| DM | LL | LL | LL | LH | LL | MM | HL | ML |
| GS | MH | HM | HL | LM | HH | HH | LH | ML |
| IH | HH | HH | HH | HH | LH | MH | MH | HH |
| JS | HM | MH | LM | ML | LL | MM | HL | MM |
| MC | LL | MM | LM | LM | LM | MM | MH | LM |
| NW | HH | HM | HH | HH | LL | MM | HL | HH |
| SA | LM | MH | LL | LL | LL | MM | HL | LL |
| SC | LL | LL | MM | HM | LL | MM | HL | HM |
| TJ | HL | ML | LL | LL | MM | HL | MM | LL |
| YH | LL | MH | MH | LM | HL | LH | HM | LM |
| 최고 | 74.5 | 49.4 | 60.2 | 69.6 | 65.0 | 40.9 | 49.8 | 65.0 |
| 최저 | 58.0 | 34.0 | 42.0 | 49.0 | 63.6 | 38.8 | 47.8 | 54.4 |
| 평균 | 64.6 | 40.8 | 49.3 | 59.7 | 64.7 | 40.7 | 49.1 | 59.6 |
| RMSE | 7.04 | 5.77 | 7.47 | 7.47 | 7.08 | 5.54 | 7.17 | 7.34 |

※ 저농도 : LL, LM, LH. 중농도 : ML, MM, MH. 고농도 : HL, HM, HH.

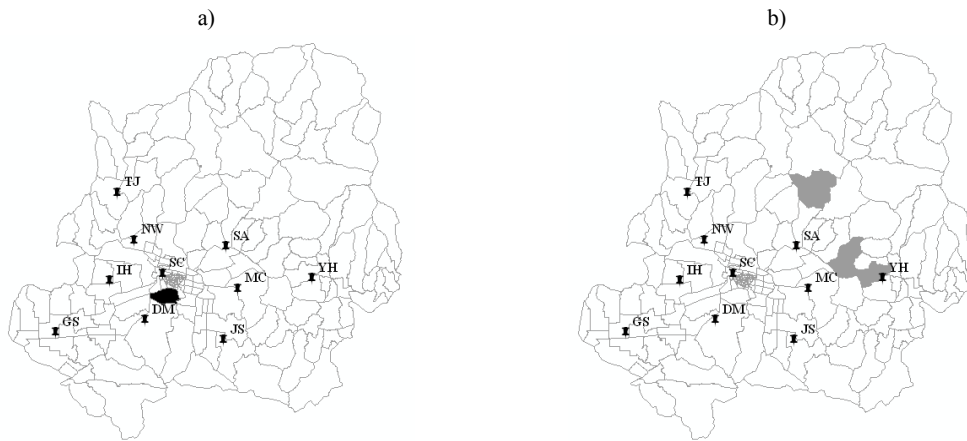


Figure 7. Selected site based on seasonal PM10 concentration. IDW(a), Kriging(b)

가장 낮으며 봄철 농도가 가장 높은 것으로 드러났다. 이는 봄철에는 중국으로부터 오는 황사의 영향으로 PM10의 농도가 높은 것으로 판단되며(조은경, 2010; 권춘근, 2008; 김규현, 2005) 여름철에 낮은 농도를 보이는 것은 여름철 강우량 증가로 인한 세정효과(wash-out effect)가 크게 영향을 미친 것으로 판단된다(한중현, 2006). 계절별로 측정소 위치 다양성을 평가하면 (Table 3) 봄의 경우 중간농도를 대표하는 기존 측정소가 부족하며 여름의 경우에는 저농도를 대표하는 측정소가 부족하였다. 가을은 중저농도, 겨울은 중간농도로 전체적으로 중저농도 지역에 측정소가 부족한 것으로 나타났다. 측정소별로 살펴보면 전체적으로 이현동 측정소를 중심으로 높은 오염도를 보이는 것으로 분석되었

으며 이는 이현동 측정소가 서대구 산업단지 옆에 설치되어 있으며 염색공단 및 3공단 등에 둘러싸여 있어 대기오염물질이 많이 배출되고 인근 북부정류장, 서대구 IC가 위치하고 있어 상시 교통량 또한 많기 때문으로 추정된다(도상현, 2010). 모든 계절에서 공통으로 추가설치가 필요하다고 생각하는 지점을 Figure 7에 제시하였다. IDW의 경우 남산동이, Kriging의 경우 방촌동, 봉무동, 용계동이 선정되었다.

