

Research Paper

통계적 기법을 적용한 서울의 오존 장기변동 대표측정소 선정

신혜정* · 박지훈* · 손정석** · 노순아* · 홍유덕*

국립환경과학원 기후대기연구부*, 수도권대기환경청 조사분석과**

Statistical Analysis for Ozone Long-term Trend Stations in Seoul, Korea

Hyejung Shin* · Jihoon Park* · Jungseok Son** · Soona Rho* · Youdeong Hong*

Climate and Air Quality Research Department, National Institute of Environmental Research*

Research and Analysis Division, Seoul Metropolitan Air Quality Management Office**

요약 : 본 연구는 서울의 오존 장기변동 특성을 대표하는 대표측정소를 선정하기 위한 통계적인 기법을 구축하기 위하여 수행되었다. 2002년부터 2011년까지 10년간의 오존 시간 농도자료를 분석에 적용하였다. KZ 필터, 상관관계 매트릭스, 군집분석, 공간 분석 방법을 적용하여 대표측정소를 선정하였다. 상관관계 분석 결과 서울 신정동, 사당동, 번동 측정소의 오존 장기간 변동 추세가 높은 상관관계를 나타내었다. 군집분석에서도 세 측정소가 같은 군집으로 분석되었다. 공간분석 결과, 세 측정소가 다른 측정소와 공간적인 상관관계가 높게 나타났다. 이러한 분석결과와 상관계수값을 고려하였을 때, 신정동 측정소가 서울의 오존 장기변동 추세를 대표하는 측정소로 적합하였다.

본 연구 결과는 오존 이외의 대기오염물질의 분석을 위한 대표측정소 선정에도 적용될 수 있으며, 국가 대기측정망의 공간적인 분포의 적절성을 평가하기 위해서도 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

주요어 : KZ 필터, 군집분석, 상관관계 매트릭스, 공간분석

Abstract : This study was conducted for the establishment of statistical method to determine the representative air quality monitoring station representing long-term ozone trends of Seoul. In this study, hourly ozone concentrations from 2002 to 2011 were used for further analysis. KZ-filter, correlation matrix, cluster analysis, and Kriging method were applied to select the representative station. The analysis based on correlation matrix found that long-term trend of ozone concentrations measured at Sinjung, Sadang, and Bun-dong showed a high correlation. The cluster analysis found that the former three stations belonged to the same cluster. The analysis based on Kriging method also showed that the former three stations were highly correlated with other stations in spatial distribution. Considering these results and the highest correlation coefficient of Sinjung station, the Sinjung station was the most suitable as the representative station used to understand the long-term ozone trend of Seoul. This result could be applied to understand long-term trend of other pollutants.

Furthermore, this result can also be used to assess the appropriacy of spatial distribution of national air quality monitoring stations.

Keywords : KZ-filter, Cluster Analysis, Correlation Matrix, Kriging Method

I. 서론

우리나라의 대기오염물질 중 황산화물, 일산화탄소와 같은 전형적인 1차 오염물질은 농도가 꾸준히 감소하고 있는 추세이다(국립환경과학원, 2006; 김영성 및 김찬혁, 2013; 김용표 및 여민주, 2013; 배민석 등, 2013). 그러나, 오존이나 미세먼지와 같이 대기 중 광화학반응에 의해서 생성되는 2차 오염물질의 농도는 여전히 우려할 만한 수준이다(국립환경과학원, 2013). 대기오염물질의 경우 대기 중의 이류, 황산 등 기상 요소에 의한 영향 및 장거리 이동에 의한 영향 등 직접적인 배출 이외에 비 의도적인 영향요소에 의해 농도 수준에 영향을 받는다(Shin *et al.*, 2012).

우리나라는 1980년대부터 대기오염측정망을 구축하기 시작하여 현재 11개 종류의 400여 개소 이상의 측정망을 운영하면서 대기환경기준 물질인 미세먼지(PM₁₀), 오존, 일산화탄소, 이산화황, 이산화질소, 납 및 그 이외 국민 건강에 영향을 미치는 중금속, 휘발성유기화합물질과 같은 유해오염물질, 대기질 영향 연구를 위한 미세먼지 조성 등을 지속적으로 모니터링하고 있다. 이러한 모니터링 자료는 궁극적으로 국가 대기질 정책을 수립하고 평가하기 위한 과학적 근거자료로 활용이 되고 있다.

