부산광역시 보건환경연구원보 제10권 106~124(2000)
Rep. Busan Inst. Health & Environ. Vol.10, 106~124(2000)

부산 인근지역의 광역적 대기오염에 관한 조사연구

환 경 조 사 과

류은철 · 이승민 · 안미정 · 김영태 · 이상훈

A Study for Air Pollution in Large Region on near the Busan

Environmental Research Division

Eun-Chul Yoo, Sung-Min Lee, Mi-Jeong An, Young-Tae Kim and Sang-Hun Lee

Abstract

Since 1970s, Air pollution in Busan and neighboring cities was deteriorated with increased the heavy chemical industries, deepening of urbanization and so on. Also with the rapid in industrialization, consumption of various chemicals and spread of automobiles has increased from 1980, the pattern of air pollutions are changing to an advanced countries have been experienced smog, harmful air pollutants. Due to character of air pollution – broadening on the many cities by transportation and dispersion, – affect an unspecified number of the general public, then effective air quality control measures demand fundamental data in order to establish effectively.

So, this study has been accomplished to monitoring SO_2, NOx, O_3 and weather condition (wind speed, wind direction, temperature, relative 1 humidity, barometric pressure, solar radiation etc) from 1999. Jul to 2000. Apr. on the borders of Busan and Onsan. In order to estimate maximum 1hr average SO_2 concentrations and receptor, we operate ISCST3.0 model for research periods. The results were as follows :

1. SO_2, NO_2 and O_3 concentrations are different from prevailing surface wind direction throughout the study area. When north-wind blow into Busan city, the concentrations of SO_2, NO_2 are higher than south-wind blew into Onsan.

2. As the results of ISCST model for each periods, maximum 1hr average SO_2 concentration in the Busan city were estimated 110~179ppb. Depend on the effect of meteorological factors and emission rate in the study area, ambient concentration of air pollution in Busan have affected by Onsan Complex.

Key words : ISCST, air quality monitoring, passive sampling, wind-rose

서 론

부산 및 인근지역의 대기오염은 1970년 이래 중화학공업의 육성, 도시화현상의 심화 등으로 가속화되기 시작하여 1980년 이후에는 자동차 보급의 증가와 산업의 고도화에 따른 각 화학물질의 사용증가로 오염이 심화되고 있으며 대기오염 양상도 과거 선진국에서 경험했던 스모그, 유해대기오염물질 발생 등의 패턴으로 빠르게 변하고 있으며 오염정도 역시, 지역적으로 특성을 보이고 있다. 1980년이래 정부가 추진해온 산업과 난방부문에서의 청정연료 대책에 힘입어 그동안 국내 대기질의 지표로 사용되었던 아황산가스와 먼지오염도는 전반적으로 점차 개선되는 추세에 있지만 지역(울산, 대구 등)에 따라서는 아황산가스의 경우 여전히 장기대기환경기준을 초과하고 있다.

국내 대기질 관리는 중앙정부가 중심이 되는 획일적인 정책 추진으로 지역적 오염특성을 제대로 반영하지 못하고 대기질 개선효과에 한계를 보여 왔다. 환경기준의 초과 또는 초과우려가 있는 지역을 대기환경규제지역으로 지정하여 시 도지사가 환경기준 달성 유지를 위한 실천계획을 수립 시행하도록 명시하고 있으나 대기오염의 광역적 특성으로 인하여 오염 영향권이 다수의 행정구역에 걸쳐 있을 경우, 불특정 다수에 피해를 주며 이에 대한 효과적인 대기환경 관리대책 수립을 위한 기초 자료의 확보가 시급한 실정이다. 따라서 본 조사연구는 부산 인접지역 중 대기보전 특별대책 지역인 온산공단을 중심으로부터 부산시 경계지역에 대해 대기질 및 기상요소 등 기초자료를 측정하여 대기오염 물질의 이동 및 확산에 의한 거동 규명 및 공간적 농도 분포 특성 등을 파악하여 효과적인 대기환경 관리대책 수립에 필요한 기초자료의 확보를 하고자 한다.

연구방법

1. 조사시기 및 방법

대기오염도의 계절적인 영향을 고려하여 1999년 7월, 10월, 2000년 1월, 4월 (1주일간,

Fig. 1. Sampling site.

4회)에 걸쳐 실시하였다.