3.3 요일별 측정소 위치 평가

요일별 미세먼지 특성의 경우, 주중 및 주말에 미세먼지 배출량과 대기농도에 주 영향을 미치는 교통량 차이가 있고 이로 인해 대기 중 미세먼지 농도가 요일별

차이가 유발시킬 있으므로 이를 확인하기 위하여 요일별 미세먼지 특성을 보간하였다. 요일별로 보간하여 지도로 나타내면 Figure 8과 같으며 연도별, 계절별 증가 가장 IDW와 Kriging 보간법 사이의 교차검증 RMSE 값 차이가 적었으며 요일별 역시 타 연구와 같이 Kriging이 더 높은 정확도를 보였다(나영우, 2002; 김준현 등 2010). 요일별로 PM10의 농도를 비교하여보면 뚜렷한 차이는 나지 않으나 월요일과 일요일에 비교적 낮은 농도를 나타내는 것으로 분석되어 요일별 PM10관리는 화요일부터 토요일을 중심으로 수행되어야 하는 것으로 분석되었다. 이는 선행연구 조완근과 권기동(2004)의 연구결과와 일치하였다. Table 4에 요일별로 측정소의 농도를 평가해 나타냈다. 요일마다 큰 차이가

없어 모든 요일에 비교적 같은 지역이 추가 설치지역으로 선정되었다. Figure 9이며 IDW 보간 사용 시 봉덕동을 비롯한 26곳, Kriging 보간 사용시 본리동 외 10곳을 추가설치 지역(Table 5)으로 제안한다.

3.4 종합평가

대구시 도시대기오염측정소에서 측정한 값을 시간적 특성에 따라 분석하여 보았다. 전체 측정값을 평균 자료와 비교할 경우, 연도별로 살펴보면 2009년의 농도만 평균보다 낮게 나타났으며 계절별로는 봄>겨울>가을>여름 순으로 봄과 겨울엔 평균보다 높은 오염도를 보이며 여름과 가을은 평균보다 낮은 농도를 나타내었다. 요일별 자료는 IDW 보간 시 평균보다 높았으며

