

부산지역 오존 및 이산화질소 농도의 공간분포해석에 따른 대기오염측정망 배치연구

A Study on Allocation of Air Pollution Monitoring Network by Spatial Distribution Analysis of Ozone and Nitrogen Dioxide Concentrations in Busan

유 은 철* · 박 옥 현¹⁾
부산광역시보건환경연구원, ¹⁾부산대학교 환경공학과
(2003년 2월 5일 접수, 2004년 9월 23일 채택)

Eun-Chul Yoo* and Ok-Hyun Park¹⁾
Busan Metropolitan City institute of Health & Environments
¹⁾*Department of Environmental Engineering, Busan National University*
(Received 5 February 2003, accepted 23 September 2004)

Abstract

In this study, methodologies for the rational organization of air pollution monitoring network were examined by understanding the characteristics of temporal and spatial distribution of secondary air pollution, whose significance would increase hereafter. The data on O₃ and NO₂ concentrations during high ozone period in 1998 ~ 1999 recorded at the nine air pollution monitoring station in Busan were analysed using principal component analysis (PCA) and cumulative semivariogram. It was found that the ozone concentration was deeply associated with the daily emission characteristics of the O₃ precursors, and nitrogen dioxide concentration largely depends on the emission strength of regional sources.

According to the spatial distribution analysis of ozone and nitrogen dioxide in Busan using cumulative semivariograms, the number of monitoring stations for the secondary air pollution can be reduced in east-west direction, but reinforced in north-south direction to explain the spacial variability.

More scientific and rational relocation of air pollution monitoring network in Busan would be needed to investigate pollution status accurately and to plan and implement the pollution reduction policies effectively.

Key words : Secondary air pollution, Principal component analysis, Correlation field, Cumulative semivariogram, Spacial distribution

1. 서 론

* Corresponding author
Tel : +82-(0)51-757-6937, E-mail : yooagfe@metro.busan.ac.kr

과거 우리 나라의 대도시 지역에서는 석유·석탄

과 같은 화석연료를 연소하는 과정에서 생성되어 방출된 SO₂, CO 등 1차 오염물질에 의해 대기가 주로 오염되었으나 이들 오염물질을 저감시키기 위해 저황유 사용 확대, 고체연료의 사용금지, 청정연료의 사용 의무화 등 연료의 규제제도와 배출허용기준 적용 등 대기질 보전정책을 지속적으로 추진한 결과, 아황산가스 등은 환경기준을 달성하는 정책효과가 드러나고 있다.

그러나 자동차 보급의 증가와 화학산업의 고도화에 따른 각종 화학물질의 사용증가로 오염 물질 배출량이 증가되었고 대기오염 양상은 광화학 스모그, 미세먼지, 그리고 휘발성유기화합물(VOCs) 등 유해 대기오염물질이 큰 비중을 차지하는 선진국형으로 빠르게 변하고 있다.

이런 상황에서 국민생활수준이 향상됨에 따라 환경질에 대한 요구수준이 상승함으로 인해 공단지역에서 악취 등에 대한 주민진정사태가 증가하고 대도시 지역 오존주의보 발령빈도가 증가하는 등의 현상이 나타남으로서 국민의 체감오염도는 점차 악화되고 있다.

따라서 향후 대도시 지역에서 보다 효과적인 대기오염 저감정책의 수립 및 시행을 위해 과학적이고 합리적인 대기오염측정망의 구축으로 정확한 대기오염의 실태 파악 및 측정자료의 효과적 활용이 요구되나 이들 지역대기측정소는 현재까지 토지용도 및 측정소 설치의 편리성 등을 고려하여 그 위치가 결정되어 왔다. 일반적으로 2차 대기오염물질 측정망은 행정구역경계 뿐만 아니라 기상과 지리적인 조건을 고려하여 결정되어야 한다. 이는 기상, 지형, 배출원 위치 및 토지용도의 차이가 2차 대기오염물질의 생성과 축적에 중요하기 때문이다(Yu and Chang, 2001). 효과적이고 경제적인 대기오염측정소의 설치 및 운영, 대기오염의 관리 및 개선방안의 수립, 특히 대기오염 에피소드에 대한 효과적인 대처방안의 강구를 위해서 대기오염측정망을 측정목적에 따라 재구성할 필요가 있다.