대기오염측정망에서 측정되어진 측정결과를 대상으로 정책을 수립하고 평가하기 위해 전체 측정망의 자료를 분석하는 것은 시간과 노력이 많이 필요하기 때문에 통계적인 방법을 적용하여 전체 측정소 중 각 지역별로 지역의 대기질 특성을 대표하는 측정소를 선정하는 방법론을 구축하는 것이 필요하다고 사료된다.

따라서 본 연구에서는 2차 대기오염물질로 추가적인 저감 대책 마련이 필요한 오존을 대상물질로 선정하여 통계적 기법을 적용하여 서울의 오존농도 변동 추세에 대한 대표 측정소를 선정하는 방법론을 구축하고자 한다.

II. 연구방법

본 연구를 위한 도시대기측정소 중 2002~2011년까지 데이터의 연속성과 데이터 개수가 충분한 측정소의 오존의 시간농도자료를 사용하였다. 서울의 25개 도시대기측정소 중 10년간 연속자료를 보유한 16개 측정소(성수동, 반포동, 연희동, 쌍문동, 구로동, 방이동, 사당동, 시흥동, 신정동, 번동, 대흥동, 화곡동, 천호동, 신림동, 불광동, 상계동)의 자료를 활용하였다. 대표 측정소를 선정하기 위해 KZ 필터(Kolmogorov-Zurbenko filter), 상관분석 매트릭스(Correlation matrix), 군집분석(Cluster analysis), 공간분석(Kriging method)과 같은 통계적인 방법을 적용하였다. 서울시 전체를 오존의 농도 측면에서 하나의 동일한 권역이라고 보는 것은 무리가 있으나, 본 연구에서는 정책의 추진이나 정책 효과의 분석이 행정구역을 벗어나지 못하는 정책적 한계 및 활용가능성 등을 고려하여 정책적인 활용목적의 측면에서 서울시 전체를 하나의 권역으로 설정하여 분석을 수행하였다.

시계열 또는 시간적 자료 해석의 단점은 한 지점의 농도 경향을 평가하는데 유용하나 측정망 전체의 경향과 각 측정소간 상관관계들을 평가할 때는 제한적으로 사용될 수밖에 없다. 이에 측정 자료의 시간적 해석과 병행하여 공간적 분포와 경향을 추정하는 것이 측정망 평가에 매우 중요한 요소이다. 따라서, 공간적 분포를 알아보기 위해 상관분석과 공간분석 방법을 적용하였고 군집분석 결과와 함께 해석하여 서울의 대표측정소를 선정하였다.

KZ 필터는 복잡한 주기로 구성되어 있는 원시 시계열 자료에서 단주기 변동을 분리할 수 있고 누락 자료가 있는 다차원 시간, 공간측정 자료를 잘 묘사하므로 KZ 필터를 이용하여 계절변화와 무작위 변동을 제외한 각 측정소별로 연도별 변화를 계산하였다(이화운 등, 2007; 이정영 등, 2008).

측정망 자료에 대한 공간적 해석을 하기 위한 가장 일반적인 방법은 측정소와 측정소간 관측 값의 시간적 변화를 가지고 서로 상관성을 분석하여 공간적인 특이성과 공통성을 추적하는 방법이 있다. 상관성 분석을 이용한 유사성 분석을 통해 지역 대표성을 갖는 측정소를 선정하는데 사용할 수 있고 중복된 측정소를 선별하여 측정소의 효율적인 운영을 도모할 수도 있다. 하지만 이와 같은 상관성 분석의 단점은 항상 기준이 되는 측정소를 중심으로 상관성이 검토될 수밖에 없다는 것이다. 이와 같은 일반적인 상관성 분석 방법의 단점을 해결하기 위해 본 연구에서는 KZ 필터 방법을 이용하여 추출한 순수한 장기적인 농도에 대한 각 측정소간의 상관성을 동시에 분석하기 위해 상관분석 매트릭스 방법을 적용하였다.

