한국대기환경학회지 제 22 권 제 4 호
J. KOSAE Vol. 22, No. 4 (2006) pp. 405~420
Journal of Korean Society for Atmospheric Environment

부산지역의 다양한 환경적 요인의 변화에 따른 대기오염측정망 평가

The Assessment of Air Quality Monitoring Network Considering the Change of Various Environmental Factors in Busan

유 은 철* · 박 옥 현[1)]
부산광역시보건환경연구원, [1)]부산대학교 공과대학 환경공학과

(2006년 4월 27일 접수, 2006년 6월 9일 채택)

Eun-Chul Yoo* and Ok-Hyun Park[1)]
Busan Metropolititan City institute of Health & Environments
[1)]*Department of Environmental Engineering, Busan National University*

(Received 27 April 2006, accepted 9 June 2006)

Abstract

This study was conducted to understand the change of spatial environmental factors including populations, air pollution source and land-use in Busan, during the period of 1995 and 2004. Firstly, the grids (5 km × 5 km) were divided using the TM coordinates of Busan and the statistical data of populations and land-use were marked on each grid during studying period. Secondly, the SO_2, NO_2 and O_3 concentrations of areas where air quality monitoring station was not established were estimated on the basis of these air pollutants measured at close air quality monitoring station by kriging method. In order to understand spatial change of air pollution and to investigate duplication and reduction of existing stations, semivariogram, correlation and cluster analysis were carried out.

This study showed that the population increased in 2004 only on 8 grids compared to in 1995. The spatial change of SO_2, NO_2 and O_3 was investigated by semivariogram in Busan area. As the results of semivariogram, the spatial change of SO_2 become smaller and simpler, while that of NO_2, O_3 become larger and more complex in 2004 than in 1995. According to the result of correlation and cluster analysis, the reduction of measurement item or the relocation of air quality monitoring station can be needed in the high dense grid area.

Key words : Air quality monitoring network, Spatial change, Semivariogram, Relocation

1. 서 론

부산은 1970년대 이후 급속한 경제성장 및 도시화가 진행되어 1980년에는 인구수가 약 316만명으로

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)51-757-6937, E-mail : yooagfe@bs21.net

급격히 늘어났으나, 1981년 이후 공장이전 등의 이유로 인구증가 속도가 둔화되기 시작하였다. 이는 국내 사회혼란으로 산업의 위축과 수출부진에 따른 부산항의 물동량 감소, 대도시를 제외한 정부투자와 타 지역의 공업 분산에 의한 부산지역 산업의 쇠퇴에 큰 영향을 받았다. 1991년 이후 부산인구의 정체 내지 감소추세는 부산권 배후인 양산, 김해 등이 주거, 산업단지로 발달함에 따라 이에 따른 유출인구가 많았기 때문이었다.

또한, 사회가치관 변화 및 광역교통망 확충에 따른 도시의 광역화, 양질의 주거환경에 대한 요구에 따른 기성 시가지 정비 필요성 증대 등과 더불어 부산의 경제 · 사회적 여건 변화, 도심인구의 감소 등의 요인들에 의해 부산지역에서의 도시공간구조의 변화를 초래하며 개발제한구역 조정에 따른 공간구조 변화와 도시 행정기능 이전에 따른 도심 공간구조의 확대 등으로 토지이용여건의 변화를 가져올 것이다(건설교통부, 부산광역시, 경상남도, 2005).

일반적으로 대기오염은 오염물질의 이동, 확산에 영향을 미칠 수 있는 지형 뿐만 아니라 인구 및 주거특성, 토지이용, 산업활동, 교통 등 많은 환경적 요인의 변화로 인하여 도시지역에서의 대기오염 패턴과 그 피해지역이 공간적으로 많이 달라질 수 있다.

본 연구에서는 부산지역에서 10년의 시간경과에 따른 인구, 대기오염 배출원 그리고 토지이용 등 환경적 요인의 공간적 변화를 파악하고 이들 환경적 요인의 변화에 따른 대기오염측정망의 적절성에 대해 검토 · 평가하고 시간경과에 따른 대기오염물질의 공간적 변동분석과 측정소의 중복성 등을 고찰하여 기존 대기오염측정망의 설치 · 재배치 등에 대한 합리적인 방법을 제안하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 연구지역 및 방법

본 연구에서는 시간경과에 따른 부산지역의 인구 및 대기오염 배출원인 사업장, 토지이용 등의 환경적 요인과 대기오염의 공간적 변동을 고찰함에 있어 불규칙적이며 시간에 따라 달라지는 행정구역에 근거한 표, 그래프를 이용하여 비교분석하는 방법은 3차원 공간에 대해 자료표출에 따른 해석의 한계를 가져 이를 해결하기 위해 GIS 기법을 적용하여 환경적 요인, 오염현황 등을 객관적이고 고정된 좌표계를 가지는 격자로 구분하여 이들 자료들을 복합적으로 이미지화함으로서 시간경과에 따른 공간적 변동을 간단명료하게 비교 검토할 수 있었다.

부산지역에서의 환경적 요인 및 대기오염의 공간적 변동을 분석하기 위해 TM좌표에 기초를 두고 부산지역을 가로세로 각각 5 km씩 전체 90개 격자로 구획하였으며 격자 중에서 부산의 행정구역 경계선이 포함되는 51개의 격자에 대해 인구, 배출원 등 환경적 요인 등의 자료를 다루었다. 1995년 및 2004년 부산지역 인구자료는 2005년도 부산광역시 통계연

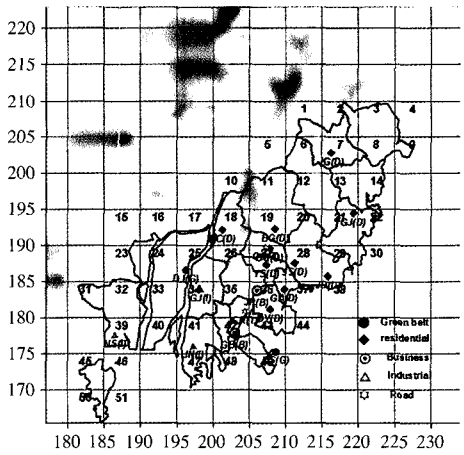

Fig. 1. The air quality monitoring network in Busan, 2005.

보의 행정동별 인구수 자료를 이용하였으며 행정구역(동)의 TM좌표를 디지타이징하여 격자별로 행정동의 인구를 배분하였으며 대기오염 배출원인 1~3종 사업장은 부산지역 지도(1 : 25,000)에서 각 배출원의 TM좌표를 구해 격자에 배분하였다. 본 연구에서는 부산지역의 지도를 이용한 자료처리 및 크리깅 기법의 적용에 따른 오염농도 추정 등을 위해서 Surface mapping system인 Surfer (Ver 8.00, Golden software, Inc.)프로그램을 이용하였으며 오염농도 자료의 상관성분석, 군집분석 등을 통계프로그램인 SYSTAT (Ver 10.2)를 사용하여 자료를 통계처리 하였다.

그림 1은 2005년 현재 부산지역의 대기오염측정망 설치지점 등을 도시한 것으로 측정소의 용도지역에 따라 기호를 구분하여 나타내었다. 본 연구는 10년의 시간경과에 따른 공간적 변화를 고찰하기 위해 1995년, 2004년 부산지역의 인구, 배출원, 토지이용 등의 자료와 대기오염(SO_2, NO_2, O_3, CO 및 PM10) 농도자료를 사용하여 비교 검토하였다. 또한, 부산지역 대기오염물질의 공간적 변동을 파악하기 위해서 크리깅 기법과 반분산 그리고 공간적 상관성분석을 통해서 대기오염측정소의 중복성 등을 평가하고 통계프로그램을 이용하여 군집분석(Cluster analysis)으로 측정소의 축소여부를 결정하여 기존 대기오염 측정망 재배치 방법을 제시하였다.