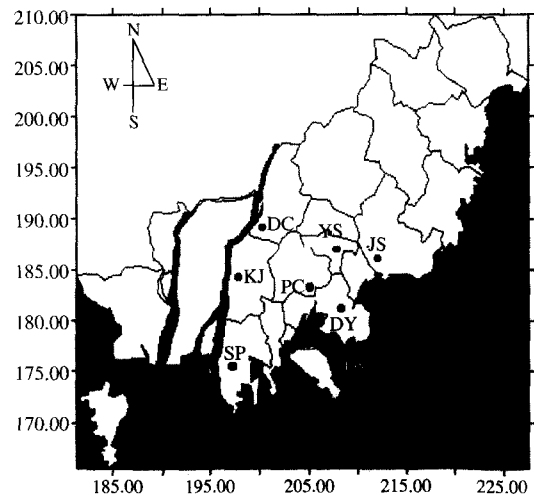
본 연구에서는 부산지역 대기오염측정소 위치를 추가 선정하기에 앞서 과거에 측정된 대기 오염 농도 및 기상자료를 이용하여 공간적 오염분포특성을 파악해서 합리적인 대기오염측정망을 구성하는 방법을 검토하는데 목표를 두었다.

2. 연구지역

부산은 한반도의 동남단(북위 34° 52' 50" ~ 35° 23' 36", 동경 128° 45' 54" ~ 129° 18' 13")에 위치한 항구도시이며 면적은 759.87 km², 인구 밀도는 5,017명/km², 동서간의 거리는 51 km, 남북간의 거리는 48 km이다.

도시에 산지가 많고 제곡의 폭이 종축위치에 따라 변화하는 복잡한 지형으로 대기오염물질이 순환 혹은 체류하기도 하며 수렴 혹은 분산하기도 한다. 그 결과 대기오염도가 국지적으로 높아질 수 있다. 부산 지역에서는 1998년에서 1999년까지 그림 1과 같이 산재한 9개의 대기오염 측정소에서 연속적으로 측정된 SO₂, NO₂, O₃, CO, PM-10 등 1시간 평균농도 자료들 중에서 O₃과 NO₂ 오염농도자료를 이용하여 분석하였다.

각 측정소들에 대한 입지적 특성을 살펴보면, KJ, SP 측정소는 사업장이 밀집되어 있는 공단지역에서 배출되는 오염물질을 상시감시하기 위해 공업지역에 설치한 측정소로서 낙동강 하류지역에 위치하고 있다. KB, PC는 부산지역의 중심상업지역에 위치하여 사무실, 상가 그리고 자동차 등에서 배출되는 오염물



Industrial site (KJ, SP), Commercial site (KB, PC), Residential site (DC, YS, JS, DY), Green-belt site (DS)

Fig. 1. Locations of air quality monitoring stations and administrative boundaries in Busan.

질을 감시하기 위한 상업지역의 측정소로서 KB는 해안가 지역, PC는 도심에 위치하고 있다. 그리고 DC, YS, JS, DY는 주거지역에 설치하여 운영중인 측정소이며 DS는 부산지역의 녹지지역에 설치되어 배경농도를 측정할 목적으로 운영중인 측정소이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 일간 최대 1시간평균 오존농도 자료의 주 성분분석

주성분분석(Principal Component Analysis)이란 다변량 통계해석의 여러 가지 방법 중에서도 기본적인 방법으로서, 상호간에 관련성을 갖는 다차원의 자료를 거기에 포함된 정보의 손실을 가능한 한 적게 하

면서 서로 무관한 소수개의 주성분으로 요약하여 설명하는 방법으로 기상관측자료의 공간적 패턴을 조사하기 위해서 사용된 예도 있고(Flocchini, 1981), 대기오염과 기상자료에 기초한 대기오염 예측에도 적용되어 왔다(Statheropoulos, 1998).

본 연구에서는 고농도 오존 발생기간(5월~10월)을 전기간, 평일, 공휴일(토·일요일 포함)로 구분하여 일 최대 1시간평균 O₃농도에 대해 Vairmax 회전 방법으로 주성분을 각각 분석하였으며 그 결과를 표 1에 요약하였다.

전체기간에 대해 오존농도자료의 주성분 분석 결과, 부산지역 오존농도 총분산의 86% 이상을 설명하는 4개의 주성분들로 분류되었으며 4개의 회전된 주성분 PC1 (KJ, SP, PC, YS) PC2 (KB, DC), PC3 (DS), PC4 (DY, JS)가 설명하는 분산은 각각 63.7%, 9.6%,

Table 1. Principal component analysis of daily maximum 1 hour ozone concentration.