측정지점은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 온산공단을 중심으로 15개 지점을 선정하여 동시에 여러 지역에서 시료 채취가 가능하고 시료채취 지점에 대한 제한성이 적으며 분석법 또한 간편하여 일반적으로 쉽게 이용할 수 있는 passive sampler를 이용하여 SO_2, NO_2, O_3을 측정하였으며, 부산 인근지역에서 배출된 대기오염물질의 이동 및 확산 등을 정확하게 조사하기 위해 부산과 울산의 경계지역에 대기환경측정차량을 설치하여 대기질 및 기상을 24시간 연속 측정하였으며 온산공업지역내의 대기질 측정결과는 낙동강환경 관리청에서 운영하는 대기오염자동측정소의 결과를 이용하였다.

2 분석방법

(1) passive sampler 구조

본 연구에 사용된 passive sampler(Ogawa & Co., USA, Inc.)는 2개의 chamber로 구성되어 있으며 각 chamber는 Fig. 2와 같이 pad와 cap으로 조립되어져 있다.

(2) 분석방법

① NO_2 분석방법

1일 1회 대기 중에 폭로된 passive sam-

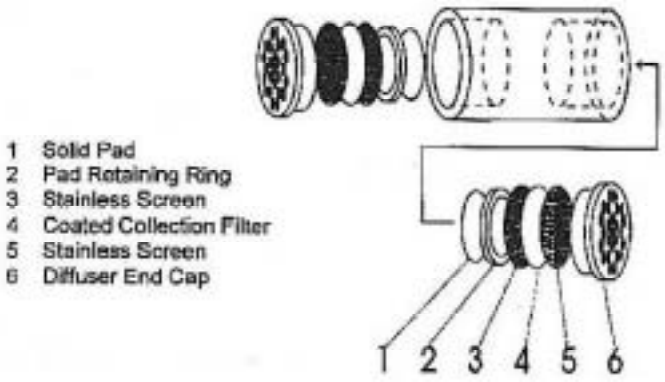


Fig. 2. Passive sampler.

pler에서 흡수여지를 꺼내어 8㎖의 증류수가 든 25㎖의 vial에 넣어 즉시 흔들어 냉암소에 보관하여 분석하였다. 흡수여지가 들어 있는 vial을 30분간 흔들어 추출된 용액에 Sulfanilamide Solution와 NEDA Solution을 10 : 1로 섞어 만든 발색액 2㎖을 가하여 즉시 흔들어 혼합시킨 후 20분간 실온에 방치 후 545nm에서 흡광도를 측정 후 환산계수를 이용하여 다음 식과 같이 NO_2의 농도를 구한다.

$$C : S \times 8 \times 1000 \times \alpha NO_2/t$$

C : NO_2 Concentration(ppb)
S : Solution Concentration(μg/㎖)
αNO_2 : Concentration Conversion Coefficient
t : Sampling Time(min)

② SO_2 분석방법

약 6일간 대기 중에 폭로된 passive sampler에서 흡수여지를 꺼내어 8㎖의 증류수가 든 25㎖의 vial에 넣어 즉시 흔들어 냉암소에 보관하여 분석하였다. 흡수여지가 들어 있는 vial에 추출용액 H_2O_2 1.75% 용액 0.2㎖을 넣어 10분간 천천히 흔들어 실온에 20분간 방치 후 추출된 용액을 이온 크로마토그래피의 일반적인 음이온 분석법으로 이온을 분석한 후 환산계수를 이용하여 다음 식과 같이 SO_2의 농도를 구한다.

$$C = \alpha SO_2 \times WSO_2/t$$

C : SO_2 Concentration(ppb)
αSO_2 : Concentration Conversion Coefficient
WSO_2 : sulfate quantity(in ng)
t : Sampling Time(min)

③ O_3 분석방법

1일 1회 대기중에 폭로된 passive sampler에서 흡수여지를 꺼내어 25㎖의 vial에 넣어

냉암소(2~6℃)에 보관하여 연구원 복귀 후 분석하였다. 흡수여지가 들어 있는 vial에 초순수 증류수 5㎖을 넣어 초음파 추출기를 이용 15분간 초음파로 추출 후 추출된 용액을 이온 크로마토그래피의 일반적인 음이온 분석법으로 이온을 분석한 후 환산계수를 이용하여 농도를 구한다.

$$C = \alpha O_3 \times WO_3/t$$

C : O_3 Concentration(ppb)