2. 2 공간적 변동

공간적인 현상을 설명할 수 있는 변수는 인근 지점에서의 상황이 공간적 의존성이나 상관성을 포함하므로, 공간적으로 완전히 무작위성을 가진다고 할 수 없다. 이러한 특성으로 일부 공간적인 표본자료를 이용하여 지역적 현상(regionalized phenomenon) 및 변동성에 대한 공간적인 패턴 구조를 설명할 수 있다. 변수의 공간적인 변동성은 주로 공간상관함수 및 반분산(semivariogram) 등 두 가지 방법에 의해 공간적인 상관성을 정량적으로 설명할 수 있다(Sales *et al.*, 1994). 이 두 함수들은 일반적으로 공간적인 의존성이나 상관성을 나타내는 척도로 사용되고 있으며, 통계적으로 2차 모멘트의 형식을 취하고 있다. 이 두 공간함수들은 공간오차분석을 통해 면적 평균이나 공간적 내·외삽 기법에 대하여 추정된 변수의 정확도 및 신뢰도를 평가할 수 있으며, 특히 대표적 지형통계 기법인 크리깅(kriging)기법은 반분산을 이용하여 공간상의 추정오차를 최소화하여 미계측 지점의 값을 내삽(interpolation)하는 방법이다. 반분산은 Matheron (1963)에 의해 소개된 "고유가설(intrinsic hypothesis)"에 근거를 두고 있으며, 편차의 평균과 분산은 지점 u_i와 u_j사이의 방사상 거리(radial distance), 즉 $d_{ij}=|u_i-u_j|$에 의한 함수이며 $\gamma(d_{ij})$를 반분산이라고 한다. 반분산을 이용한 최적보간기법을 크리깅 기법이라고 하며 공간현상에 대한 공간적인 변동성을 표현하기 위해 반분산을 이용한다. 크리깅 기법은 공간현상이 등방성의 반분산을 가지며 공간현상의 평균 및 분산도 공간적으로 균일하다는 가정을 포함한다. 크리깅 기법은 보통 일반 크리깅(ordinary kriging)이라고 부르며, 또한 범용 크리깅(universal kriging)은 불균일한 공간현상에 적용될 수 있다.

2. 3 대기오염측정망

우리나라에서 설치운영중인 대기오염측정망의 종류 및 목적, 측정항목을 표 1에 정리하여 나타내었다. 우리나라에서 운영중인 대기오염측정망은 크게 일반대기오염측정망과 특수대기오염측정망으로 구분되며 일반대기오염측정망은 지역대기, 지역배경, 국가배경, 도로변측정소로 세분되고 특수대기오염측정망은 유해대기, 중금속, 광화학, 산성강하물질, 지구대기 그리고 시정거리측정소로 세분된다. 측정망의 설치 목적에 따라 측정주기, 측정항목도 다르며 그 결과에 대한 분석 및 평가도 다르다.

2005년 6월 현재 우리나라에서 운영중인 측정소는 전체 363개소이며 운영주체별로는 국가 82개소, 지자체 284개소로서 약 78%를 지자체에서 운영하고 있다. 연구지역인 부산지역에서는 전체 31개소의 대기오염측정망을 운영중이며 운영주체별로는 국가 8개소, 지자체 23개소이며 그 세부적인 사항을 살펴보면, 지역대기측정소 16개소, 도로변측정소 2개소, 유해대기 2개소, 중금속 4개소 그리고 광화학측정소 5개소, 산성강하물질 1개소, 시정거리 1개소가 설치운영 중에 있다.

부산지역의 대기오염측정망은 지역대기오염측정소 16개소와 도로변측정소 2개소가 설치운영중이며 토지용도별로는 주거지역 9개소, 상업지역 2개소, 공업지역 3개소, 녹지지역 2개소이며 도로변지역 2개소가 설치운영중이다.

이들 대기오염측정망은 도시의 대기질을 연속적으

Table 1. Purpose of air quality monitoring network and measurements in Korea.

		Purpose operating	Pollutant variables
General monitoring	Regional air quality monitoring	Provide a database for compliance with air quality standards in urban, etc.	SO_2, CO, NOx, PM-10, O_3, WD, WS, Temp., RH
	Regional background air quality monitoring	Provide a database for identifying background air quality in urban area	SO_2, CO, NOx, PM-10, O_3, WD, WS, Temp., RH
	National background air quality monitoring	Provide a database for identifying national background air quality and assessing flow in or out of pollutant	SO_2, CO, NOx, PM-10, O_3, WD, WS, Temp., RH
	Traffic air quality monitoring	Provide a database for assessing exposure impacts in near roadway environments and determine long-term trends	SO_2, CO, NOx, PM-10, O_3, WD, WS, Temp. ※ If necessary Pb, PM2.5, HC, Traffic
Special monitoring	Toxic air quality monitoring	Provide a database for assessing potential toxic hot spots to protect human health and aid in determining source-receptor relationships in urban, industrial complex	VOCs (Benzene,Toluene 13 species) PAHs (Benzo (a)anthracene 7 species)
	Heavy metal monitoring	Provide a database for assessing heavy metals to protect human health and aid in determining source-receptor relationships in urban, industrial complex	Pb, Cd, Cr, Cu, Mn, Fe, Ni ※ Al, Ca, Mg : additional variables during the yellow sand
	Photo-chemical air quality monitoring	Provide a database for assessing high ozone in urban and identifying ozone precursors (i.e., volatile organic compounds (VOC) and nitrogen oxides (NOx) which react to form ozone)	NOx, NOy, PM-10, PM-2.5, O_3, CO, VOCs (ethane etc. 56 species), WD, WS, Temp., RH, Radiation, UV, Precipitation, Pressure, Carbonyl compounds
	Acid rain monitoring	Provide a database for identifying atmospheric deposition amounts and trends	Dry : PM-2.5, Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-}, NH_4^+, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} Wet : pH, Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-}, NH_4^+, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, conductivity, Precipitation
	Global air quality monitoring	Provide a database for identifying global warming and ozone depletion result from air pollutants	CO_2, CFC (-11,-12,-113,-114), N_2O, CH_4
	Visibility	Provide a database for identifying visibility in urban and assessing sensible air pollution	Visibility, PM-2.5

로 측정하여, 대기오염 경보체계의 구축, 대기오염 방지대책 수립과 평가를 위한 기초자료의 제공, 환경기준 달성여부의 판단자료 및 대기 예측모형의 보정자료 제공, 대기오염 배출원의 감시 등 여러 목적으로 운영되며 일반적으로 대기오염 자동측정망 자료의 활용성을 확보하고 제고시키기 위해서는 대기오염 자동측정망의 설치 · 운영 목적에 따른 측정망의 합리적인 배치가 중요하다. 정장표 (2000)에 의하면, 부산시내 13개 측정 지점에 대해 측정소별 측정목적과 측정대상의 현상규모가 명확히 설정되어 있지 않아서 측정결과의 해석 및 평가에 어려움이 수반되고 있으며, 무엇보다 대기영향권 범위에 비해 측정망의 설치수가 절대적으로 부족하다고 그 문제점을 제시하고 있다. 기존 자동측정망의 배치기준은 토지이용형태와 측정 장소의 관리 용이성 등에 근거를 두고 있으나, 향후 이들 요소 뿐만 아니라 기상학적 체계특성 (지형 영향, 국지배수풍 영역, 주풍향 등), 민감한 피해지역 (*sensitive receptor areas*) 특성, 측정소별 측정목적과 현상규모 등을 고려하여야 한다. 그리고 대기오염의 유형이 선진국화 되어감으로서 기존의 대기오염측정소에서는 상시 측정하는 대기환경기준 항목이외에, 휘발성유기화합물질 (Volatile Organic Compounds, VOCs) 및 PM-2.5 등과 같이 인체 보건학상의 악영향이 클 것으로 예상되는 오염물질에 대

해서도 측정 및 평가가 이루어질 수 있도록 측정대상 오염물질의 범위를 확대할 필요가 있다.

대기오염측정망 설치기준

도시지역의 대기오염도를 파악하고 도시지역내 최악의 대기오염도를 감시하여 대기질이 항상 환경기준이내를 유지할 수 있도록 함으로써 대기오염으로 인한 피해 및 영향을 최소화하기 위한 도시대기측정망의 측정소 설치지점의 결정기준은 인구비례에 의한 방법과 TM 좌표에 의한 방법에 따라 도시별 측정소의 수를 산정하고, 토지이용현황, 대기오염물질 배출량, 지형과 인구밀도 등을 고려하여 정량적으로 결정하였으나, 향후에는 기존 계획을 토대로 인구수, 대기오염 정도, 새롭게 조성되는 신시가지의 규모 등을 고려하여 정성적으로 산정할 계획으로 있다. 환경부(2005)의 대기오염측정망 기본계획(2006~2010)에 따른 새로운 측정망 설치기준으로는 다음과 같다.

첫째, 인구 10만 이상 도시에 설치함을 원칙으로 하지만, 인구 10만 미만인 도시라도 공업시설을 포함하고 있어 대기질 악화가 우려되거나 유동인구가 많은 경우에는 측정망을 설치할 수 있다.

둘째, 인구 10만 이상의 도농복합도시중 도심지역의 면적이 좁고, 인구가 적어 대기오염문제가 대두되지 않는 경우에는 측정망을 설치하지 않는 것을 원칙으로 한다.

셋째, 1개의 측정소를 설치할 경우에는 인구밀집지역 또는 주거지역에 설치하여야 한다. 2개 이상의 측정소를 설치할 경우에는 주거지역, 상업지역, 공업지역 등 용도지역별로 적정하게 설치하여야 한다.