Principal component	Original eigenvalue			Rotated eigenvalue		
	Eigenvalue	Variance explained %	Cumulative variance %	Eigenvalue	Variance explained %	Cumulative variance %
all day						
1	5.733	63.7	63.7	2.169	24.1	24.1
2	0.869	9.6	73.3	1.980	22.0	46.1
3	0.586	6.3	79.9	1.800	20.0	66.1
4	0.556	6.1	86.0	1.793	19.9	86.0
weekday						
1	5.836	64.8	64.8	2.083	23.1	23.1
2	0.893	10.0	74.8	2.067	23.0	46.1
3	0.621	6.9	81.7	2.064	22.9	69.0
4	0.543	6.0	87.7	1.078	18.6	87.7
day-off						
1	5.571	61.9	61.9	2.534	28.2	28.2
2	0.883	9.8	71.7	2.121	23.6	51.7
3	0.719	8.0	79.7	1.673	18.6	70.3
4	0.503	5.6	85.3	1.348	15.0	85.3

Principle component loadings by varimax rotated

Stations	Component			
	1	2	3	4
KJ*	.663	.475	.278	.370
KB**	.115	.689	.545	.230
DY***	.292	.475	.483	.545
DC***	.380	.857	.007	.167
DS****	.362	.145	.873	.006
PC**	.534	.328	.449	.431
SP*	.882	.200	.261	.008
YS***	.526	.359	.391	.440
JS***	.129	.146	.005	.942

* Industrial site; ** Commercial site; *** Residential site; **** Green-belt site

Table 2. Principal component analysis of daily mean nitrogen dioxide concentration.

Principal component	Original eigenvalue			Rotated eigenvalue		
	Eigenvalue	Explained variance %	Cumulative %	Eigenvalue	Explained variance %	Cumulative %
all day						
1	4.682	52.025	52.0	2.504	27.8	27.8
2	1.532	17.020	69.0	2.000	22.2	50.0
3	0.660	7.334	76.4	1.912	21.2	71.3
4	0.610	6.775	83.2	1.068	11.9	83.2
weekday						
1	4.538	50.419	50.4	2.572	28.6	28.6
2	1.634	18.150	68.6	1.852	20.6	49.1
3	0.695	7.728	76.3	1.838	20.4	69.6
4	0.603	6.705	83.0	1.209	13.4	83.0
day-off						
1	5.294	58.822	58.8	2.590	28.8	28.8
2	1.355	15.055	73.9	2.415	23.8	52.6
3	0.799	8.876	82.8	2.013	22.4	75.0
4	0.530	5.885	88.6	1.229	13.7	88.6

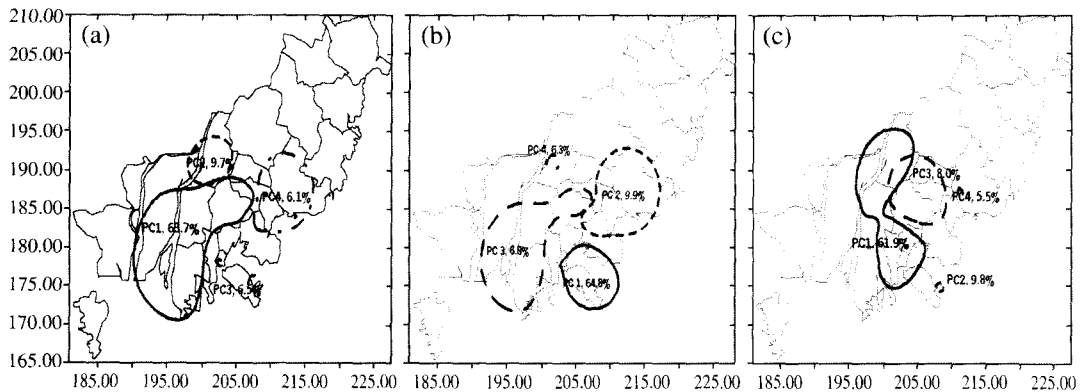


Fig. 2. Principal component loadings for daily maximum 1 hr ozone concentration data : (a) all day; (b) weekday; (c) day-off.

6.3%, 6.1%이었으며 이들 회전된 주성분은 지역적 배출특성에 따라 분류되어지는 경향을 보였다. 그림 1과 표 1의 주성분 부하량에서 보면 PC1은 사업장이 밀집한 공업지역(KJ, SP)과 차량의 통행량이 많은 내륙 도심의 상업 및 주거지역에 위치하는 지점(PC, YS)들을 포함하며 PC2는 중심상업지역으로 상가 및 일반 사무실이 밀집된 해안지역(KB)과 강변의 주거지역(DC)에 인접한 지점들을 포함하는 것으로 나타났다. 또한, PC3은 오염물질 배출원이 거의 없는 해안가 녹지지역(DS)으로 나타났으며 PC4는 간선도로에 인접한 주거지역(DY, JS)에 위치한 지점

들로 구분되었다.