αO_3 : Concentration Conversion Coefficient

WO_3 : nitrate quantity(in ng)

t : Sampling Time(min)

결과 및 고찰

1. 기상요소(풍향 및 풍속)

대기환경측정차량의 기상요소 측정결과를 근거로 하여 측정시기별 주풍향 및 풍속을 Fig. 3에 나타내었다. 측정시기별 풍

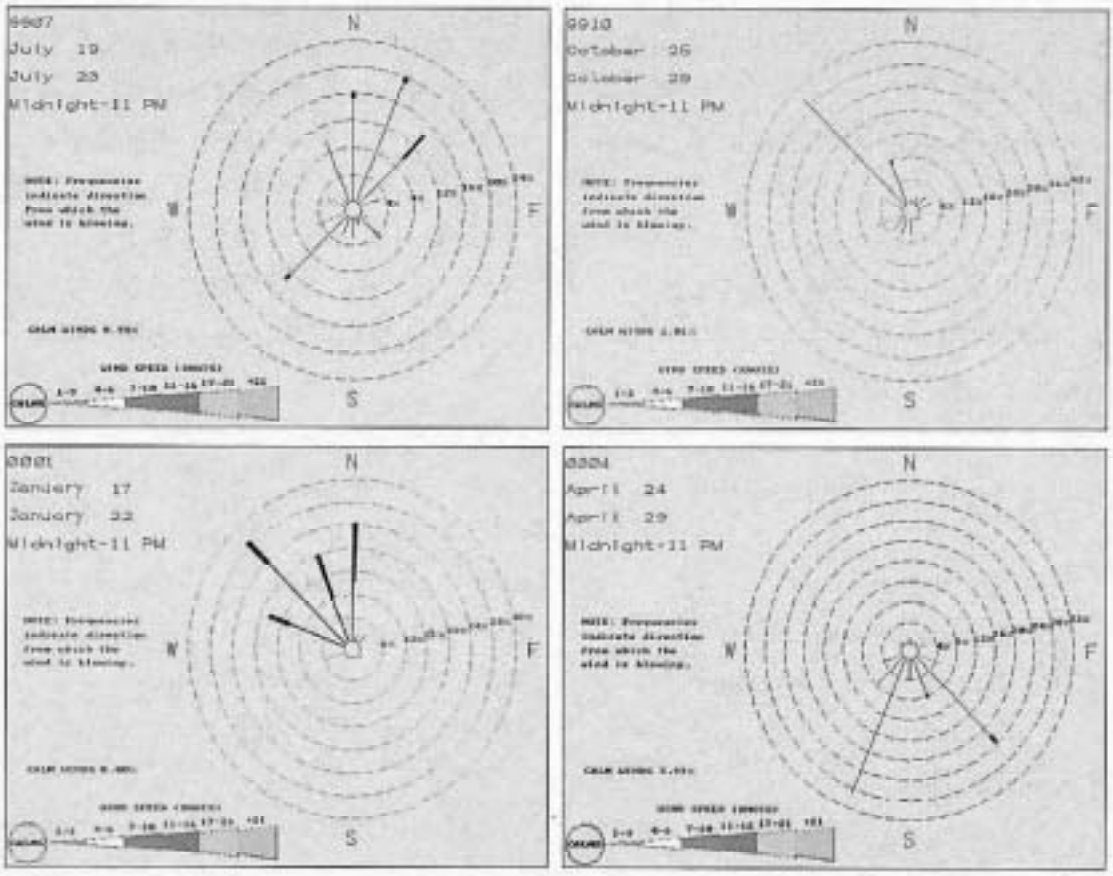


Fig. 3. Windrose at site D1(Air quality monitoring mobile).

배도(windrose)를 살피보면, 99년 7월은 북동풍 계열 99년 10월과 2000년 1월은 북서풍계열, 2000년 4월은 남풍계열의 바람이 주풍향으로 나타났다.

Table 1은 측정시기별 풍속에 따른 풍향빈도를 나타낸 것이다. 측정시기별로 풍속에 따른 풍향빈도를 살펴보면, 1999년 7월은 전체 바람 빈도 중 북북동풍 20%, 북풍 16.2%, 북동풍 14.3%를 차지하였고 정온상태(calm)는 약 1%정도였으며, 평균풍속 1~3m/s의 바람이 87.6%, 4~6m/s 바람이 11.4%를 차지하였다. 1999년 10월은 북서풍 38.4%, 북북서풍 12.1%를 차지하였으며 정온상태는 약 1%를 보였으며, 평균풍속 1~3m/s의 바람이 약 96%를 차지하였다.