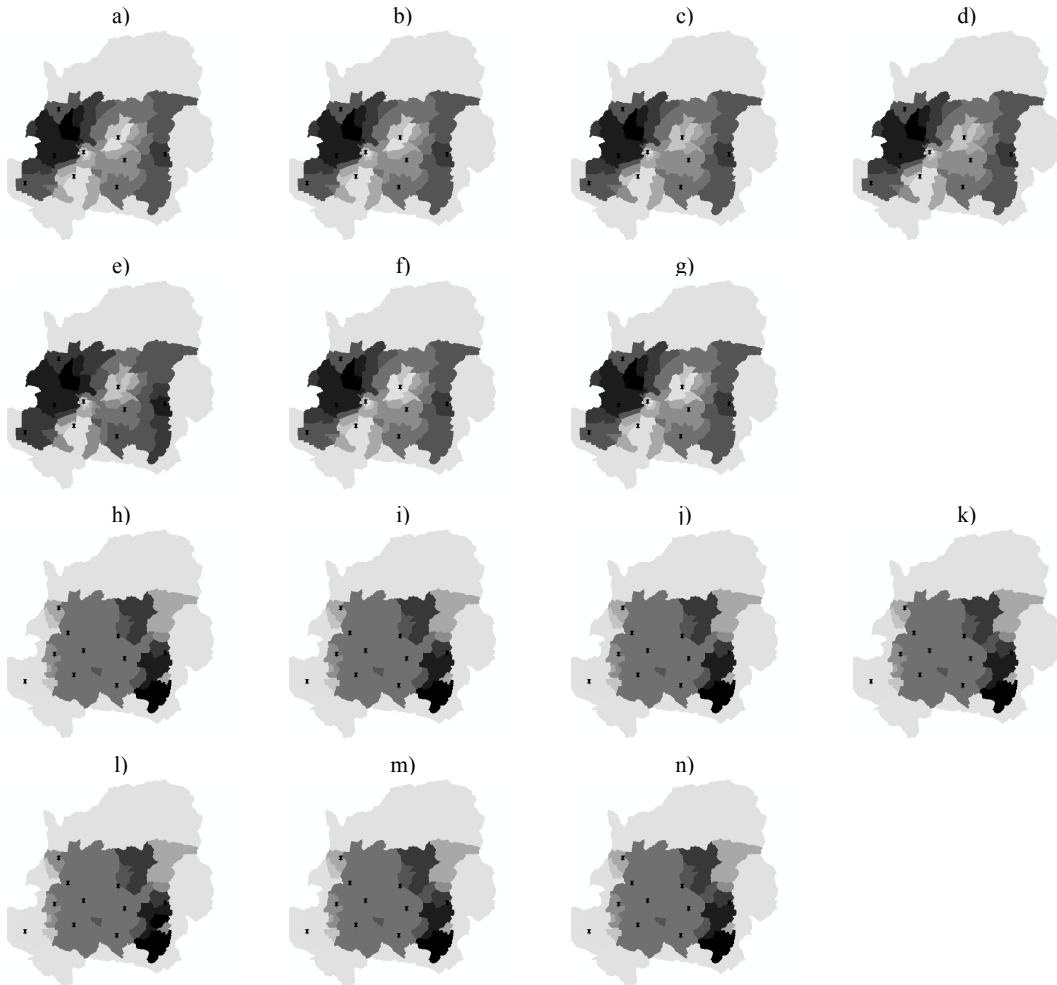


Figure 8. Daily PM-10 concentration distribution by IDW(a-g, from left Monday, Tuesday, Wednesday, Thursday, Friday, Saturday, Sunday) and Kriging(h-n, from left Monday, Tuesday, Wednesday, Thursday, Friday, Saturday, Sunday)

Table 4. Evaluation of monitoring station positions based on daily concentrations

| | IDW보간법 | | | | | | | Kriging보간법 | | | | | | |
|------|--------|------|------|------|------|------|------|------------|------|------|------|------|------|------|
| | 월 | 화 | 수 | 목 | 금 | 토 | 일 | 월 | 화 | 수 | 목 | 금 | 토 | 일 |
| DM | LL | LL | LL | LL | LL | LL | LL | MH | MH | MH | MH | MH | MH | MH |
| GS | MH | MH | MH | MH | HL | MH | MH | LL | LL | LL | LL | LL | LL | LL |
| IH | HM | HM | HM | HM | HM | HM | HM | MM | MM | MM | MM | MM | MM | MM |
| JS | MM | MM | MM | MM | MH | MM | MM | MH | MH | MH | MH | MH | MH | MH |
| MC | ML | ML | ML | ML | MM | ML | ML | MH | MH | MH | MH | MH | MH | MH |
| NW | HH | HH | HH | HH | HH | HH | HH | MH | MH | MH | MH | MH | MH | MH |
| SA | LL | LL | LM | LM | LM | LL | LL | MH | MH | MH | MH | MH | MH | MH |
| SC | LL | LL | LL | LL | LL | LL | LL | MH | MH | MH | MH | MH | MH | MH |
| TJ | MH | MH | MH | MH | HL | MH | MH | LH | LH | LH | LH | ML | LH | LH |
| YH | HL | HL | HL | HL | HM | HL | HL | HM | HM | HM | HM | HM | HM | HM |
| 최고 | 69.0 | 69.1 | 69.1 | 69.1 | 68.8 | 69.1 | 69.0 | 53.8 | 53.9 | 53.9 | 53.9 | 53.7 | 53.9 | 53.8 |
| 최저 | 43.8 | 43.8 | 43.8 | 43.7 | 43.7 | 44.0 | 43.8 | 52.7 | 52.8 | 52.8 | 52.9 | 52.6 | 52.9 | 52.8 |
| 평균 | 53.6 | 53.7 | 53.7 | 53.7 | 53.5 | 53.7 | 53.6 | 53.6 | 53.6 | 53.6 | 53.6 | 53.4 | 53.7 | 53.6 |
| RMSE | 9.40 | 9.41 | 9.41 | 9.42 | 9.37 | 9.40 | 9.40 | 9.09 | 9.10 | 9.11 | 9.11 | 9.04 | 9.08 | 9.07 |

※ 저농도 : LL, LM, LH. 중농도 : ML, MM, MH. 고농도 : HL, HM, HH.