넷째, 측정소간 간격은 4 km 이상을 유지하여 측정소간 중복성을 최소화하고 넓은 지역을 감시할 수 있도록 하여야 한다.

측정소의 구성은 환경기준 항목인 SO_2, CO, NO_X, PM10, O_3와 기상요소(풍향, 풍속, 온도, 습도)를 측정할 수 있도록 하고 당해 도시에 1개소의 측정소가 설치되는 경우는 전체 항목을 측정하고, 추가되는 측정소에 대하여는 아래와 같이 지역 특성을 반영하여 측정항목을 조정할 수 있다.

① 도시 규모가 작고 공업시설도 적어서 SO_2와 CO의 오염도가 낮다고 사료되는 지역은 NO_X, PM10, O_3만 측정할 수 있다.

② 비포장도로 또는 야적장 인근에 위치하여 이들에 의한 국소적 영향이 큰 지역은 PM10을 제외하고 측정할 수 있다.

③ 대기환경기준물질 중 1 내지 2개 항목의 오염도가 높아서 해당물질에 대한 특별 감시가 필요한 지 역은 이들 항목만 측정할 수 있다.

④ 측정항목 이외에 해당 도시의 대기오염도를 조사하기 위하여 필요한 항목이 있는 경우 당해 항목을 추가할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 부산지역 대기오염 추세

부산지역의 과거부터 2004년도까지 대기오염도 추세는 표 2에 나타내었다. SO_2 농도는 전국 7대 도시에서 전반적으로 지난 10년간 꾸준하게 감소하였으며 2004년에는 연평균 오염도가 0.004~0.010 ppm의 범위이며 부산지역은 0.007 ppm으로 과거 10년전에 비하여 현저히 줄었음을 보였다. 이는 연료에 대한 사용량이 증가 추세에 있음에도 불구하고 SO_2의 농도는 감소하고 있는데, 저황유와 LNG 등 청정연료의 공급확대, 배출 규제 강화 등을 포함한 정부의 지속적인 연료규제제도에 기인한 것으로 판단된다. 또한, CO 역시 SO_2와 같이 꾸준히 감소추세에 있으며, 2004년도 주요 대도시의 연평균 농도는 0.5~0.8 ppm으로 부산지역 0.6 ppm과도 거의 비슷한 수

Table 2. Yearly air pollution in Busan.

Year	SO_2 (ppm)	NO_2 (ppm)	O_3 (ppm)	CO (ppm)	PM10 ($\mu g/m^2$)
1991	0.038	0.019	0.017	1.5	
1992	0.033	0.023	0.014	1.5	
1993	0.028	0.023	0.015	1.1	
1994	0.023	0.025	0.014	1.3	
1995	0.023	0.024	0.014	1.6	73
1996	0.022	0.027	0.016	1.0	76
1997	0.018	0.031	0.020	1.2	68
1998	0.015	0.028	0.019	1.0	67
1999	0.014	0.024	0.022	1.0	65
2000	0.010	0.019	0.022	1.1	62
2001	0.008	0.024	0.022	0.9	60
2002	0.007	0.030	0.025	0.7	69
2003	0.006	0.029	0.024	0.7	55
2004	0.007	0.026	0.023	0.6	60

Source: Ministry of Environment Republic of Korea, 2005 Environmental Statistics Yearbook

준이었다. 따라서 부산지역에서는 이들 SO_2, CO 측정을 하기위한 측정지점을 축소 조정하여 운영할 필요가 있을 것으로 판단된다.

표 3은 2004년도 부산지역 대기오염측정소(16개소)에서 관측된 대기오염 기준물질인 SO_2, NO_2, O_3, CO 및 PM10의 대기환경기준초과 현황을 나타내었다. 항목별 기준초과 현황을 살펴보면 SO_2는 공업지역에 위치한 측정소(NS)에서 1시간평균 0.15 ppm을 10회 초과하였으며 NO_2는 1시간평균 0.15 ppm을 1회 그리고 CO는 연중 대기환경기준을 초과한 경우가 없었다. 이러한 기준초과 횟수를 근거로 이들 항목에 대한 측정소의 축소운영이 필요함을 반영하고 있다. 반면에 O_3은 1시간평균 0.1 ppm을 25회, 8시간평균 0.06 ppm을 247회 초과했으며 부산지역의 16개 대기오염측정소중에서 거의 전체 측정소에서 나타났다.

10년간 부산지역의 대기오염도 추이 및 2004년도 대기환경기준 초과현황, 오존주의보 발령일수를 살펴본 바와 같이, SO_2 및 CO는 과거 10년 전에 비하여 현저하게 감소하고 있는 반면에 NO_2, O_3 그리고 미세먼지 PM10은 증가하거나 안정화 단계에 있어 지속적인 감시가 필요한 것으로 보인다. 이는 과거의 대기오염 경향이 시간적 · 공간적 변화에 따라 달라지고 있으며 과거의 연료의 연소 등으로 인한 아황산가스 및 일산화탄소의 대기오염문제보다 향후 자동차 배출가스에서 기인되는 질소산화물, 오존 및 휘발성유기화합물질 등의 대기오염문제를 고려하여 광화학오염물질의 평가를 목적으로 하는 측정망의 구축을 위해 대기오염물질의 이동 · 확산 및 2차 대기오염물질에 대한 정확한 규명이 필요할 것으로 보인다.

그림 2는 1995년 및 2004년 부산지역의 대기환경기준물질인 SO_2, NO_2, O_3의 연평균 농도자료에 대해 Kriging기법을 적용하여 등농도선을 도시한 것이다. 시간경과에 따른 대기오염물질의 공간적 분포를 비교 · 검토하기 위해 등농도선 작성시 1995년도와 동일한 측정소 수를 적용하여 농도를 추정함으로서 측정소 수의 차이에 따른 추정오차를 최소화하였다. 부산지역에서 오염물질별 시산경과에 따른 농도분포를 살펴보면, SO_2는 1995년에는 공업지역을 중심으로 높은 서고동저형이나 2004년도에는 해안쪽이 높은 남고 북저형으로 나타났다. NO_2는 1995년도 북고남저형에서 2004년도에는 도심을 중심으로 높아지는 형태를 가졌으며 O_3은 1995년 도심을 중심으로 대칭형태에서 2004년에는 오존농도는 해안에서 내륙쪽으로 감소하는 형태로 그 농도 범위도 확대되어지는 경향을 보였다. 이는 부산지역에서 10년간의 시간

Table 3. Frequency of exceed air quality standards in Busan, 2004.

Site	SO_2		NO_2		PM10	O_3		CO	
	0.15 ppm /1 h	0.05 ppm /24 h	0.15 ppm /1 h	0.08 ppm /24 h	150 μg/m^3 /24 h	0.1 ppm /1 h	0.06 ppm /8 h	25 ppm /1 h	9 ppm /8 h
GB (B)	0	0	0	0	4	0	3	0	0
DY (R)	0	0	0	0	4	3	16	0	0
GJ (I)	0	0	0	0	1	1	11	0	0
DC (R)	0	0	0	0	1	0	29	0	0
JN (I)	0	0	0	0	6	1	8	0	0
JP (B)	0	0	0	0	3	5	15	0	0
YS (R)	0	0	0	0	5	0	8	0	0
DS (G)	0	0	0	0	1	6	39	0	0
JS (R)	0	0	1	0	2	0	18	0	0
DJ (G)	0	0	0	0	8	0	18	0	0
NS (I)	10	0	0	0	4	6	35	0	0
GJ (R)	0	0	0	0	4	0	8	0	0
BG (R)	0	0	0	0	2	3	17	0	0
GA (R)	0	0	0	0	2	0	16	0	0
BC (R)	0	0	0	0	2	0	6	0	0
JG (R)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	10	0	1	0	49	25	247	0	0

Source: Ministry of Environment Republic of Korea · National Institute of Environmental Research, Annual Report of Ambient Air Quality in Korea, 2004