2000년 1월은 북서풍 29.1%, 북풍 20.5%, 북북서풍 15.4%를 차지하였고 평균풍속은 1~3m/s의 바람이 69.2%, 4~6m/s 바람이 30.8% 정도를 차지하여 다른 측정시기보다 바람이 강한 편이었다. 2000년 4월은 남남서풍 28.8%, 남동풍 23.7%를 차지하였고 정온상태는 약 5.9%를 보였다. 평균풍속은 1~3m/s의 바람이 약 90% 정도를 차지하였다.

Table 1. Wind direction frequency with wind speed in sampling periods

① 1999년 7월 (CALM : 0.0095)

	1~3	4~6	7~10	11~16	17~21	〉21	Total
N	0.1524	0.0095	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1619
NNE	0.1905	0.0095	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2000
NE	0.0952	0.0476	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1429
ENE	0.0190	0.0095	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0286
E	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ESE	0.0190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0190
SE	0.0286	0.0190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0476
SSE	0.0000	0.0095	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0095
S	0.0286	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0286
SSW	0.0286	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0286
SW	0.1238	0.0095	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1333
WSW	0.0476	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0476
W	0.0095	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0095
WNW	0.0286	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0286
NW	0.0095	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0095
NNW	0.0952	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0952
Total	0.8762	0.1143	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9905

② 1999년10월 (CALM : 0.0101)

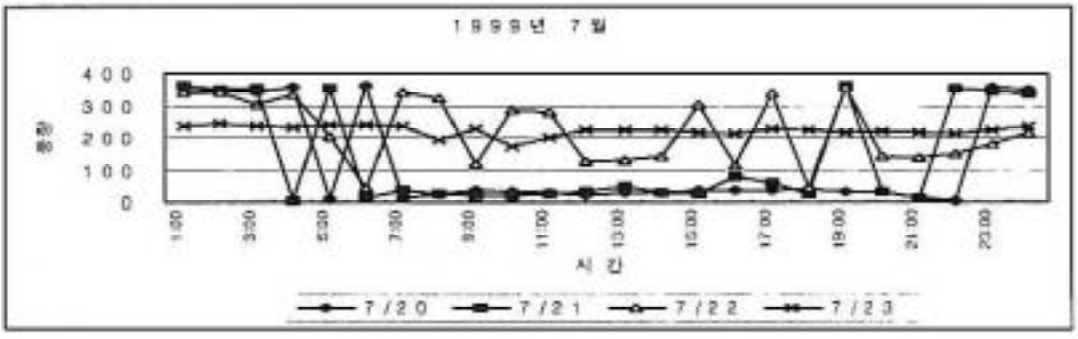
	1~3	4~6	7~10	11~16	17~21	21	Total
N	0.01010	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01010
NNE	0.02020	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.02020
NE	0.02020	0.01010	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.03030
ENE	0.02020	0.01010	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.03030
E	0.01010	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01010
ESE	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
SE	0.01010	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01010
SSE	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
S	0.04040	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.04040
SSW	0.04040	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.04040
SW	0.05051	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.05051
WSW	0.08081	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.08081
W	0.11111	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.11111
WNW	0.05051	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.05051
NW	0.38384	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.38384
NNW	0.11111	0.01010	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.12121
Total	0.95960	0.03030	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.98990

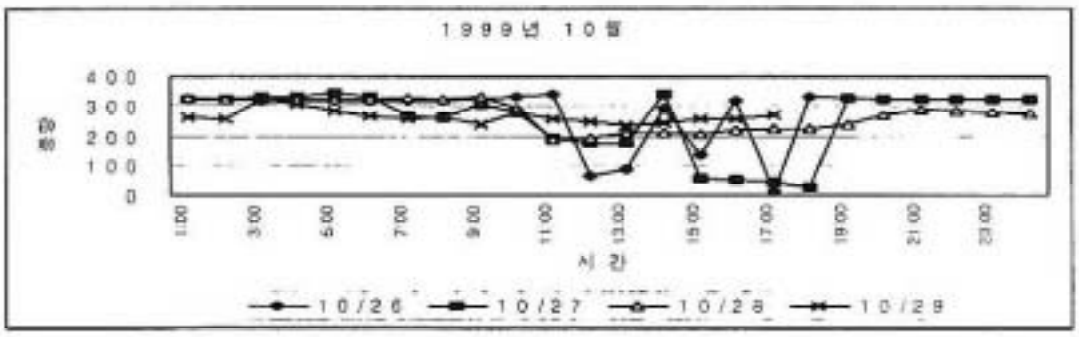
③ 2000년 1월 (CALM : 0)