고농도 오존 발생시간을 전체기간, 평일, 공휴일(토·일요일 포함)로 구분하고 오존, 이산화 질소 농도자료에 대한 각 성분부하량을 Kriging방법을 이용해서 등치선으로 그림 2와 3에 각각 나타내었다. 고농도 오존이 발생하는 전기간 및 평일의 오존농도자료에 대한 성분 부하량의 등치선 분포 그림 2의 (a) 전기간, (b) 평일은 유사한 패턴을 보이지만 (c) 공휴일은 앞의 경우와 다른 패턴을 보인다. 이는 일간 최대 1시간 오존농도 자료에 대한 주성분 분석결과, 요일별공단지역의 사업장 가동상태, 시 외곽지역의 교

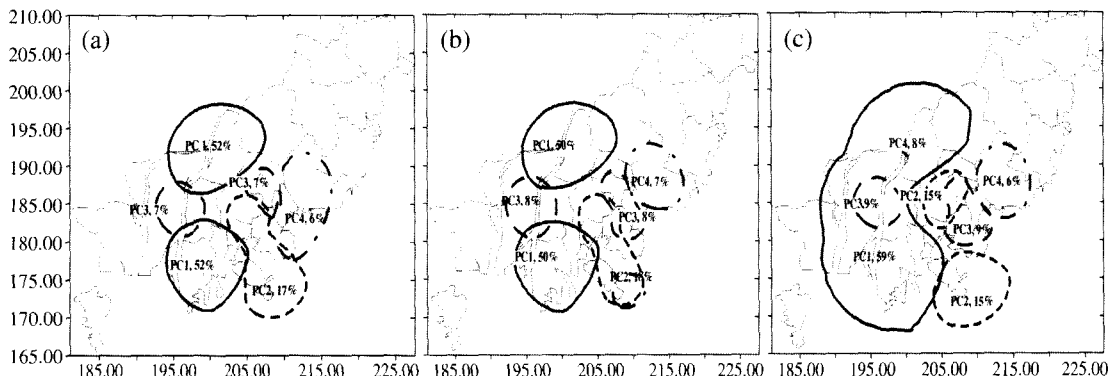


Fig. 3. Principal component loadings for daily mean nitrogen dioxide concentration data : (a) all day; (b) weekday; (c) day-off.

통량 증가 등 지역특성에 따른 오존 기인물질의 배출특성이 변동됨에 따라 2차 대기오염물질인 오존농도의 공간적 분포특성이 달라짐을 보여준다.

또한, 일평균 이산화질소 농도자료에 대해서도 위와 같은 방법을 써서 주성분 분석을 수행한 결과를 표 2에 나타내었으며, 일평균 이산화질소농도 총분산의 83.2%가 4개의 주성분들로 설명될 수 있음을 확인하였고 주성분들의 부하량 등치선을 그림 3에 나타내었다.

이산화질소 농도자료에 대해 주성분 분석결과는 오존농도 자료에 대한 주성분분석 결과와는 달리 설명되어지는 분산의 크기에 있어 조금씩 차이가 있으나, 그림 3(b) 평일의 회전된 성분들은 그림 3(a) 전체 기간 농도자료와 거의 동일하게 분류되었으나 그림 3(c) 공휴일 주성분 부하의 공간분포와는 다르게 나타났다. 이는 부산지역에서 전체기간 및 평일에 이산화질소의 지역적 오염물질 배출강도가 공휴일과 크게 다르고 또한, 이산화질소가 2차 대기오염물질인 오존생성의 기인물질로서 작용함으로써 오존의 공간적 분포가 평일에 비해 공휴일에 달라질 수 있음을 보여준다.

3.2 지역별 오존농도 주성분 표준화점수의 시계열분석

대기오염물질의 농도와 회전 주성분사이의 관계를 나타내기 위해 시계열 분석방법이 여러 연구들에서 적용되어 왔으며 (Eder, 1993, 1989; Ashbaugh, 1984) 또한, 각 지역 농도장의 시간적 변화는 회전된 주성

분들의 표준화 점수를 조사함으로써 평가될 수 있으며, 표준화 점수는 그 크기가 일 최대 오존농도와 회전성분들의 부하량에 의존하는 가중 합이다.

$$P_{jk} = \frac{R_{jk}}{\sqrt{\lambda_j}}$$

여기서, P_{jk} 는 j 번째 회전 주성분에 대한 k 번째 변수의 표준화 점수이고, R_{jk} 는 j 번째 회전 주성분에 대한 k 번째 변수의 성분점수이며, λ_j 는 j 번째 회전 주성분의 고유치 또는 분산을 의미한다.

모든 회전성분 점수는 점수가 표준화되었기 때문에 0의 평균과 ± 1 의 표준편차를 가지며 각 지역에 대한 표준화 점수를 시계열로 도시하였을 때 나타나는 양과 음의 점수는 각각 오존의 평균농도보다 높거나 낮은 값들에 대응하는 것이다.