Kriging 보간 시 평균보다 낮은 추세였다. 추가설치가 가능하다면 추천할 수 있는 지역을 측정기간별, 보간법 별로 정리하여 Table 5에 나타냈다. 대기측정소는 고정 사이트로 시간대별로 이동시키지 않기 때문에 모든 측정기간대마다 고루 필요하다고 선정된 곳이 적합하다고 판단, 단계별 공통 추천장소 중 중복적으로 나온 남산동, 남일동, 대흥동, 동일동, 북성로 1가, 불로동, 입석동, 종로 2가, 향촌동, 화전동을 추가 설치지역으로 제안한다. 이 중에서 불로동, 입석동, 대흥동을 제

외한 나머지 법정동은 모두 대구시 중구에 위치하고 있었다. 대구의 중심에 위치한 중구는 상권이 모여있는 지역으로 상주인구는 6,000여명에 불과하지만 하루 인구유동량은 80만~100만에 이르고 유동차량도 많은 장소이다(안원식과 김해동, 2003).

4. 결론

대기환경 분야에 GIS 보간법을 사용하여 연도별, 계

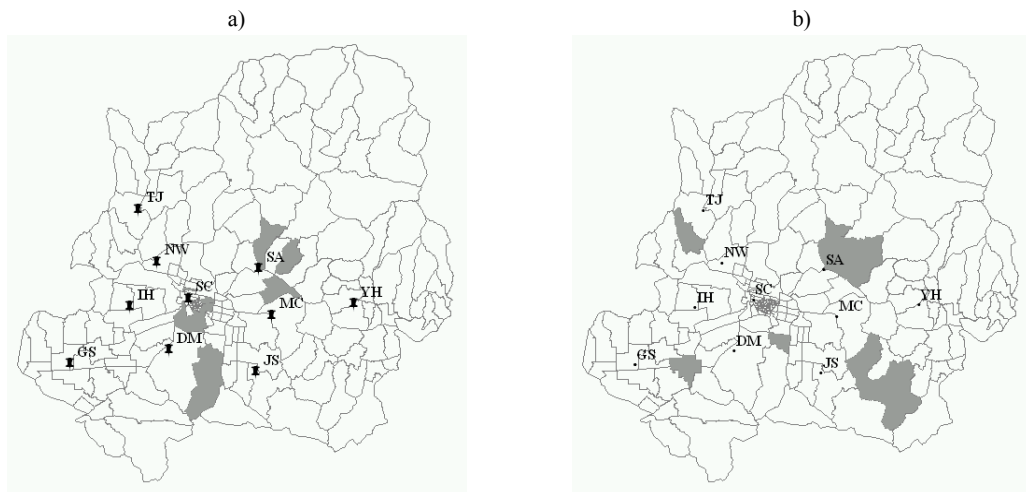


Figure 9. Selected site based on daily PM-10 concentration. IDW(a), Kriging(b)

Table 5. Suggestion of additional installation area of the monitoring station

| | IDW보간법 | Kriging보간법 | 공통선정지역 |
|---------|--|---|--|
| 연평균 농도 | 남일동, 노변동, 대흥동, 동일동, 두산동, 북성로1가, 진동, 종로2가, 태평로2가, 포정동, 화전동, 향촌동 | 신평동 | 남산동, 남일동, 대흥동, 동일동, 북성로 1가, 불로동, 입석동, 종로2가, 향촌동, 화전동 |
| 계절평균 농도 | 남산동 | 방촌동, 봉무동, 용계동 | |
| 일평균 농도 | 봉덕동, 북성로1가, 불로동, 대신동, 덕산동, 동일동, 동문동, 동성로1,2,3가, 공평동, 고성2가, 계산2가, 교동, 화전동, 향촌동, 효목동, 입석동, 종로2가, 문화동, 남일동, 남산동, 사일동, 삼덕동, 태평로1가, 용덕동 | 검사동, 대흥동, 매천동, 본동, 본리동, 불로동, 삼덕동, 이천동, 입석동, 지저동 | |