	1~3	4~6	7~10	11~16	17~21	〉21	Total
N	0.07692	0.12821	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.20513
NNE	0.01709	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01709
NE	0.02564	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.02564
ENE	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
E	0.01709	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01709
ESE	0.00855	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00855
SE	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
SSE	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
S	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
SSW	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
SW	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
WSW	0.04274	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.04274
W	0.10256	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.10256
WNW	0.11111	0.02564	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.13675
NW	0.23077	0.05983	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.29060
NNW	0.05983	0.09402	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.15385
Total	0.69231	0.30769	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000

④ 2000년 4월 (CALM : 0.0593)

	1~3	4~6	7~10	11~16	17~21	〉21	Total
N	0.00848	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00848
NNE	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
NE	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
ENE	0.01695	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01695
E	0.00848	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00848
ESE	0.05085	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.05085
SE	0.22034	0.01695	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.23729
SSE	0.07627	0.00848	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.08475
S	0.04237	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.04237
SSW	0.28814	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.28814
SW	0.07627	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.07627
WSW	0.02542	0.01695	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.04237
W	0.06780	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.06780
WNW	0.00848	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00848
NW	0.00848	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00848
NNW	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Total	0.89831	0.04237	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.94068





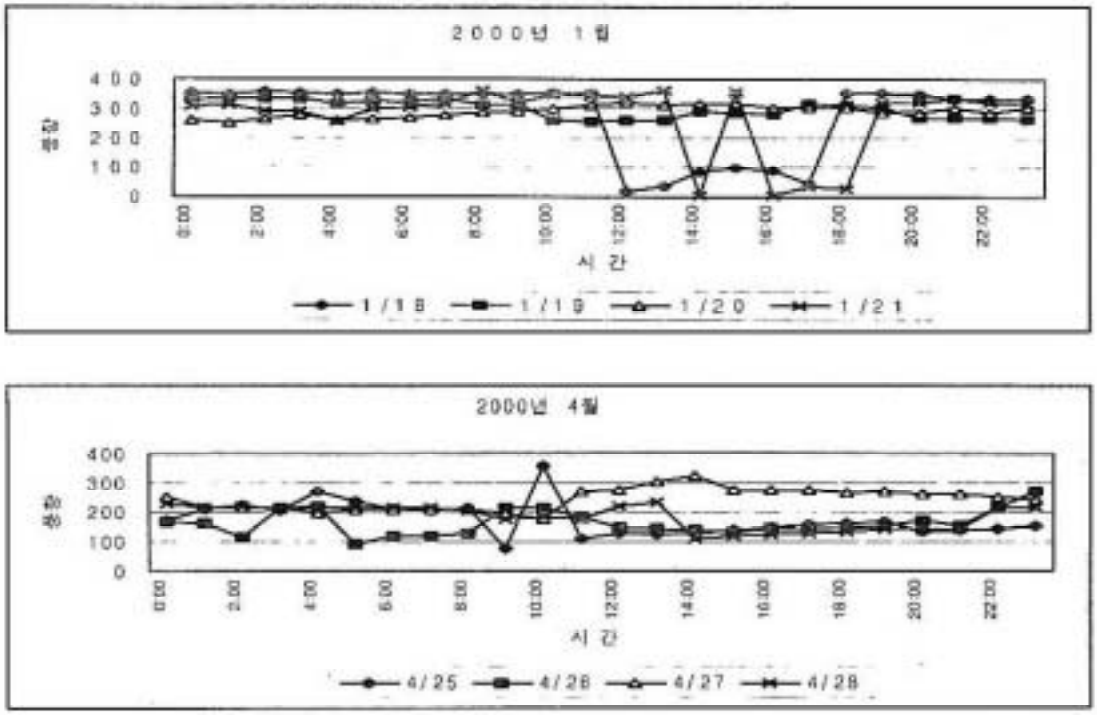


Fig. 4. Pattern of wind-direction.