군집 분석은 측정소들이 갖고 있는 유사성을 기반으로 동질적인 집단으로 묶어주는 방법으로 많은 수의 측정소를 몇 개의 동질적 또는 유사한 집단으로 묶음으로써 동일 집단 내에 속한 공통된 특성을 나타낸다. 일반적으로 군집분석은 다변량 자료를 이용하여 분석하지만 본 연구에서는 오존농도를 변수로 이용하여 측정소간의 군집을 분석하였다. 군집 분석은 평균거리법을 이용한 계층적 군집(hierarchical) 방법에 KZ 필터로 추출한 오존의 장기 변동자료를 적용하였다. 군집 분석에서 생성된 군집 묶음은 상관분석 매트릭스와 연계하여 해석할 경우 각 지역별 대표 측정소와 중복측정소를 선별하는데 긴요하게 활용될 수 있다(한지현 등, 2008).

공간분석 방법을 이용한 농도 값의 공간해석(Interpolation)은 우선 측정값은 참값이라는 전제 하에 측정값간의 관계를 고려할 수 있는 이점이 있어 공간해석에 많이 사용된다. 측정망 지점의 공간분포 적절성을 평가할 때 Removal bias 기법을 많이 적용한다(U.S. EPA, 2005; Schmidt, 2001). 이는 KZ 필터로 추출한 오존의 장기 변동자료를 적용하여 공간분포를 Kriging 법으로 계산한 뒤 특정 측정소의 측정값을 뺀 뒤 다시 전체 지역에 대해 농도 분포를 산정하여 특정 측정소가 배제된 상태에서 계산된 농도 분포와 원래 농도 분포사이의 차이가 거의 나지 않는 지역을 측정 우선순위가 낮은 지역으로 판단하

였다. 또한 원래 값과 차이가 많이 나는 지점은 측정소가 위치해야 전체 농도를 산정하는데 오류를 줄여 줄 수 있는 주요 지점으로 판단하였다. 그러나 본 연구에서는 해당 지역내 다른 측정소와 유사한 농도 추이를 보여 해당 지역의 농도변동 추이를 대표하는 측정소를 선정하는 방법론을 구축하는 것에 목적을 두고 있어 공간적인 농도 분포가 원래 값과 차이가 많이 나는 측정소를 배제하여 대표측정소를 찾고자 하였다. 본 연구에서는 R 소프트웨어의 패키지를 이용하여 Universal Kriging 방법을 적용하였다(Hastie et al., 1990; Cressie, 1993; R Development Core Team, 2009). 공간분석 방법으로 산출된 공간분포를 통해 군집분석 및 상관분석 매트릭스로 1차적으로 구분된 대표측정소가 공간적인 대표성을 나타낼 수 있는지 확인하였다.

III. 연구결과 및 고찰

1. KZ 필터 분석 결과

대표측정소를 선정하기 위하여 KZ 필터를 적용하여 복잡한 주기로 구성되어 있는 원시 시계열 자료에서 단주기 변동 중 계절변화와 무작위 변동치를 제외하여 측정소별 연도별 변화를 계산하였다.

Figure 1에 서울의 16개 측정소에 대하여 KZ 필터를 적용한 결과를 나타내었다. 대부분의 측정소에서 2003년 오존농도가 낮아졌지만 10년간의 농도는 꾸준히 증가하는 추세로 유사한 특성을 나타내었다. 불광동과 상계동은 2008년 오존 농도가 낮아졌고 대흥동은 2008년 오존 농도가 증가하여 타 측정소와는 다른 양상을 나타냈다.