절별, 요일별로 PM-10 대기오염지도를 작성하고 PM-10 관리에 효율적인 기초자료를 제공할 수 있도록 지역 대기측정소의 위치를 평가해 보았다. IDW와 Kriging 보간법의 경우 교차검증 RMSE 값으로 정확도를 평가했을 때 비교적 Kriging 보간법이 실제모형을 잘 구현한다고 나타났다. 연도, 계절, 요일마다 현재의 측정소가 대표하는 농도가 바뀌었지만 대체로 대구 제 3공업공단과 서대구 산업단지 인근에 위치한 노원동 측정소와 이현동 측정소가 고농도를 보이고 있었다. 추가설치가 가능하다면 모든 시간대 마다 고무 필요하다고 선정된 곳으로 유동인구와 유동차량이 많은 대구 시 중구지역에 위치한 남산동, 남일동, 동일동, 북성로 1가, 종로2가, 화전동, 향촌동을 제안한다. 기존에 설치되어있는 측정소를 대상으로 대구시 대기오염측정소의 위치를 평가해보았다. 달성군을 제외했음에도 불구하고 대구시 면적에 비하여 측정소의 개수가 적으며 비용적인 문제로 현실적인 검증이 이루어지지 않았음에 본 연구의 한계가 있다. 다른 대기오염원과 더불어 PM-10 역시 각 도시 지형적인 특성은 무시한 채 일률적으로 관리하고 있다. 대구지역 뿐만 아니라 타 도시에서도 공중의 보건을 위해 측정소 설치의 구체적인 장소의 선정 및 추가설치가 필요하다고 사료된다.

감사의 글

이 논문은 공간정보 전문인력 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

1. 권춘근, 2008, 대구지역 대기 중 미세먼지(PM10)의 고농도 발생빈도와 특성 평가, 석사학위논문, 영남대학교.

2. 김규현, 2005, 황사기간과 비황사기간의 대구지역 PM10 및 중금속 오염도 특성평가, 석사학위논문, 경북대학교.

3. 김용표, 2006, 서울의 미세먼지에 의한 대기오염, 한국 대기환경학회지, 제 22권, 5호, pp.535-553.

4. 김준현, 최진호, 김충실, 2010, GIS를 활용한 이산화탄소 농도 보간 정확도 비교평가, 환경영향평가, 제 19권, 6호, pp.1-10.

5. 나영우, 2002, GIS를 이용한 대기오염의 공간분석, 석사학위논문, 인천대학교.

6. 나영우, 김중식, 최병길, 2005, GIS를 이용한 TMS 측정망 분포의 적정성 분석, 한국지형공간 정보학회지, 제 13권, 1호, pp.81-87.

7. 도상현, 2010, CALPUFF 대기 확산 모델을 이용한 대구 지역 대기질 및 건강 위해도 평가, 박사학위논문, 계명대학교.

8. 선우영, 2007, 수도권 대기개선 특별대책 추진에 따른 대기오염측정망에 의한 대기질 개선여부 평가, 한국대기환경학회 학술대회논문집, 한국대기환경학회.

9. 우정현, 김선태, 김정욱, 1997, 수동측정기에 의한 대기오염 자동측정망의 지역대표성 조사 및 보완방안에 대한 기초연구한국대기환경학회지, 제13권, 6호, pp.415-426.

10. 유은철, 박옥현, 2007, GIS기반 의사결정지원시스템을 이용한 부산 대기질 측정망의 최적화, 한국대기환경학회지, 제 23권, 6호, pp.583-591.

11. 윤성원, 1997, GIS와 Interpolation 기법의 대기환경분야 적용에 관한 연구, 석사학위논문, 한양대학교.

12. 전병일, 2009, 부산지역 지역용도별 해안과 내륙의 PM-10 농도 특성, 한국습지학회지, 제 11권, 2호, pp.47-54.