Fig. 4는 측정시기에 따른 바람의 시간대별 변동경향을 나타낸 것이다. 1999년 7월(여름철)의 측정일별 풍향의 변동을 살펴보면, 7/20, 7/21은 비슷한 풍향패턴을 보이고 주로 북서풍과 북동풍의 바람이 불었으며 7/22의 바람은 다른 날에 비하여 풍향변동이 크게 변하는 것으로 볼 수 있었다. 7/23은 풍향이 거의 변동이 없이 남서풍계열의 바람이 일중 지속적으로 불었다. 1999년 10월(가을철)은 바람의 풍향변동이 유사하며 일몰 후(18 : 00 이후) 및 일출 후(~10 : 00)까지는 북풍계열의 바람이 주로 불다가 11 : 00~17 : 00까지는 북동풍 또는 남풍계열의 바람이 주로 부는 것으로 관측되었다.

2000년 1월(겨울철)의 바람 역시 1999년 10월의 바람과 비슷한 풍향변동 경향을 보이지만, 바람의 풍향은 북풍 또는 북서풍계열의 바람이 지속적으로 유지하는 경향을 보여 전형적인 우리나라의 겨울철 바람패턴을 보였다. 2000년 4월(봄철)의 바람은 풍향변동이 100°~300°의 범위로서 남풍계열의 바람이 많이 부는 경향을 보이며, 풍향의 변동폭이 다른 계절에 비해 크게 나타났다. 일반적으로 연안에 접한 대도시의 경우, 대표적인 국지순환계인 해륙풍의 특성이 나타날 수 있으며 산악성 지형을 포함하고 있다면 지형의 경사면을 따라 가열과

냉각에 의해 형성되는 산곡풍의 특성이 나타날 수 있으며 이에 따라 대기 중에 배출된 오염물질의 이류 및 확산현상은 지표부근의 기상조건과 지형의 영향을 강하게 받아 복잡하게 변화 한다. 따라서 해륙풍의 순환과 지형의 영향을 받고 있는 온산지역의 대기오염물질의 농도는 측정시기별로 고농도의 출현이 빈번할 것으로 추정된다.

2. 대기질 측정결과

Table 2는 대기환경측정차량(site D1)에서 측정시기별 풍향에 따른 대기오염물질의 평균농도와 농도percentile(5%, 95%)를 나타낸 것이다. 바람에 의한 수송 및 확산과정 등에 따른 대기오염물질의 농도 변화경향을 살펴보기 위해 대기환경측정차량에서 측정한 SO_2, NO_2, O_3의 오염농도와 풍향을 구별하여 나타내었다.

대기환경측정차량에 장착된 풍향계는 0~540°로 측정되며 바람의 이동에 따른 오염 물질의 이동 및 확산에 다른 농도변화 경향을 고찰하기 위해 풍향을 0~360°로 환산하여 풍향을 구분하였다. 이에 따라 315°~45°의 풍향을 북풍으로, 135°~225° 풍향을 남풍으로 구분하여 적용하였으며 그 외의 풍향에 대한 농도자료는 제외하였다. 조사 기간 중 2000년 4월(북풍 2회, 남풍 75회)을 제외하고는 대체로 조사기간(1999년 7월, 10월, 2000년 1월)중 북풍의 빈도가 많았으며 SO_2, NO_2의 경우는 북풍이 불 경우가 남풍이 불 경우보다 다소 높은 평균농도를 보였다. 측정시기별 풍향에 따른 오염농도 Percentile(백분위수)를 살펴보면, 부산과 울산의 경계지역에서 북풍시 5% 농도 percentile은 SO_2 0.4~4.8ppb, NO_2 0.4~6.2ppb, O_3 0.4~26.0ppb의 범위를 보였고

Table 2. Results of air quality monitoring in sampling periods(by Air quality monitoring mobile)

구 분		SO_2 평균농도 (ppb)	농 도 Percentile(ppb)		NO_2 평균농도 (ppb)	농 도 Percentile(ppb)		NO_2 평균농도 (ppb)	농 도 Percentile(ppb)		풍향별 관측수
			5%	95%		5%	95%		5%	95%	
1999년	북풍	4.2	0.8	12.3	5.8	2.8	9.6	23.6	0.4	41.0	63
7월	남풍	1.1	0.0	2.0	4.1	1.3	6.5	16.0	4.6	26.9	24
1999년	북풍	2.5	0.7	4.6	10.5	5.7	15.9	10.5	0.4	35.4	53
10월	남풍	3.0	1.0	5.4	9.9	5.3	18.6	51.3	31.9	71.4	23
2000년	북풍	2.5	0.4	6.3	5.4	0.4	14.1	23.7	11.5	33.3	55
1월	남풍	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0
2000년	북풍	7.2	4.8	9.5	13.9	6.2	21.5	32.4	26.0	38.8	2
4월	남풍	1.8	0.0	5.2	10.3	3.9	21.9	24.9	2.8	57.0	75