2. 상관관계 매트릭스

KZ 필터를 통해 추출된 순수한 장기적인 농도에 대한 각 측정소간의 상관성을 동시에 분석하고 비교하였다. Table 1에 나타낸 바와 같이 측정소들 간의 상관성은 0.52~0.87로 다소 높게 나타났으며, KZ 필터를 통한 장기 농도변화 패턴의 결과와 유사하게 상계동, 불광동, 대흥동은 타 측정소에 비해 상관성

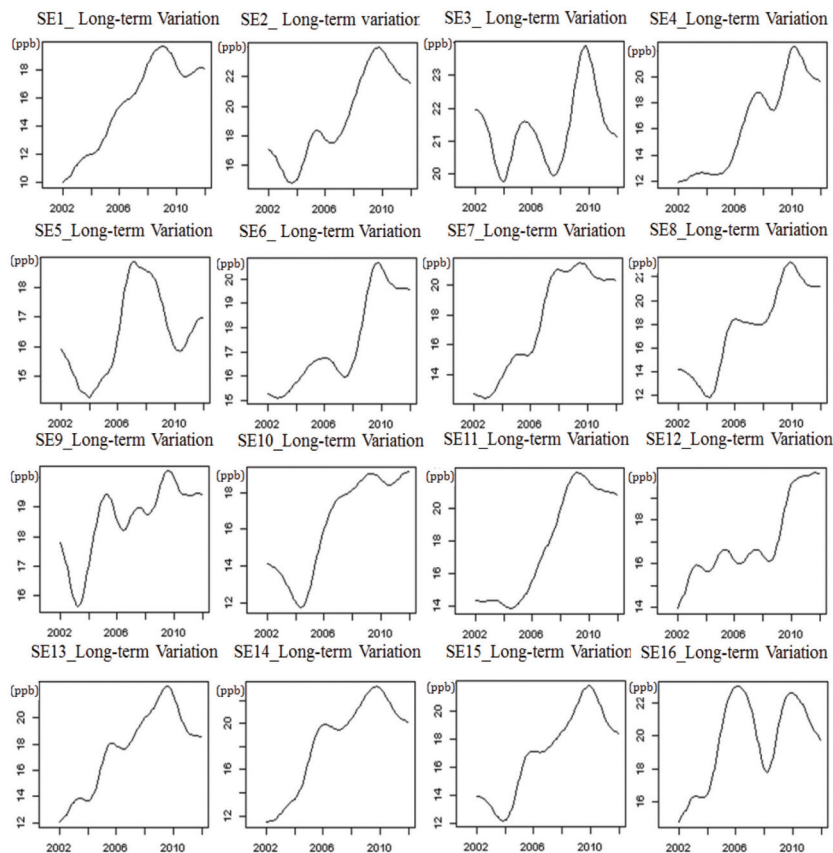


Figure 1. The result of KZ-filter method for 16 stations in Seoul.

Table 1. The result of correlation matrix among stations in Seoul.

Site	SE1	SE2	SE3	SE4	SE5	SE6	SE7	SE8	SE9	SE10	SE11	SE12	SE13	SE14	SE15	SE16
SE1	1.00															
SE2	0.89	1.00														
SE3	0.39	0.70	1.00													
SE4	0.88	0.89	0.46	1.00												
SE5	0.70	0.45	-0.06	0.56	1.00											
SE6	0.79	0.93	0.73	0.85	0.21	1.00										
SE7	0.97	0.91	0.37	0.93	0.70	0.79	1.00									
SE8	0.89	0.94	0.66	0.92	0.53	0.90	0.88	1.00								
SE9	0.81	0.84	0.53	0.72	0.44	0.78	0.82	0.82	1.00							
SE10	0.93	0.88	0.44	0.92	0.76	0.76	0.92	0.93	0.70	1.00						
SE11	0.94	0.95	0.52	0.94	0.60	0.87	0.95	0.91	0.72	0.94	1.00					
SE12	0.66	0.77	0.47	0.83	0.11	0.88	0.70	0.80	0.65	0.66	0.73	1.00				
SE13	0.97	0.90	0.52	0.85	0.61	0.80	0.93	0.90	0.85	0.87	0.89	0.64	1.00			
SE14	0.96	0.88	0.48	0.86	0.61	0.82	0.92	0.93	0.88	0.88	0.86	0.69	0.98	1.00		
SE15	0.93	0.96	0.64	0.91	0.58	0.87	0.92	0.98	0.86	0.93	0.93	0.72	0.96	0.96	1.00	
SE16	0.64	0.57	0.43	0.59	0.35	0.62	0.57	0.74	0.76	0.58	0.47	0.58	0.73	0.82	0.72	1.00