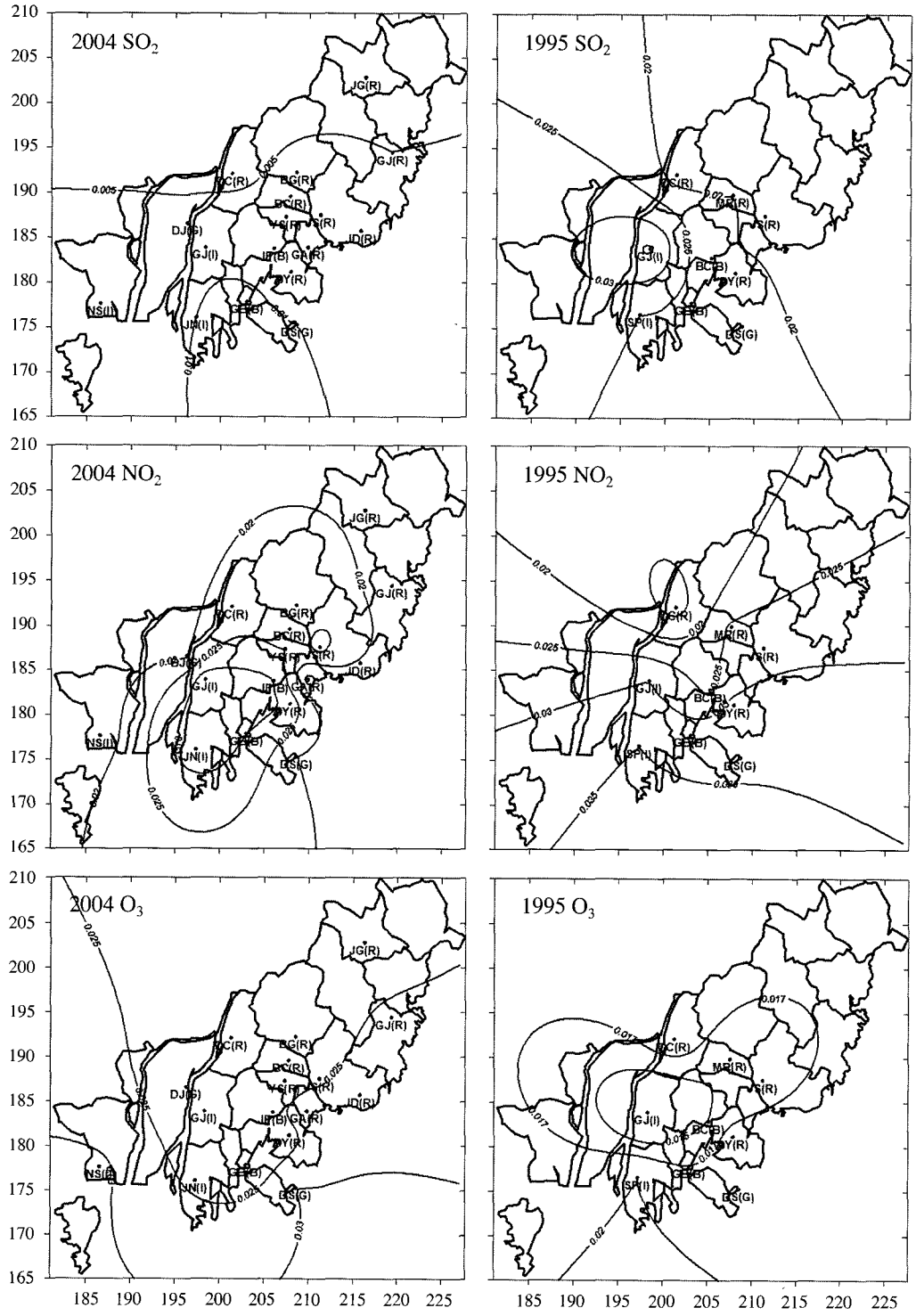

Fig. 2. Distribution of air pollutants in Busan.

경과로 인해 환경적 요인 등의 변화가 대기오염물질의 공간분포의 차이에 반영된 것으로 보이며 대도시 지역에서 대기오염 피해예방 및 정확한 오염상태 파악, 효과적인 관리대책 수립을 위해서는 정기적으로 시간 경과에 따른 환경적 요인의 변화현황 등을 검토하여 그 결과에 따른 측정망의 평가와 재배치가 합리적으로 이루어져야 될 것으로 판단된다.

3. 2 환경적 요인의 변화

3. 2. 1 인구 및 배출원 분포변화

부산은 1970년대 이후 급속한 경제성장 및 도시화가 진행되어 1980년 3,159,766명으로 인구가 급격히 늘어났으나, 1981년 이후 공장이전 등의 이유로 증가속도가 둔화되기 시작하였다. 타 지역의 공업 분산에 의한 산업의 쇠퇴 그리고 부산권 배후인 양산, 김해 등이 주거, 산업단지로 발달함에 따라 이에 따른 유출인구 증가로 인구의 정체 내지 감소추세가 계속되었다.

본 연구에서는 10년간의 시간경과에 따른 부산지역의 인구, 배출원 등의 환경적 요인변화와 대기오염물질의 공간적 변동을 파악하기 위해 부산지역을 각각 5 km씩 전체 90개로 구획한 격자 중 부산의 행정구역 경계선이 포함되는 51개의 격자에 대해 1995년 및 2005년 부산지역의 행정동별 인구수와 증가율에 대해서 조사 연구하였으며 그 결과를 그림 3에 나타내었다. 행정권역별 인구, 배출원 등의 환경적 요인 변화에 대한 비교 · 검토하는 방법으로는 이들 요인들에 대한 공간적인 변동성을 구체적으로 가시화하고 비교 · 검토함에 많은 어려움이 있어 이를 개선하고 시간경과에 따른 공간적 기준이 변하지 않으며 이들 요인들에 대한 지역별 공간적 비교 · 검토가 용이하게 격자로 구분하여 자료를 처리하였다.

그림 3(a)에 나타난 부산지역에서 10년의 시간경과에 따른 인구수의 지역별 공간적인 변화를 살펴보면, 인구가 증가한 지역은 전체 51개중 8개 지역(격자 10, 12, 18, 21, 29, 33, 42, 47)이며 이중 인구수가 10만명 이상 지역은 3개 지역(격자 18, 29, 42)로 나타났다. 시간경과에 따른 격자별로 인구증가 및 인구밀도의 변화를 고려하여 대기오염측정소 설치위치를 살펴보면, 대기오염측정소가 없으며 1995년에 비해 2005년도 인구증가와 인구수가 10만명 이상인 지역(격자 29)이 가장 우선적으로 측정소의 설치가 필요한 지역으로 나타났다. 또한, 대기오염측정소가 없으며 인구밀도가 높은 지역(격자 26)과 인구증가를 보이는 지역(격자 10, 12, 21, 33, 47)에 대한 측정소 설치도 검토가 되어야할 지역으로 나타났다. 그림 3(b)에서는 부산의 인구밀도와 운영중인 측정소를 격자

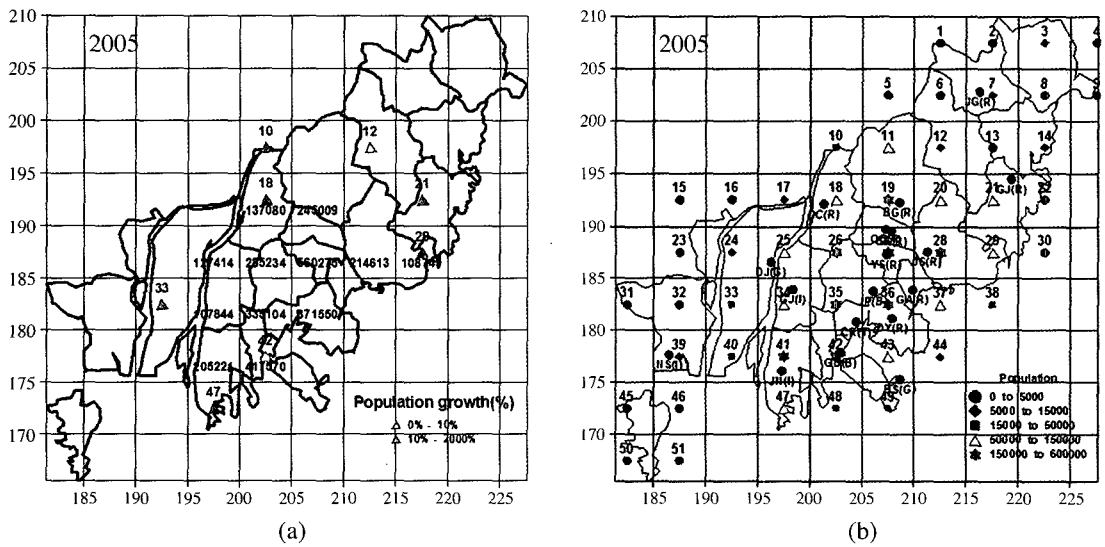

Fig. 3. Distribution of population growth, air quality monitoring station in Busan : (a) Population growth and grid over 100,000 population in 2005; (b) Distribution of population and air quality monitoring stations in Busan, 2005.