남풍시 농도 percentile은 SO_2 0~1.0ppb, NO_2 1.3~5.3ppb, O_3 2.8~31.9ppb의 농도 수준을 보였다. 또한, 오염물질별 95% 농도 percentile는 북풍시 SO_2 4.6~12.3ppb, NO_2 9.6~21.5ppb, O_3 33.3~41.0ppb 수준이었으며, 남풍시 SO_2 2.0~5.4ppb, NO_2 6.5~21.9ppb, O_3 26.9~71.4ppb 수준을 나타냈다. SO_2, NO_2의 경우는 북풍이 불 경우남풍이 불 경우 보다 높은 오염수준을 보이며 O_3는 남풍이 불 경우 높은 농도를 보였다.

Table 3은 온산공업지역에 위치하고 있는 대기오염자동측정소에서 측정한 대기오염농도 결과로서 본 연구사업의 측정시기와 같은 날의 자료를 이용하였다. 측정시기별 오염농도를 살펴보면, SO_2 평균농도는 15.1~19.4 ppb이고 95% 농도 percentile은 15.1~59.0ppb 수준을 나타내었으며 NO_2 평균농도는 6.0~30.1 ppb, 95% 농도 percentile은 14.5~53.5ppb 수준을 보였다. 특히, 온산공업지역의 오염물질별 배경농도 수준을 나타내는 5% 농도 percentile이 SO_2 2.5~6.5ppb, NO_2 1.0~10.0ppb 수준으로 온산공업지역에서 약 10Km 떨어진 곳(지점 D1)에서 측정된 오염농도의 최대농도의 95% 수준과 비슷하거나 높은 경향을 보였다. 이는 대기환경측정차량에서 측정한 대기질 자료(SO_2 평균농도 1.1~7.2ppb, 95% 농도 percentile 2.0~12.3ppb, NO_2 평균농도 4.1~13.9ppb, 95% 농도 percentile 6.5~21.9ppb)와 비교해 볼 때, 상대적으로 아주 높은 농도로서 이는 풍상측 지역(온산)에서 배출된 SO_2, NO_2 등의 오염물질이 풍하측(부산지역)으로 수송 및 확산되어 대기오염도에 영향을 줄 가능성이 있음을 보여준다. 그러나 O_3의 경우는 남풍계열의 바람이 불 때 북풍계열의 바람이 불 때보다 높은 수준을 보였는데 대기중의 오존은 질소산화물이나 탄화수소 등의 1차오염물질이 대기중에서 일사량, 기온 등의 기상조건과 휘발성유기화합물질 등의 오염물질들과 복잡한 광화학 반응이 일어나 생성되는 2차오염물질로서 단순하게 오염물질의 수송 및 확산과정만으로 그 영향정도를 추정하기에는 다소 무리가 있는 것으로 판단된다.

Table 3. Resalts of air quality in the Onsan Industrial Complex

구 분	SO_2 평균농도 (ppb)	농 도 Percentile(ppb)		NO_2 평균농도 (ppb)	농 도 Percentile(ppb)		SO_2 평균농도 (ppb)	농 도 Percentile(ppb)	
		5%	95%		5%	95%		5%	95%
1999년 7월	19.4	2.5	56.4	6.0	1.0	14.5	17.5	6.8	36.3
1999년10월	19.4	4.5	59.0	21.2	6.3	40.8	21.7	8.5	36.6
2000년 1월	16.1	6.5	15.1	19.4	7.7	30.0	16.9	8.5	28.5
2000년 4월	15.1	3.6	38.4	30.1	10.0	53.5	15.9	6.0	32.4

3. Passive sample 농도

(1) NO_2

측정시기별 Passive sampler를 이용하여 측정한 NO_2 평균농도(ppb)를 Fig. 5에 나타내었다. 질소산화물은 고온연소시 주로 발생하는 오염물질로서 주배출원은 자동차로 분류되고 있다. 측정시기별 NO_2 농도분포를 살펴보면, 1999년 7월은 지점C4 부근에서 가장 높은 농도를 보이는데 이 곳은 부산－울산간 지방국도가 지나는 곳으로서 자동차 배출가스에 의한 영향이 많은 것으로 보인다. 1999년 10월의 NO_2 농도분포는 지