SE1: Seongsu, SE2: SSangmun, SE3: Bulgwang, SE4: Yeonhui, SE5: Daeheung, SE6: Hwagok, SE7: Guro, SE8: Sadang, SE9: Sillim, SE10: Banpo, SE11: Bangi, SE12: Cheonho, SE13: Siheung, SE14: Beon, SE15: Sinjeong, SE16: Sanggye

이 낮은 수준이었다. 상관성이 가장 높은 측정소는 신정동(0.87) 측정소였으며 사당동(0.86), 번동(0.82) 측정소 순으로 상관성이 높게 나타났다.

3. 군집분석

Figure 2은 군집분석에서 생산된 군집과 상관관계 매트릭스의 상관성을 나타낸 것이다. 군집분석 결과 서울의 16개 측정소가 네 가지 군집으로 묶이는 것으로 나타났고 앞선 상관성 분석 결과와 함께 대표측정소를 선별하는데 활용하였다. 군집의 수는 Figure 2의 덴드로그램에서 제시된 Height의 값이 큰 변화를 보이는 위치를 고려하여 1차적으로 Height 30 수준에서 구분되어지는 2개의 군집으로 분류하고, 세부적인 군집 분류를 위해 첫 번째 군집에서 하위의 3개 군집을 추가로 구분하였다. 앞선 KZ 필터와 상관관계 매트릭스 결과와 유사하게 대흥동과 쌍문동은 네 가지 군집 내에서 동 떨어진 군집으로 나타났고, 불광동과 상계동은 네 가지 군집 중 한 군집으로 분류되어 나타났다.

4. 공간분석

Figure 3는 Kriging 방법을 서울의 16개 측정소에 대하여 적용한 결과를 나타내었다. 앞선 KZ-filter 결과를 이용한 Correlation matrix와 Cluster 분석의 결과와 유사한 형태를 보이고 있다. Kriging 분석의 결과 역시 앞선 두 방법의 결과와 같이 신정동, 방

이동, 번동이 공간분포의 상관성이 가장 크게 나타났고 불광동, 상계동, 쌍문동의 공간분포는 타 측정소들에 비해 상관성이 크게 떨어짐을 보이고 있다.

5. 대표측정소 선정

서울의 대표측정소 선정을 위해 적용되어진 통계 분석 결과는 다음의 절차에 따라서 종합적으로 분석하여 대표측정소를 선정하였다. 먼저 추출되어진 오존의 장기변동으로 상관분석 매트릭스를 구하고, 다른 측정소와의 상관계수의 평균이 0.8 이상인 10개 측정소(신정동, 사당동, 번동, 쌍문동, 시흥동, 성수동, 구로동, 방이동, 연희동, 반포동)를 대표측정소 후보 측정소로 분류하였다. 다음으로 군집분석에서 가장 많은 측정소로 분류되어진 군집을 선정하여 군집 내 8개의 측정소를 분류하였다. 마지막으로 상관 분석 매트릭스와 군집분석 결과 중복으로 후보 측정소로 분류되어진 8개 측정소를 대상으로 Kriging 분석 결과를 비교하여 전체 공간의 색의 균일도가 높은 측정소를 최종적인 대표측정소로 선정하였다.

서울의 대표측정소 선정을 위해 적용한 방법들의 결과는 유사하게 나타났다. 상관분석 매트릭스 결과는 신정동, 사당동, 번동이 상관성이 가장 높게 나타났고 불광동, 상계동, 대흥동이 상관성이 낮게 나타났다. 군집분석의 결과는 네 가지 군집으로 묶였으며 상관분석 매트릭스 결과 상관계수가 가장 높았던 신정동, 사당동, 번동은 하나의 군집으로 분류되었고,