1998년에서 1999년까지 고농도 오존 발생기간(5~10월)중 지역별 일간 최대 1시간평균 오존농도에 대한 주성분 표준화점수의 시계열을 검토하였으며 이는 각 지역에서 일별 오존농도의 시간적 분산을 의미한다 (Yu and Chang, 2001).

그림 4는 주성분분석에 의해 분류된 4개의 지역들에 대한 오존농도의 주성분점수 월별 변화 특성을 파악하기 위해서 표준화된 주성분점수를 이동평균하여 시계열로 나타내었다. 시계열에서 보듯이 5월에는 PC2 지역만이 음(-)의 주성분점수를 가지는 반면에, 나머지 세 개의 지역들은 양(+)의 점수를 나타내었으며 장마기간인 6월 중순부터 7월까지의 4개 지역들은 모두 음(-)의 표준화 성분점수를 가졌다.

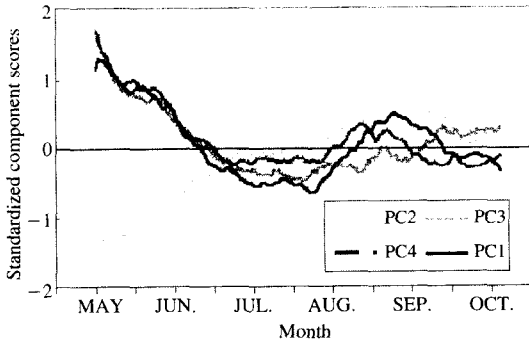


Fig. 4. Time series of the 30days moving average of principal component scores for various ozone subregions.

5월에서 7월까지 PC2 지역을 제외한 나머지 지역들에서는 30일 이동평균 주성분 점수가 감소하다가 8월에 증가하다가 9월중순경 다시 감소하는 추세를 보였다. 5~7월의 감소추세는 주로 강수량 증가에 따른 대기중 오존생성 기인물질의 감소가 크게 기인하고 9월 감소추세는 일사량 감소 및 기온강하 등 오존생성과 밀접한 기상조건에 크게 기인되는 것으로 보인다. 따라서 각 지역의 일일 표준화된 주성분 점수에 대한 시계열 분포를 통해 지역별 최고 오존농도가 관측되는 에피소드 기간을 선정함으로써 지역별 고농도 오존발생에 따른 효율적인 오존경보체계 운영과 고농도 오존발생을 정확하게 예측할 수 있는 예보모델개발을 위한 최적의 모의기간을 결정할 수 있다. 본 연구에서는 모든 지역에서 오존농도 표준화된 주성분점수의 시계열 추세가 증가하는 8~9월 사이의 기간이 고농도 오존발생 가능성이 높은 시기로 나타났다.

3. 3 累積 半分散圖(Cumulative Semivariogram, CSV) 해석

많은 연구자들이 대기오염물질의 공간변동에 대한 연구를 위해 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 등(1967)에 의하면 가스

상 오염물질 농도자료는 평균화시간에 관계없이 모든 도시들에서 거의 대수정규분포를 나타내고 또한, 공간적인 오염농도 자료사이의 변동정도를 정량화하기 위해 분산값을 사용하는 기법은 샘플링 위치와 관련한 그 변동성을 직접 설명하는 데는 도움이 되지 않는데 (Sen, 1989) 이는 데이터의 비정규적 분포, 그리고 샘플링 위치 불규칙성에 기인한다.

고전적 통계의 중심극한정리 (central limit theorem)는 변수의 개수(n)가 무한대로 접근하면 랜덤 변수의 기초를 이루는 확률분포함수가 무엇이든지 간에 그 연속적 합계 혹은 평균치는 정규분포에 접근한다는 것을 기술하였으며, 누적반분산도(CSV)는 어떠한 분포함수에 대해서도 강력하고 확실한 공간적 분포 해석방법으로 누적반분산도(CSV)를 구하는 절차는 다음과 같다.

- (1) 측정소들간 가능한 모든 한 쌍의 거리를 계산한다. h_i
- (2) 모든 측정소간 거리에 상응하는 오염물질 농도차이의 반제곱을 구한다. 만약, 두 지점에서 오염물질의 농도가 $C_1(h_i), C_2(h_i)$ 라면 그 때 차이의 반제곱 $d(h_i) = 0.5[C_1(h_i) - C_2(h_i)]^2$ 이다.
- (3) 측정소간 가장 작은 거리부터 시작하여 가장 큰 거리까지 농도차이의 누적 반제곱을 한다.
- (4) 위에서 구한 거리와 CSV 값을 도시한다.