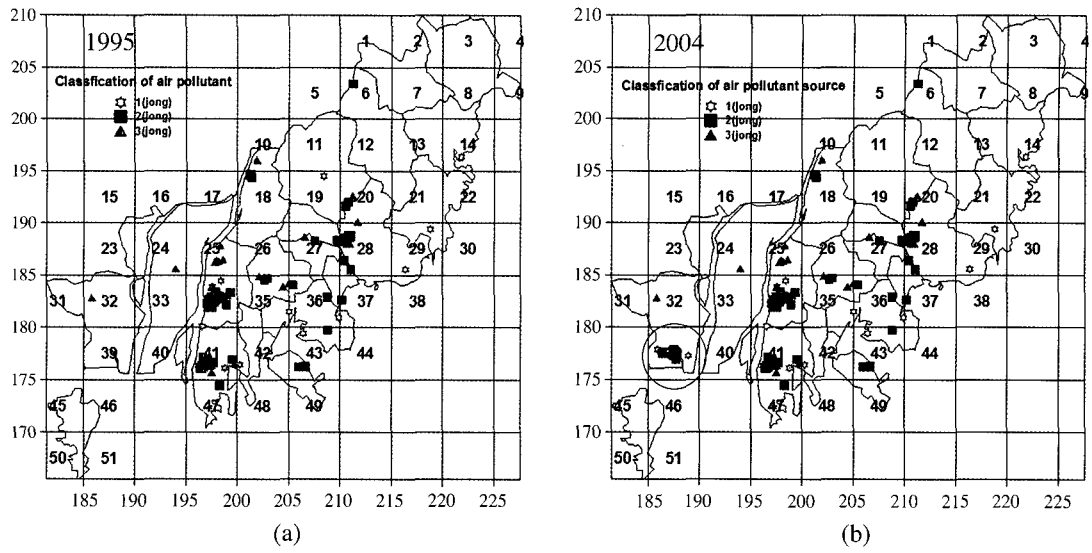

Fig. 4. Distribution of air pollutant sources during the decade in Busan : (a) 1995; (b) 2004.

에 동시에 표시한 것이다. 일부 지역(격자 27, 36)에서는 측정소의 운영목적 및 현상규모, 중복성 등에 대한 평가가 시행되지 않고 측정소 설치 및 운영의 용이성, 토지용도지역 등만을 고려하여 설치함으로서 측정소의 밀도가 상대적으로 높아 대기오염측정소에 대한 공간적인 중복성 평가 등이 필요할 것으로 보인다.

부산지역에서 1995년 및 2004년 대기오염물질 배출 사업장(1~3종)에 대한 지역별 분포를 그림 4에 표시하였다. 1995년도 부산지역의 주요 대기오염배출원인 사업장이 밀집하여 있는 지역으로는 금사공단(격자 28), 사상공업지역(격자 34), 신평·장림공업지역(격자 41)이 있으며 그 외의 지역에도 1~3종 대기오염 배출원이 산발적으로 분포되어 있다. 2004년 배출원은 1995년에 비해 신설된 대규모 산업단지(격자 39, 빨간 원형부분)의 개발로 인하여 기존 부산지역에 있는 기계·조립, 금속업종 및 화학·고무업종, 섬유·의복업종의 이전으로 부산지역에서 대기오염배출원인 사업장의 분포가 확대되고 오염배출 특성이 많이 달라 질 것으로 보인다.

3.2.2 토지이용

부산은 배산임해, 동서대상형 지형으로 특성상 표고 100 m 이상의 고지대가 많고 평지가 적은데 비해 녹지면적은 전체면적의 약 절 반에 달하고 있다. 토지이용계획에 따라 인구 및 주거특성과 교통량, 에너지 소비특성 등의 환경적 요인의 변화가 초래됨으로서 부산지역의 토지 지목별, 용도별 이용현황을 검토 고찰하였다. 부산지역의 지목별 토지이용 현황은 1995년에는 임야가 374.7 km^2로 전체의 50.0%를 차지하고 있었으나 2004년에는 임야 365.2 km^2로 전체의 47.8% 정도를 차지하고 있어 10년 전에 비해 9.5 km^2가 줄었고 전답 120.4 km^2, 대지가 96.4 km^2로 매년 市街化 구역으로 전환이 증가되고 있음을 시사한다.

표 4에는 1995년부터 2004년까지 시간경과에 따른 부산지역 토지의 용도지역별 현황을 나타내었다. 1995년 부산시의 용도지역을 살펴보면 녹지지역이 579.6 km^2(전체의 76.6%), 2004년에는 603.7 km^2(전체의 63.5%)로 산지가 많은 부산의 지역적 특성을 반영하며 주거지역은 1995년에 비해 2004년도에는 약 5.7 km^2 증가하였으며 각각 상업 및 공업지역의 2.1, 2.4 km^2보다 더 많은 지역이 주거지역으로 개발되었다. 부산지역의 향후 토지용도 계획에 대한 예측으로 2006년에는 주거용지 112.36 km^2, 상업용지 21.62 km^2, 공업용지 47.91 km^2 등으로 시가화 구역이 총 181.89 km^2로 1995년 167.2 km^2보다 14.69 km^2가 증가함으로서 앞으로 부산 지역 대기오염의 공간적 변화가 더 많이 일어날 것으로 예상된다.

Table 4. Area of land-use type in Busan. (Unit : km^2)

Land-use	Year									
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Resident	105.1	105.7	105.9	106.5	106.8	107.6	107.6	110.5	110.5	110.8
Business	18.2	18.3	18.4	18.5	18.5	20.4	20.4	20.5	20.5	20.3
Industrial	43.9	49.9	43.9	44.3	44.1	45.5	45.5	44.1	46.2	46.3
Greenbelt	579.6	578.8	601.1	601.1	601.0	604.2	604.2	603.9	603.8	603.7
non-assign	10.3	103.0	170.4	180.5	180.5	173.2	173.2	172.0	170.0	170.0

Source: Busan Metropolitan City, Annual Report of Statistics in Busan, 2005 ; http://www.busan.go.kr/

따라서 도시지역에서의 인구 및 배출원의 공간적 분포의 변화, 토지이용 등으로 인한 도시공간의 변화는 대기오염의 패턴과 피해지역에 직접적으로 영향을 주는 요인들로서 이들 요인들의 변화에 따른 기존 대기오염측정망의 평가는 지역 대기오염도를 정확하게 파악하고 대기오염으로부터 피해를 예방하기 위해서는 필수적이다.

4. 3 대기오염물질의 공간적 변동

4. 3. 1 반분산 (Semivariogram)

대기오염물질의 공간변동에 대한 연구를 위해 많은 연구자들이 상관계수, 분산, 등농도지도 등을 사용하여왔으나, 이들 방법은 정규분포하는 오염자료에 대해 가장 적절한 방법이며, 시료 채취 지점의 불규칙적인 분포로 인해 해당지역의 오염도 및 변동특성을 대표적으로 나타내지 못할 경우, 오염물질의 공간적 변동 및 지역적 종속성을 제대로 해석할 수가 없다(Sen, 1995). 그런데 Larsen *et al.* (1967)에 의하면 가스상 오염물질 농도자료는 평균화시간에 관계없이 모든 도시들에서 거의 대수정규분포를 나타낸다. 또한, 공간적인 오염자료사이의 변동정도를 정량화하기 위해 분산값을 사용하는 기법은 샘플링 위치의 항으로 그 변동성을 직접 설명하는데 도움이 되지 않는다(Sen, 1989). 이는 데이터의 비정규적 분포, 그리고 샘플링 위치 불규칙성에 기인한다. 고전적 통계의 중심극한정리는 변수의 개수 n이 무한대로 접근함에 따라 랜덤 변수의 기초를 이루는 확률분포함수가 무엇이든지 간에 그 연속적 합계 혹은 평균치는 정규분포에 접근한다는 것을 기술하였으며, 누적 반분산은 어떠한 분포함수에 대해서도 강력하고 확실한 공간적 분포 해석방법이다. 만약 오염농도장이 균질하고 등방성(isotropic)이면, 반분산 함수는 측정소사이의 이격거리(*separation distance*)뿐만 아니라 측정소의 위치에 따라 달라진다.

그림 5는 부산지역에서의 시간경과에 따른 공간적 변동을 고찰하기 위해 오염물질별 반분산도를 나타낸 것으로 부산지역 전체 측정소 연평균 SO_2, NO_2 및 O_3 농도자료의 半分散값을 측정소간 거리에 대해 도시한 것이다.

시간경과에 따른 부산지역의 오염물질별 공간적 변동에 대해 반분산도를 통해 살펴보면, 1995년 부산지역의 SO_2는 측정소간 거리 23 km까지는 반분산값이 증가하다가 그 이후로 감소하여 일정한 수준을 유지하는 추세를 보이지만 2004년에는 측정소간 거리 약 35 km까지 꾸준하게 증가하는 추세를 보여 공간적 변동이 달라졌음을 보였다. 이는 과거 1995년 부산지역에서는 측정소간 거리가 10 km 이내인 지역에서도 SO_2의 농도변동이 컸으며 부산지역의 SO_2 대기오염도를 파악하기 위해서 측정소의 높은 공간적 해상도가 필요했지만 2004년에는 10 km 이내 지역에서는 SO_2 농도의 공간적 변동이 거의 없어 SO_2 측정을 위해 측정소의 공간적 해상도를 축소할 수 있음을 시사한다.