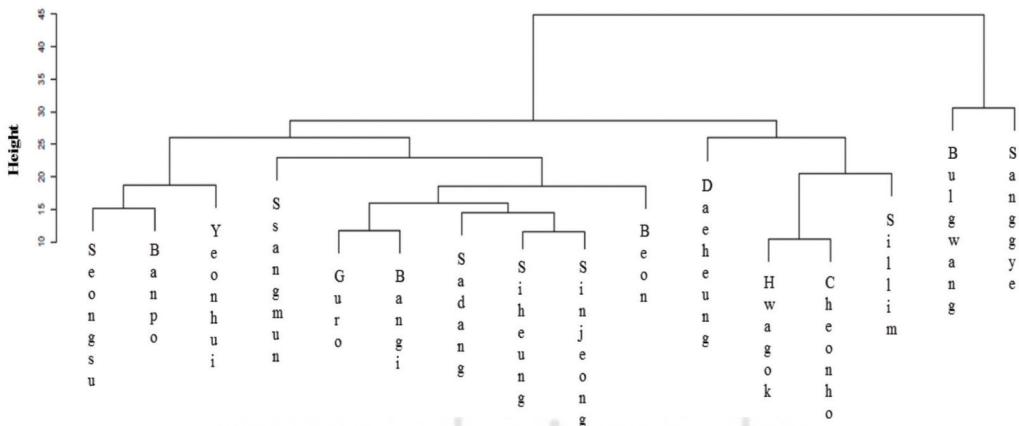


Figure 2. The results of cluster analysis along with correlation matrix.