그림 5는 위의 CSV 절차에 따라 9개 측정소의 년평균 O_3 및 NO_2 농도자료를 이용하여 전체, 그리고 동서, 남북방향별 측정소간의 거리에 대한 오염농도의 累積半分散값을 구하고 그 결과를 도시한 것이다. 횡축은 부산지역에서 설치운영중인 대기오염측정소간 거리를 최대거리 ($R_M = 20$ km)로 나누고, 종축은 측정소간 거리에 상응하는 오염농도의 누적반분산값에 대해 최종 누적반분산값 (V_M)으로 나눈 무차원값으로 종축의 무차원 누적반분산은 측정소간 무차원 거리에 대한 오염물질 농도의 반분산 가중치와 같다.

그림 5(a)는 O_3, NO_2 의 누적반분산도를 방향구분 없이 누적반분산을 계산하여 도시한 것으로 무차원 거리 0.2부근에서 누적 반분산값 변화가 거의 0(零) 부근으로 이는 측정소간 무차원거리가 0.2 정도 거리에서는 O_3, NO_2 의 평균농도가 공간적으로 거의 균일한분포를 나타냄을 의미한다. 또한, 무차원거리 0.4~0.6사이에서 평행한 구간은 실제 측정소간 거리가

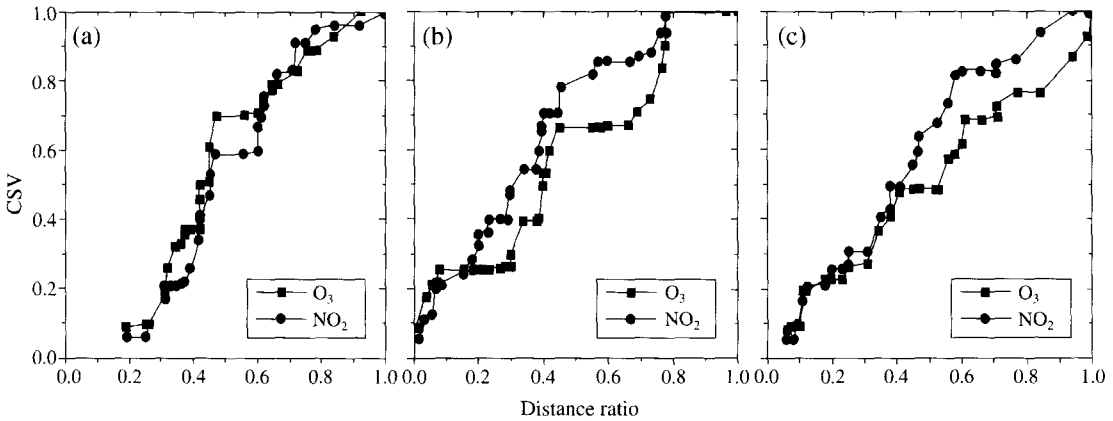


Fig. 5. Cumulative semivariogram for direction : (a) overall; (b) EW; (c) NS.

8~12km 정도 떨어져 있지만 유사한 오염물질의 배출특성과 농도수준을 보여 측정소 축소운영이 가능함을 의미한다. 누적반분산도의 무차원거리에 따른 증가부분은 농도분포가 거리에 따른 농도의 독립성이 크음을 의미하므로 지역을 대표하는 오염도를 상시 감시하기 위해서는 측정소간 적절한 거리를 두어 배치할 필요가 있음을 시사한다.

그림 5(b), (c)는 부산지역에서 방향별 O₃, NO₂의 공간적 변동에 대해 살펴보기 위해 CSV를 나타내었으며, 그림 5(b)는 동서방향으로 이산화질소는 거리가 증가함에 따라 누적반분산값의 변동이 증가하나, 오존은 일부 구간에서는 거리가 증가함에도 불구하고 누적반분산값의 변동이 없어 이들 구간에서는 측정소간 거리의 증가에 따른 오염물질의 농도변동이 적음을 의미하고 이들 해당 지역에서는 오존측정을 축소 가능함을 시사한다. 그리고 수평축 무차원거리 0(零)에서 수직축 절편값을 가지는데 이는 부산지역의 남북방향으로 형성된 복잡한 산악지형에 의해 대기오염물질의 수송, 확산이 방해 받음으로서 기인되는 불연속성을 의미하는 것으로 보인다.

그림 5(c)에서는 남북방향으로 O₃, NO₂가 측정소간 무차원거리 증가함에 따라 누적반분산값이 동서방향보다 더 직선적으로 증가하는 추세를 보였다. 이는 남북방향으로 오염물질 농도분포가 동서방향보다 연속성이 있으며 무차원거리 0.4 이상에서는 오존보다 이산화질소의 농도변동이 더 증가함을 보여준다.