1995년 부산지역의 NO_2는 측정소간 거리가 증가함에 따라 반분산값이 지속적으로 증가하는 수준을 보였고 그 반분산값도 2004년보다 10배 정도 크게 나타났으며 반면에 2004년에는 측정소간 거리가 약 18 km까지 증가하다가 감소하는 추세를 보였다. 오존에 대한 반분산도를 살펴보면, 1995년 부산지역에서는 측정소간 거리가 약 18 km까지 증가하다가 그 이후로 감소하는 추세를 보였으며 2004년에는 측정소간 거리가 증가할수록 반분산 변동도 지속적으로 증가하는 추세를 보여 SO_2와 비슷한 변동을 보였다.

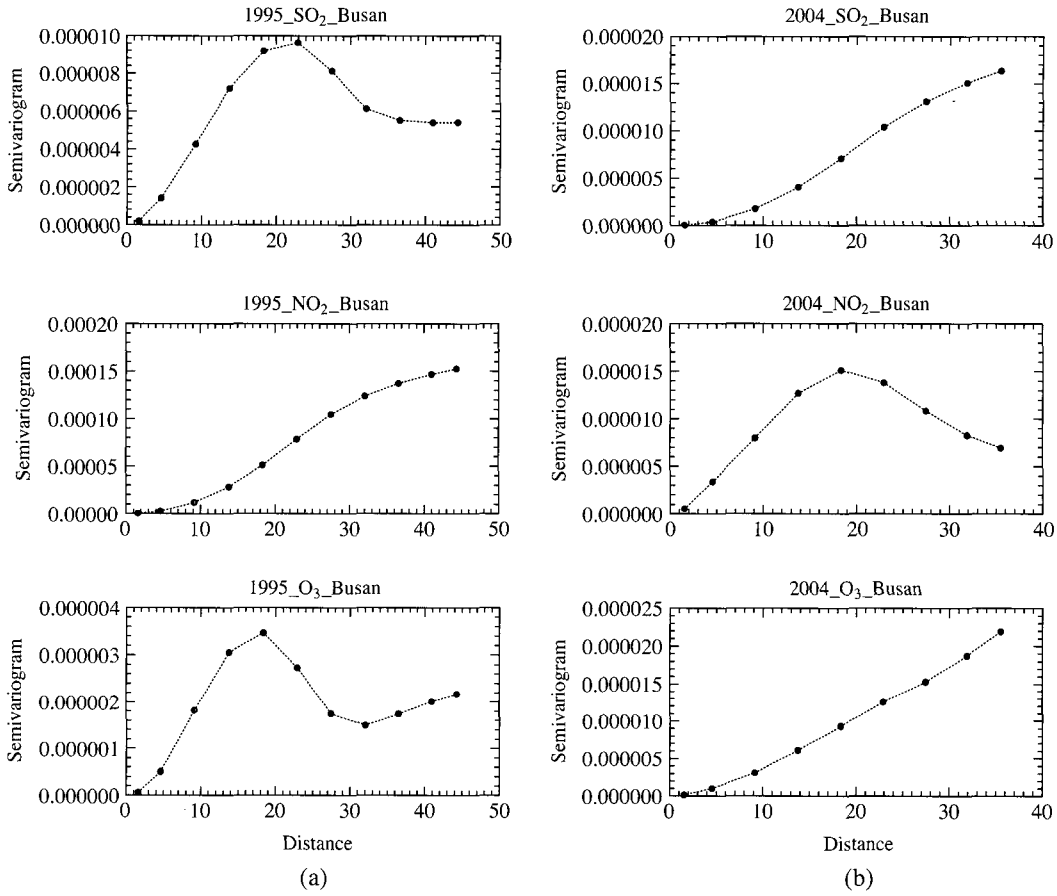

Fig. 5. Semivariogram of air pollutant during the decades in Busan : (a) 1995; (b) 2004.

따라서 반분산도를 통한 오염물질의 공간적 변동을 살펴본 결과, 부산지역에서 시간경과에 따른 측정소별 SO_2와 O_3의 공간적 변동은 NO_2와 다르게 나타났으며 측정소간 거리가 작은 경우에는 SO_2와 O_3는 공간적 변동이 NO_2에 비해 작아 따른 공간적 해상도를 줄일 수 있음을 보였다.

부산지역에서 10년의 시간적 경과에 따른 대기오염물질의 공간적 변동은 과거의 연료의 연소로 인한 아황산가스 등의 대기오염문제는 저유황 연료공급 등에 따른 정부의 지속적인 정책추진에 힘입어 저감되었고 공간적 변동도 줄어들은 반면에, 자동차 배출가스에서 기인되는 질소산화물, 오존 등의 공간적 변동은 커지고 복잡해지고 있다. 따라서 부산지역의 대기오염측정망은 오존 등 2차 대기오염물질과 이에 대한 전구물질인 질소산화물, 휘발성유기화합물질 등의 대기오염물질을 감시할 수 있도록 측정소의 공간적 해상도, 측정항목 등을 결정하기 위한 검토 및 연구가 있어야 될 것으로 판단된다.

4. 3. 2 상관성 분석

어떤 공간에서의 관측치를 내삽하기 위한 통계기법인 크리깅 기법을 써서 참조위치에 대해 등상관계수 곡선도(iso-correlation field)를 작성하면 해당 지역에 대한 오염물질의 보건상 영향평가에 있어 제한된 측정소들에서 측정된 자료가 얼마나 주변지역에 대해 대표적인가를 판단하거나 측정된 농도자료를 이용하여 특정 위치에 대한 결측농도를 통계학적으로 추정 및 평가를 하는데 유용하다(Duc *et al.*, 2001). 또한, 상관장은 오염물질의 일반적인 특성을 기준으로 副지역(subregion)을 구성하기 위해 측정소를 집단

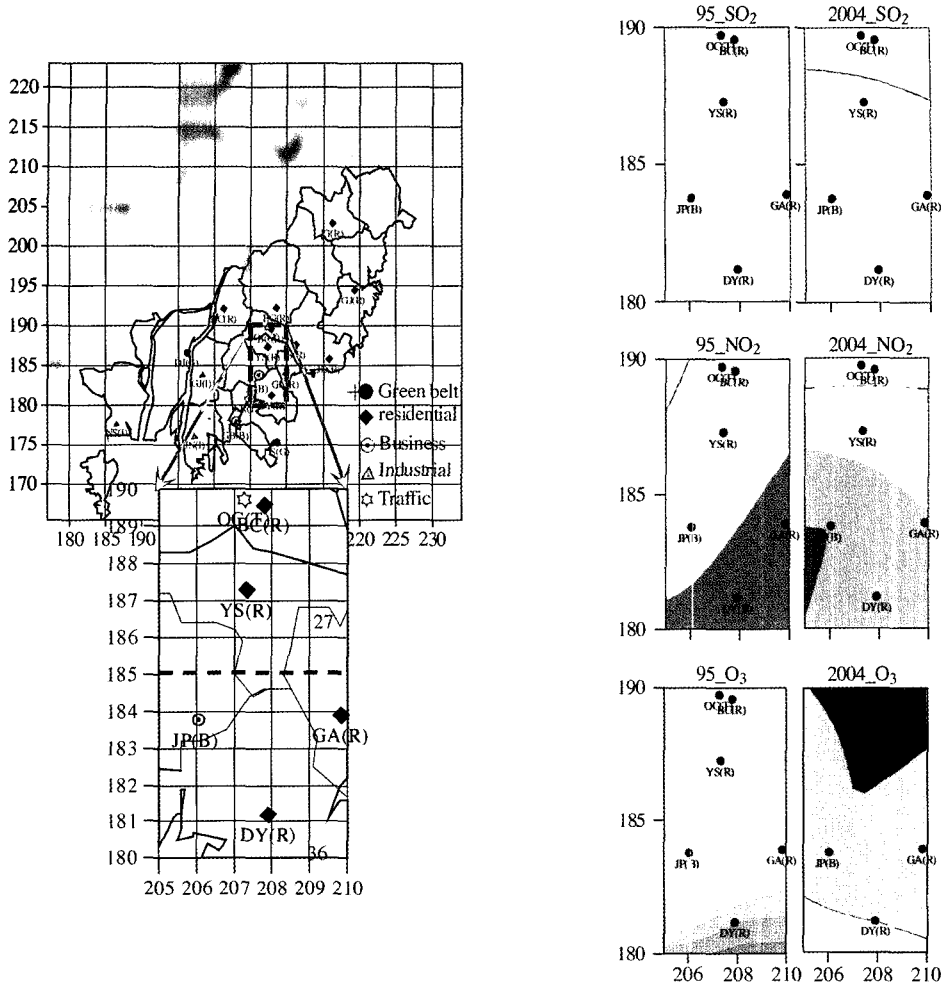

Fig. 6. Isopleth of SO_2, NO_2 and O_3 in the grid 27, 36.