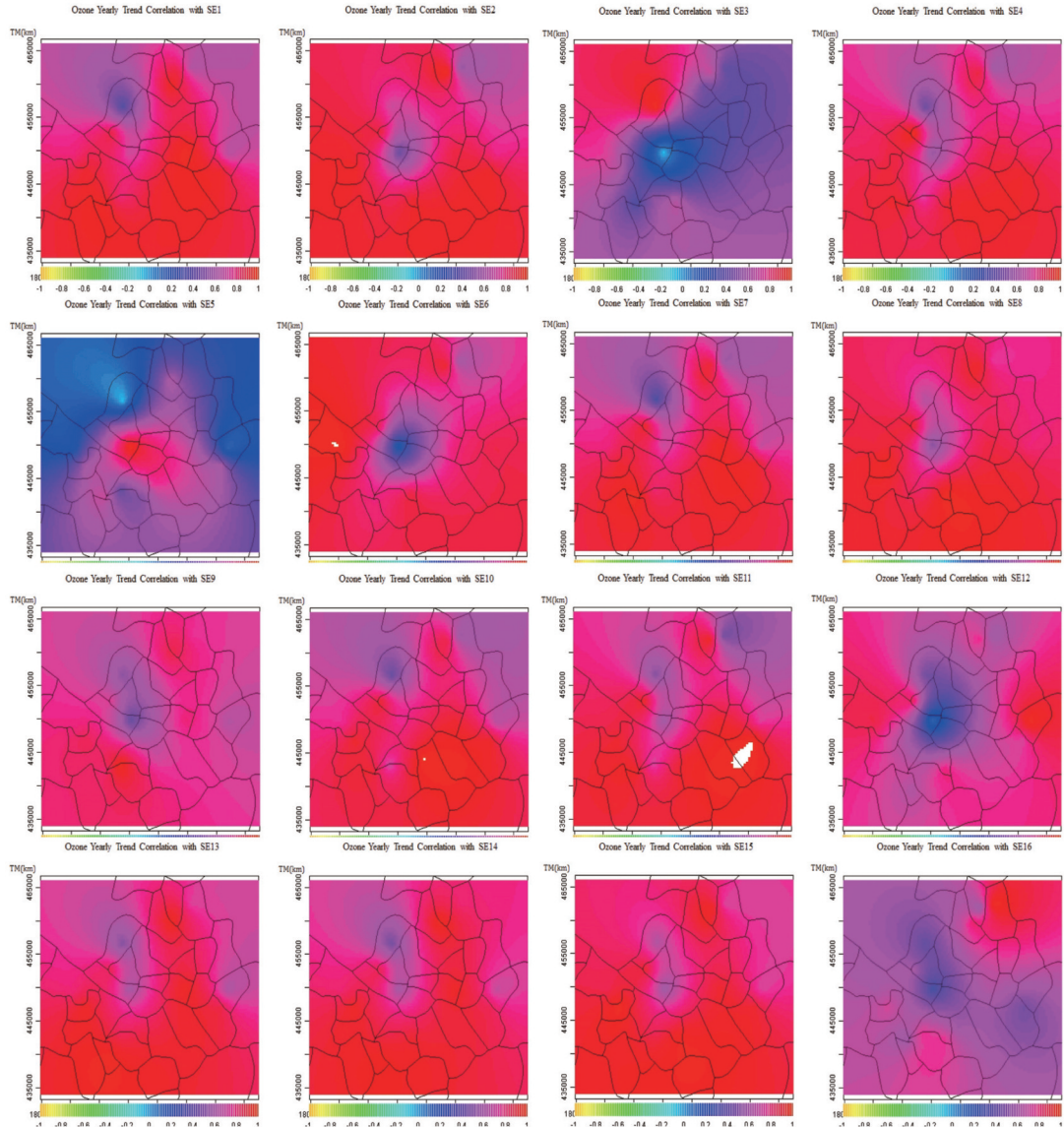


Figure 3. The result of Kriging method for 16 stations in Seoul.

불광동과 상계동은 다른 군집으로 대흥동과 쌍문동은 네 가지 군집 내에서 동 떨어진 군집으로 묶였다. 공간분석 방법의 결과는 앞선 두 방법의 결과와 유사하게 신정동, 사당동, 번동은 상관성이 높게 나타났으며 불광동, 상계동, 대흥동은 상관성이 낮게 나타났다. 서울의 대표측정소 선정을 위해 적용한 방법들의 결과를 종합하여 볼 때 16개 대상 측정소 중 양천구 신정동 측정소가 오존장기변동 추세를 가장 잘 대표하는 것으로 사료된다.

IV. 결론

본 연구에서는 2002~2011년 도시대기측정망에서 생산된 오존 시간 농도 자료에 대해 통계적 기법을 적용하여 오존장기변동추세를 대표하는 측정소를 선정하는 기법을 구축하고자 하였다. KZ 필터, 상관관계 매트릭스, 군집분석, 공간분석 방법을 종합하여 대표측정소를 선정하는 기법을 개발하고, 이 기법을 적용하여 서울시 오존농도의 장기변동 추세를 나타

내는 대표측정소를 선정하였다.

서울시의 대표측정소 선정을 위해 적용한 방법들의 결과는 유사하게 나타났다. 상관분석 매트릭스에서 상관성이 높게 나타난 신정동, 사당동, 번동이 군집분석에서도 같은 군집으로 분류되었다. 공간분석 방법에서도 신정동, 사당동, 번동은 타 측정소와의 상관성이 높게 나타났다. 서울의 대표측정소 선정을 위해 적용한 방법 및 결과를 종합하여 볼 때 타 측정소와의 시, 공간적 상관성이 높은 세 측정소 중 가장 높은 상관계수를 나타낸 양천구 신정동 측정소가 오존장기변동 추세를 가장 잘 대표하는 것으로 사료된다.

이러한 통계적인 방법론은 오존 이외의 대기오염 물질의 장기적인 변동 특성을 파악하기 위한 대표측정소 선정시에 활용될 수 있을 것으로 판단되며, 국가대기측정망의 공간적 분포의 적절성 등을 평가하기 위해서도 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 환경부 “대기오염측정망 구축 운영” 예산을 지원받아 국립환경과학원의 국가대기환경데이터센터 운영결과를 활용하여 수행되었습니다.

인용문헌

국립환경과학원. 2006. 기상인자가 미세먼지 농도에 미치는 영향 연구.

국립환경과학원. 2013. 대기환경연보(2012).

김영성, 김찬혁. 2013. 측정망 자료를 이용한 환경 기준 대기오염물질의 권역별 단기 고농도 변화 추이, 한국대기환경학회지, 29(5), 545-552.

김용표, 여민주. 2013. 서울의 대기환경기준물질 농도 추이, 한국대기환경학회지, 29(4), 369-377.

이화운, 도우곤, 정우식, 김민경, 송복주. 2007. KZ filtering을 이용한 부산지역 오존과 PM-10의 장기추세 분석, 한국환경과학회 학술 발표논문집, 16, 116-116.