따라서 부산지역에서 2차 대기오염물질의 대표적

인 공간적 분포를 파악하기 위해 측정소 추가 설치 시 동서방향으로는 일부 구간에서 오존은 공간적 해상도를 줄일 수 있으며 이산화질소는 동서, 남북방향으로 공간적 해상도를 다소 높여야 할 것으로 보인다.

3. 4 상관장(Correlation field) 해석

어떤 공간에서의 관측치를 내삽하기 위한 통계기법인 Kriging method를 써서 참조위치에 대해 등상관계수 곡선도(iso-correlation field)를 작성하면 해당 지역에 대한 오염물질의 보전상 영향평가에 있어 제한된 측정소들에서 측정된 자료가 얼마나 주변지역을 대표하는가를 판단하거나 측정된 농도자료를 이용하여 특정 위치에 대한 결측농도를 통계학적으로 추정 및 평가를 하는데 유용하다 (Hiep, 2001). 또한, 상관장은 오염물질의 일반적인 특성을 기준으로 副지역(sub-region)을 구성하기 위해 측정소를 집단화함에 있어 유용한 방법이며 측정망을 합리적으로 구성하거나 측정망의 최적밀도를 결정할 때에도 이용할 수 있다.

그림 6은 부산지역의 도심지역(PC 측정소)을 참조 지점으로 해서 오존과 이산화질소 농도자료를 이용하여 구한 상관장이다. 그림 6(a), (b)는 1998년부터 1999년까지 년평균 오존농도에 대한 상관계수가 도심지역을 중심으로 북서 및 남동방향으로 급격하게 변화하고 북동 및 남서방향으로는 다소 완만하게 변하는 경향을 보인다. 이는 부산지역에서 도심지역을

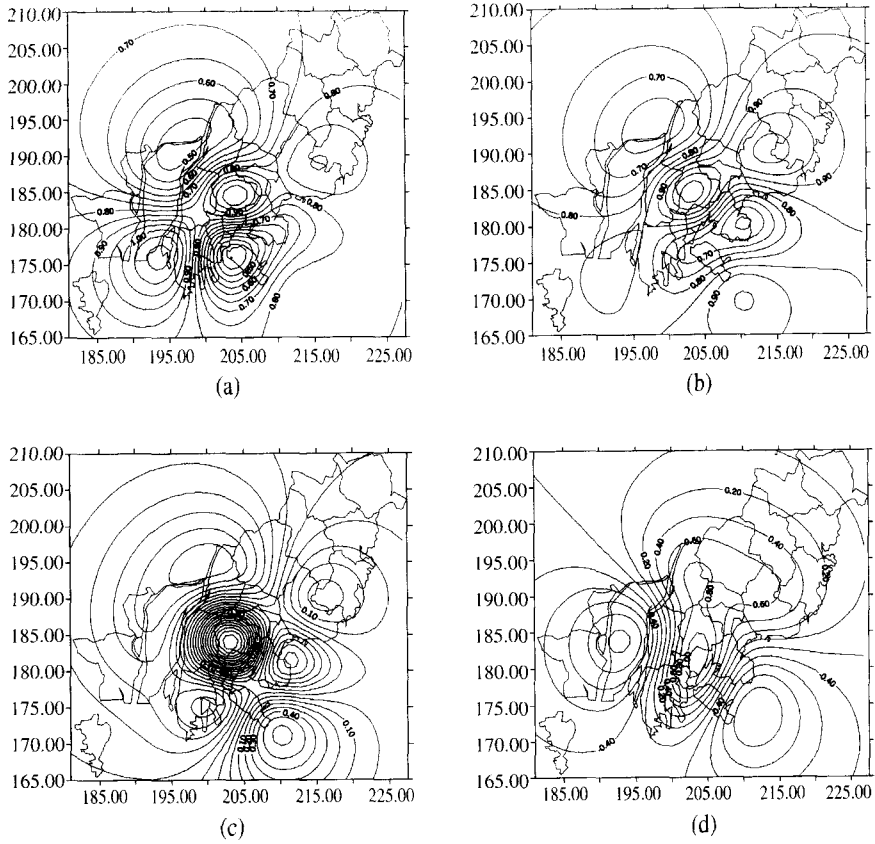


Fig. 6. Correlation coefficient isopleth maps for annual averages of ozone and nitrogen dioxide. : (a) '98 O₃; (b) '99 O₃; (c) '98 NO₂; (d) '99 NO₂.

중심으로 특히, 내륙쪽인 북서방향과 해안쪽인 남동 방향으로 오존농도의 공간적 변동이 큼을 보여준다.