화함에 있어 유용한 방법이며 측정망을 합리적으로 구성하거나 측정망의 최적밀도를 결정할 때에도 이용할 수 있다. 본 연구에서는 앞서 논의된 바와 같이, 부산지역에서 상대적으로 측정소의 밀도가 높은 지역(격자 27, 36)내 대기오염측정소에 대한 중복성을 파악하기 위해 공간상의 추정오차를 최소화하고 미계측 지점의 값을 내삽(interpolation)하여 추정하는 대표적 지형통계 기법인 크리깅 기법을 이용하여 전체 측정소, 일부 측정소를 제외한 상태에서 격자 27, 36내 농도값을 추정하였으며 그 값을 이용하여 등농도 지도를 그림 6에 나타내었다.

대기오염측정소 밀도가 상대적으로 높은 지역의 측정소 현황을 보면, 격자 27내에는 지역대기측정소 YS, BC 측정소 2개소, 도로변측정소 1개소가 있으며 격자 36내에는 지역대기측정소 JP, GA, DY측정소 3개소가 설치 운영중에 있다. 격자 27, 36내에 측정소간 이격거리는 약 3~8 km 정도 떨어져 있고 이들 중 일부는 대기오염측정망 설치기준인 측정소간 간격 4 km 이상을 유지하지 못하여 측정소간 중복성의 문제를 가지고 있다. 격자내 오염물질별 등농도 지도에 따른 측정소 분포를 살펴보면, 2004년 SO_2는 BC 측정소를 제외한 모든 지역대기측정소가 같은 농도구간에 포함되며 O_3, NO_2는 비슷하게 JP, DY, GA측정소가 같은 농도구간에 포함되며 YS, BC측정소는

SO_2	Total	YS	BC	JP	DY
Total	1.000				
YS	0.988	1.000			
BC	1.000	0.987	1.000		
JP	0.950	0.924	0.950	1.000	
DY	0.962	0.930	0.962	0.970	1.000
GA	0.959	0.929	0.959	0.917	0.939

(a) SO_2

NO_2	Total	YS	BC	JP	DY
Total	1.000				
YS	0.989	1.000			
BC	0.941	0.926	1.000		
JP	0.974	0.961	0.940	1.000	
DY	0.849	0.790	0.859	0.776	1.000
GA	0.522	0.570	0.231	0.418	0.257

(b) NO_2

O_3	Total	YS_	BC	JP	DY
Total	1.000				
YS_	0.934	1.000			
BC	1.000	0.934	1.000		
JP	0.974	0.924	0.975	1.000	
DY	0.895	0.744	0.895	0.883	1.000
GA	0.811	0.599	0.811	0.739	0.892

(c) O_3

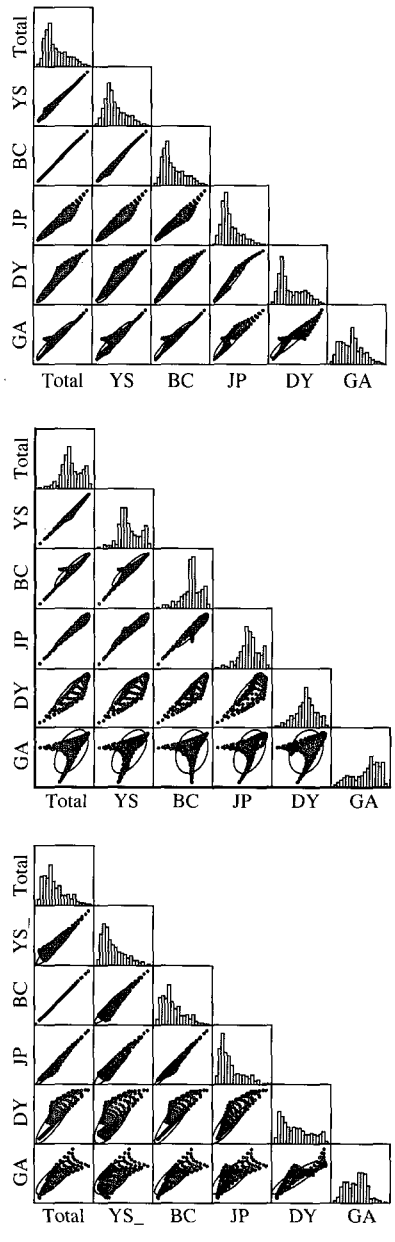

Fig. 7. Correlation coefficients and correlogram in the grid_27, 36.

각각 다른 농도구간을 가지는 것으로 나타났다.

격자 27, 36내에 위치하는 측정소들 중에서 도로변 측정소인 OC를 제외한 지역대기오염측정소인 BC, YS, JP, GA 그리고 DY 등 대기오염측정소(5개소)에 대해서 2004년도 연평균 SO_2, NO_2 그리고 O_3 농도자료를 사용하여 크리깅 기법으로 오염물질의 공간적 분포를 추정하였으며 상관분석 결과 및 상관도를 그림 7에 나타내었다.

격자 27, 36내에서 전체 측정소를 포함할 경우 추정된 SO_2에 대한 상관분석 결과는 그림 7(a)와 같다.

SO_2의 상관계수는 0.95~1.00 범위를 나타냈으며 전체 측정소에 대해 BC측정소를 제외한 경우의 SO_2의 공간상관계수는 1.00으로 BC측정소가 없는 경우에도 SO_2의 공간적 변동을 거의 동일하게 추정할 수 있음을 보였다. 또한, YS측정소를 제외하였을 경우도 상관계수 0.99로 격자 27, 36내에서 전체 측정소를 고려하여 농도를 추정했을 때와 높은 상관성을 보여 BC, YS측정소는 격자 27, 36내에서 SO_2측정에 따른 공간 해상도를 고려할 경우 축소 가능성이 가장 높은 측정소로 판단되며 다른 측정소들도 전체 측정소를 고려한 결과와 비교해 볼 때 상관계수가 0.8 이상으로 격자 27, 36내에서 SO_2 측정을 위한 지점을 줄여도 가능할 것으로 판단된다.

격자 27, 36내에서 전체 측정소를 포함할 경우 추정된 NO_2에 대한 상관분석 결과는 그림 7(b)와 같다. NO_2의 상관계수는 0.52~1.00 범위를 나타냈으며 YS를 제외한 경우의 공간상관계수가 전체 측정소를 고려한 것과 0.99로 가장 높게 나타났다. SO_2와는 달리 NO_2의 상관성은 상대적으로 낮게 나타났으며 GA측정소를 제외한 경우 0.52, DY측정소를 제외한 경우 0.85로 SO_2와 비교시 낮은 계수를 보여 오염물질별 공간적 상관성이 다르며 상관계수가 낮은 측정소는 오염수준에 따라 측정항목의 유지여부를 판단할 필요가 있음을 시사한다.

마지막으로 그림 7(c)의 O_3 경우는 상관계수가 0.81~1.00의 범위를 가지고 SO_2와 유사하게 BC측정소를 제외하였을 경우에 전체 측정소에 대해 상관계수가 1.00으로 가장 높은 값을 보였으나 DY, GA 측정소는 상대적으로 다소 낮은 상관계수를 나타내 격자 27, 36내에서 오존의 상관성분석 결과는 NO_2와 유사한 경향을 보였다. 격자 27, 36내에서 오염물질별 측정소의 상관성분석 결과를 종합해보면, SO_2, O_3은 BC측정소를 제외할 경우에도 공간적 변동에 크게 영향을 주지 않았으며 NO_2는 YS측정소를 제외하였을 경우가 공간적 변동에 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 따라서 부산지역에서 대기오염측정소의 밀도가 상대적으로 높은 격자 27, 36내에서 BC, YS측정소는 측정항목의 축소조정이 가장 필요한 지점으로 판단되며 이들 측정소의 이전 또는 재배치가 요구된다.