배민석, 정창훈, 김영성, 김기현. 2013. 서울시 대기 측정소간 상관관계를 감안한 측정소의 운용 방향 개선을 위한 제언, 한국대기환경학회지, 29(4), 447-458.

이정영, 공부주, 한진석, 이민도. 2008. KZ필터법을 이용한 서울지역 미세먼지 농도의 장기변화 분석, 한국대기환경학회지, 24(1), 63-71.

한국의국어대학교, 국립환경과학원. 2008. 대기오염측정망 개선방안 연구.

한지현, 이미혜, 김영성. 2008. 전국 도시대기 측정망의 2000~2005년 PM10 농도 군집분석, 한국대기환경학회지, 24(3), 300-309.

Cressie N. 1993. Statistics for spatial data. Wiley, New York.

Hastie TJ, Tibshirani RJ. 1990. Generalized Additive Models, Chapman & Hall, New York.

R Development Core Team. 2009. R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, http://web.mit.edu/r_v3.01/fullrefman.pdf.

Schmidt M. 2001. Overview of national analyses-Presentation from October 2001 RTP Monitoring Strategy Workshop, U. S. Environmental Protection Agency, <http://www.epa.gov/ttn/amtic/netamap.html>.

Shin HJ, Cho KM, Han JS, Kim JS, Kim YP. 2012. The effects of precursor emission and background concentration changes on the surface ozone concentration over Korea, Aerosol and Air Quality Research, 12, 93-103.

U. S. Environmental Protection Agency. 2002. Assessment of the ambient air monitoring networks. <http://www.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/pm25/workshop/atlanta/r4netas.pdf>.

References

- Bae MS, Jung CH, Ghim YS, Kim KH. 2013. A proposal for the upgrade of the current operating system of the Seoul's atmospheric monitoring network based on statistical analysis, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 29(4), 447-458.
- Cressie N. 1993. *Statistics for spatial data*, Wiley, New York.
- Ghim YS, Kim CH. 2013. Regional trends in short term $hi\bar{x}$ concentrations of criteria pollutants from national air monitoring stations, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 29(5), 545-552.
- Hankuk University of Foreign Studies, National Institute of Environmental Research. 2008. Study on the improvement of atmospheric monitoring network.
- Han JH, Lee MH, Ghim YS. 2008. Cluster analysis of PM10 concentrations from urban air monitoring network in Korea during 2000 to 2005, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 24(3), 300-309.
- Hastie TJ, Tibshirani RJ. 1990. *Generalized Additive Models*, Chapman & Hall, New York.
- Kim YP, Yeo MJ. 2013. The trend of the concentrations of the criteria pollutants over Seoul, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 29(4), 369-377.
- Lee HW, Do WG, Jung WS, Kim MK, Song BJ. 2007. Analysis of long term trend of ozon and PM-10 in Busan using KZ-filtering, *Environ. Sci. Proceedng.*, 16, 116-116.
- Lee JY, Kong BJ, Han JS, Lee MD. 2008. Long term analysis of PM10 concentration in Seoul using KZ filter, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 24(1), 63-71.
- National Institute of Environmental Research. 2006. Study on meteorological parameters impacting on fine particle concentration.
- National Institute of Environmental Research. 2013. *Annual Air Quality(2012)*.
- R Development Core Team. 2009. *R: A language and environment for statistical computing*, R Foundation for Statistical Computing, http://web.mit.edu/r_v3.01/fullrefman.pdf.
- Schmidt M. 2001. Overview of national analyses-Presentation from October 2001 RTP Monitoring Strategy Workshop, U. S. Environmental Protection Agency, <http://www.epa.gov/ttn/amtic/netamap.html>.
- Shin HJ, Cho KM, Han JS, Kim JS, Kim YP. 2012. The effects of precursor emission and background concentration changes on the surface ozone concentration over Korea, *Aerosol and Air Quality Research*, 12, 93-103.
- U. S. Environmental Protection Agency. 2002. Assessment of the ambient air monitoring networks. <http://www.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/pm25/workshop/atlanta/r4netas.pdf>.