그림 6(c), (d)는 1998년에서 1999년까지 2년간 NO₂ 년평균 농도에 대한 상관관계 그래프로서 상이한 패턴을 나타내고 있다. 1998년도 년평균 NO₂ 농도분포를 살펴보면, 도심지역을 중심으로 NO₂ 농도변화가 전체방향으로 급격하게 변화하는 경향을 보였고, 1999년도에는 도심지역을 중심으로 동서방향으로만 농도가 급변하는 경향을 보였다. 2차 대기오염물질의 상관관계는 전술한 방향별 누적반분산도의 변화패턴과 일치하는 경향을 보였다. 따라서 부산지역의 복잡한 지형 및 평균농도의 표준편차 등을 고려하여 측정항목 또는 측정소의 밀도를 적절하게 유지함으로써 효과적인 측정망의 운영이 가능할 것으로 판단된다.

4. 결 론

1998년부터 1999년까지 부산지역에서 9개 대기오염자동측정소들을 통해 측정된 O₃, NO₂ 등 2차 대기오염관련 오염물질의 농도자료를 이용하여 각 오염물질의 공간적 분포특성을 파악하기 위해 주성분 분석, 누적반분산도 그리고 상관관계 분석을 통해 고찰한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 고농도 오존발생기간중 오존, 이산화질소 농도자료에 대한 주성분 분석결과, 오존은 총분산도의 85.0% 이상을 설명하는 4개의 회전된 주성분들로 분류되었고 오존의 공간분포가 요일별(평일, 공휴일)로 상이하게 나타났으며, 이산화질소는 오존에 비해 회전된 주성분들에 의해 설명되어지는 분산도의 크기에 있어 다소 차이가 있으나 공간적 분포

는 오존과 마찬가지로 전체 기간과 평일이 공휴일과 다른 결과를 보였다. 오존의 공간적 분포는 요일별 공단지역의 사업장 가동상태, 시 외곽지역의 교통량 증가 등 지역특성에 따른 오존 기인물질의 배출특성과 밀접하고 이산화질소의 공간적 분포는 지역별 오염물질의 배출강도에 따라 좌우되며 2차 대기오염물질인 오존의 공간적 분포에 영향을 주는 것으로 나타났다.

2. 고농도 발생에 따른 효율적인 오존경보체계 운영과 고농도 오존을 정확하게 예측할 수 있는 예보체계를 개발하기 위해 일최대 1시간평균 오존농도에 대한 주성분 표준화 점수의 시계열 분석 결과, 지역별로 발생비율과 시기가 다르게 나타났다. 이는 각 지역에서 오존생성·농축 및 수송·확산과 관련된 기인물질의 배출, 지형 및 기상조건들이 종합적으로 반영된 것으로 부산에서 8~9월이 고농도 오존사건발생 잠재성이 높은 시기로 나타났다.
3. 부산지역 연평균 오존 및 NO₂ 농도자료에 대한 累積 半分散圖 및 상관장을 통해 공간적 농도변동을 살펴본 결과, 복잡한 지형의 부산지역에서 대표농도 파악과 효과적인 측정망 운영을 위해 적절한 측정소의 밀도와 측정항목 등에 대한 검토 및 보완을 통해 현재의 대기오염 측정망을 보다 과학적이고 합리적으로 재구성할 필요가 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

Ashbaugh, L.L., L.O. Myrup, and R.G. Flocchini (1984) A

Principal component analysis of sulfur concentrations in the western United States. *Atmos. Environ.* 18, 783-791.

Eder, B.K. (1989) A principal component analysis of SO₄²⁻ precipitation concentrations over the eastern United States. *Atmos. Environ.* 23, 2739-2750.

Eder, B.K., J.M. Davis, and P. Bloomfield (1993) A characterization of the spatiotemporal variability of non-urban ozone concentrations over the eastern United States. *Atmos. Environ.* 27A, 2645-2668.

Flocchini, R.G., T.A. Cahill, M.L. Pitchford, R.A. Eldred, P.J. Freaney, and L.L. Ashbaugh (1981) Characterization of particles in the arid west. *Atmos. Environ.* 15, 2017-2030.

Hiep D., Ian Shannon, Merched Azzi(2001) Spatial distribution characteristics of some air pollutants in Sydney, *Mathematics and Computers in Simulation* Vol. 54 , pp. 1-21.

Largen, 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.

Statheropoulos, M., N. Vassiliadis, and A. Pappa (1998) Principal component and canonical correlation analysis for examining air pollution and meteorological data. *Atmos. Environ.* 32, 1087-1095.

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; *Atmos. Environ.* 35, 3155-3166.