4. 3. 3 군집분석 (cluster analysis)

군집분석 (cluster analysis)은 자연과학 등 다양한 분야에서 응용되고 있는 다변량 통계분석방법으로 n개의 개체를 대상으로 p개의 변수가 측정되었을 때, 측정한 p개의 변수들을 이용하여 n개의 개체들 사이의 유사성/비유사성의 정도를 측정하여 개체들을 가까운 순서대로 군집화하는 방법이다. 이 군집분석은 주어진 자료의 내용, 구조 등에 대한 사전 정보가 없어도 의미있는 자료구조를 획득할 수 있어 구조가 복잡하고 변수가 많은 대용량의 자료를 분석하기 위한 좋은 방법이다. Anh *et al.* (1996)은 최적 측정망 설치와 관련하여, 시드니 대기오염 농도장이 副영역을 형성하도록 측정소들을 그룹화하는데 군집분석을 이용했으며 또한, Yu and Chang (2001)도 두 가지 대기오염물질 농도 자료에 대해 Euclidean 거리와 Ward 연결을 적용하여 臺灣내 대기질 농도장을 구분하여, 5개의 副영역으로 나타내었다. 앞에서 고찰한 격자 27, 36내 오염물질별 측정소간의 상관성 분석은 기존에 운영되는 전체 측정소에 대한 일부 측정소를 제외한 경우의 공간상관성에 따른 중첩성을 파악하

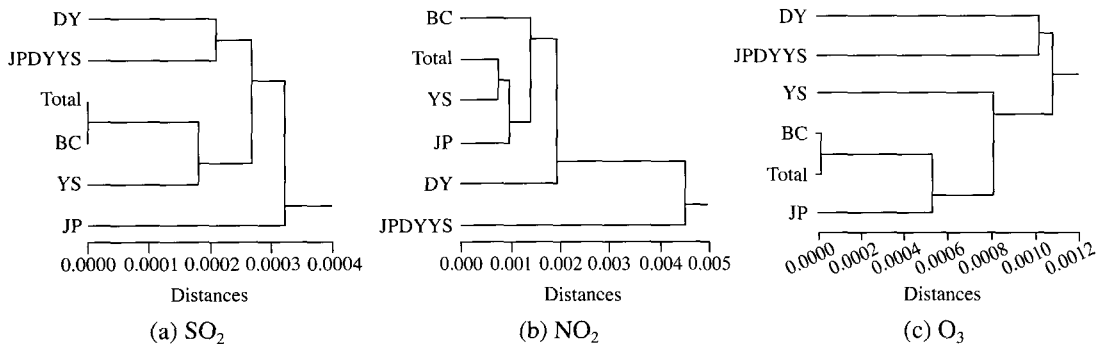

Fig. 8. The results of cluster analysis for air quality monitoring station.

여 항목별 측정소의 밀도를 조정할 필요가 있음을 보였다. 격자 27, 36내 오염물질별 측정소의 중첩에 따른 축소운영을 위한 검토방법으로 본 연구에서는 측정소 밀도가 가장 높은 격자 27, 36내 오염물질별 측정소에 대해 유사성을 판별하기 위해 군집분석(Euclidean distance, Centroid linkage method)을 실시하였으며 오염물질별 군집분석한 결과는 그림 8과 같다.

근접한 위치에 있는 측정소의 중복성을 평가하기 위한 방법으로 군집분석한 결과를 오염물질별로 살펴보면, SO_2는 전체 측정소를 운영할 때와 BC 측정소를 제외하였을 경우가 가장 유사한 것으로 나타났으며 그 다음으로는 YS측정소를 제외한 경우가 유사한 것으로 나타났다. 이는 상관성분석 결과와 일치하여 격자 27, 36내 SO_2를 측정함에 있어 축소 조정을 할 경우 BC측정소를 우선적으로 그 다음은 YS측정소를 제외한 대기오염측정망의 축소 운영도 가능함을 시사한다.

NO_2에 대한 군집분석 결과는 YS측정소를 제외한 경우가 전체 측정소를 운영할 때와 가장 유사도가 높으며 그 다음으로는 JP측정소를 제외한 경우로 나타났다.

오존에 대한 측정소별 군집분석 결과를 살펴보면, SO_2와 유사하게 격자 27, 36내에서 전체 측정소와 BC측정소를 제외한 것이 가장 유사한 결과를 보였으며 그 다음으로는 JP측정소를 제외하였을 때가 유사성이 높은 것으로 나타났다.

따라서 격자 27, 36내에서의 상관성분석과 군집분석을 통한 결과를 종합적으로 고찰해 보면, 격자 27, 36내에서 오염물질별 측정소의 공간적 상관성이 다르지만 측정소의 상관계수가 높아 중복 가능성이 높게 나타났으며 중복되는 측정소에서는 측정항목을 축소 조정하여 운영함으로서 효율적일 것으로 판단된다.

5. 결 론

시간경과에 따른 부산지역의 인구 및 배출원, 토지이용 등의 환경적 요인에 대한 공간적인 변동을 파악하기 위해 부산지역을 격자화(5×5 km)하여 1995년, 2004년 인구, 토지이용 등 통계자료를 각 격자에 배분하였다. 또한, 대기오염자동측정소에서 관측된 연평균 SO_2, NO_2 그리고 O_3 농도자료를 이용하여 크리깅 기법으로 측정소가 없는 지역의 오염농도를 추정하고 대기오염의 공간적 변동을 파악하여 기존 측정소의 중복성 및 축소운영을 검토하기 위해 반분산도, 상관성 및 군집분석을 통해 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 부산지역에서 10년의 시간경과에 따라 인구는 8개 지역에서 증가하였으며 배출원은 산업단지의 조성 등으로 공간적으로 많은 변화를 보였다. 인구 등을 고려하여 측정소의 설치기준에 따라 인구수가 10만명 이상인 지역(3개)과 인구수가 10만명 미만이지만 인구가 증가하고 있는 지역(5개)은 대기오염측정소의 설치가 필요하거나 검토되어야 할 곳으로 나타났다.

둘째, 부산지역에서의 시간경과에 따른 SO_2, NO_2 및 O_3의 공간적 변동을 파악하기 위해 半分散을 검토한 결과, SO_2는 1995년에 비해 2004년에 공간적 변동이 적고 단순해진 반면에 NO_2 및 O_3는 공간적 변동이 크고 복잡해 차이가 많음을 보였다. 따라서 과거의 연료의 연소 등으로 인한 대기오염문제보다 자동차 배출가스에서 기인되는 질소산화물, 오존 등의 공간적 변동은 커지고 복잡해지고 있어 오존 등 2차 대기오염 물질과 이에 대한 전구물질인 질소산화물, 휘발성유기화합물질 등의 대기오염물질을 상시 감시할 수 있도록 측정소의 공간적 해상도, 측정항목 등에 대해 보강을 할 필요가 있을 것으로 판단된다.

셋째, 대기오염측정소의 상대적인 밀도가 높은 지역에 대한 상관성분석 및 군집분석 결과, 오염물질별로는 SO_2, O_3은 BC측정소를 제외할 경우에도 공간적 변동에 큰 영향이 없으며 NO_2는 YS측정소를 제외하였을 경우가 공간적 변동에 큰 영향이 없는 것으로 나타나 격자 27, 36내에서 BC, YS측정소는 측정항목의 축소조정이 가장 필요한 지점으로 판단되며 이들 측정소의 이전 또는 재배치가 필요한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

건설교통부 · 부산광역시 · 경상남도 (2005) 2020년 부산권 광역도시계획.

부산광역시 홈페이지 통계자료실 (2005) 부산광역시 통계연보, www.busan.go.kr

정장표(2000) 환경오염물질의 시 · 공간적 특성 평가시스템 개발, 2000년도 산 · 학 · 연 컨소시엄 연구개발보고서, 경성대학교 산 · 학 · 연 컴소시엄센터.

환경부(2005) 대기오염측정망 기본계획(2006-2010).

환경부 · 국립환경연구원(2004) 대기환경연보.

Anh, V., M. Azzi, H. Duc, and G. Johnson (1996) Classification of air quality monitoring stations in the Sydney region, Proceeding of the asia-pacific confernece on sustainable energy and environmental technology, 264-271.

Duc, H., I. Shannon, and M. Azzi (2001) Spatial distribution characteristics of some air pollutants in Sydney, *Mathematics and Computers in Simulation* 54, 1-21.

Larsen, R.I., C.E. Zimmer, D.A. Lynn, and K.G. Blemel (1967) Analyzing air pollutant concentration and dosage data, J. APCA, 17(2), 85-93.

Matheron, G. (1963) Principles of geostatistics. Economic-geology 58, 1246-1266.

Sales, J.D., R.A. Smith, G.Q. Tabios III, and J.H. Heo (1994) Statistical Computer Techniques in Water Resources and Environmental Engineering, chaper 13.

Şen, Z. (1995) Regional air pollution assessment by cumulative semivariogram technique Atmos. Environ. 29, 543-548.

Şen, Z. (1989) Cumulative semivariogram models of regionalized variables, Mathematical Geology, 21(8), 891-903.

Yu, T.Y. and L.F.W. Chang (2001) Delineation of air-quality basins utilizing multivariate statistical methods in Taiwan, Atmospheric Environment, 35, 3155-3166.