13. 정영선, 2010, 주거건물의 전 과정에 따른 이산화탄소 배출량 예측모델에 관한 연구, 박사학위논문, 서울시립

- 대학교.
14. 조은경, 2010, 2008년 국내 배경지역 PM10 및 PM2.5 미세먼지의 화학 조성 분석, 석사학위논문, 제주대학교.
 15. 조원근, 권기동, 2003, 대구지역 PM-10 오염 관리를 위한 시간적 및 공간적 오염 특성 평가, 한국환경과학회지, 제 13권, 1호, pp.27-36.
 16. 조흥래, 정종철, 2007, 공간보간기법을 이용한 환경자료의 지도화, 한국공간정보시스템 학술회의 논문집, 한국공간정보시스템학회.
 17. 조흥래, 정종철, 2009, 공간보간기법에 의한 서울시 미세먼지(PM10)의 분포 분석, 한국환경영향평가학회, 제 18권, 1호, pp.31-39.
 18. 한중현, 2006, 2001~2004년 제주도 배경농도 지역 TSP 에어로졸의 조성 비교, 석사학위논문, 제주대학교.
 19. 한지현, 이미혜, 김영성, 2008, 전국 도시대기 측정망의 2000~2005년 PM10 농도 군집분석, 한국대기환경학회지, 제 24권, 3호, pp.300-309.
 20. 홍미옥, 조석연, 2005, 우리나라 도시대기 측정망의 적절성 평가, 한국대기환경학회 학술대회논문집, 한국대기환경학회, pp.308-310.
 21. 환경부. 2006-2009. 대기환경연보.
 22. 환경부. 2007. <http://www.me.go.kr/>
 23. Bahadur, R., G. Habib, and L.M. Russell. 2009, Climatology of PM2.5 organic carbon concentrations from a review of ground-based atmospheric measurements by evolved gas analysis, Atmospheric Environment vol,43, no.9, pp.1591-1602.
 24. Cressie, N, 1991, Statics for Spatial Data, John Wiley & Sons 900.
 25. Diema, J.E., Comrie, A.C, 2002, Predictive mapping of air pollution involving sparse spatial observations, Environmental Pollution, vol, 119, pp.99-117.
 26. ESRI, 2001, ArcGIS Geostatistical Analyst : Statistical Tools for Data Exploration, Modeling and Advanced Surface Generation.
 27. Eum K.D., 2008, Spatial and temporal assessment of air pollution exposure and its health effects, Seoul National University.
 28. Fuentes, M., 2002, Interpolation of nonstationary air pollution processes; a spatial spectral approach, Statistical Modelling, vol,2, pp.281-298.
 29. Han D.K., Hwang S.S., 2011, Spatial epidemiology and environment health : On the use of spatially referenced health and environment data, J. Env. Hlth. Sci., vol,1, pp.1-11.
 30. Hong, Y.C., J.T Lee, H. Kim, E.H. Ha, J. Schwartz, and D.C. Cristiani, 2002, Effect of air pollutions on acute atroke mortality. Environ. Health Persp.
 31. Rogas-Avellaneda., D., 2007, Spatial interpolation techniques for stimating levels of pollutant concentraions in the atmosphere, Revista Mexicana de Fisica, vol,53, no.6, pp.447-454
 32. Son JY, Bell ML, Lee JT., 2010, Individual exposure to air pollution and lung fuction in korea : Spatial analysis using multiple exposure approaches, vol,110, pp.739-749.
 33. Stijn Janssen, 2008, Spatial interpolation of air pollution measurements using CORINE land cover data, Atmosphere Environment, vol,42, pp.2882-2903.
 34. Wong, D.W., Yuan, L., Perlin, S.A., 2004, Comparison of spatial interpolation methods for the estimation of air quality data, Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, vol,14, pp.404-415.
 35. Yenisoay-Karakas, S., and Tuncal, S.G., 2004, Geographic patterns of elemental deposition in the Aenean region of Turkey indicated by the lichen, Xanthoria parietina, Th. Fr. Science of the Total Environment, vol,329, pp.43-60.