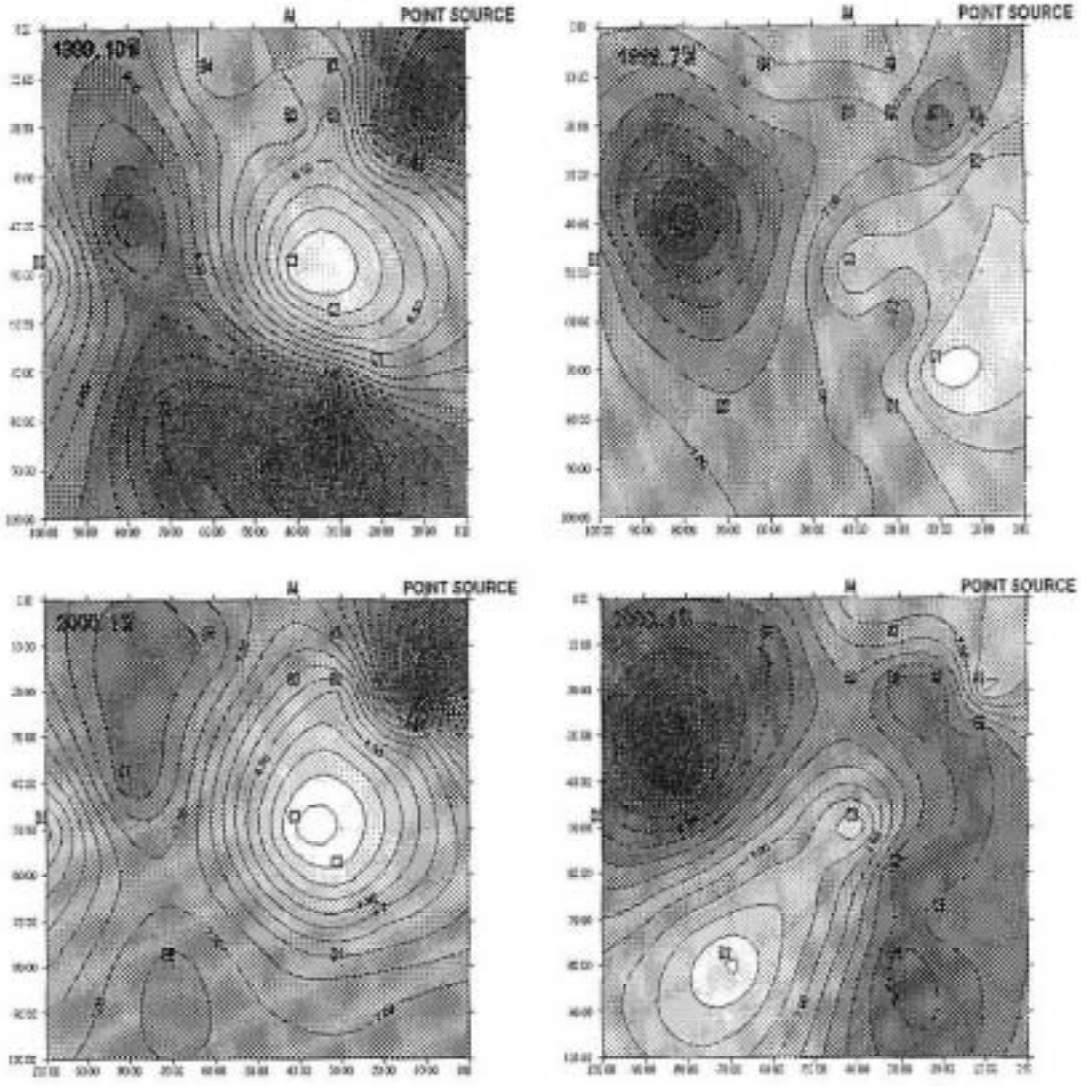


Fig. 5. Distribution of average NO_2 concentrations measured by passive sampler.

점A1 부근(온산공단에서 약 2Km) 지역과 지점D1(온산공단에서 약 8Km) 부근 지역에서 높은 농도분포를 보였으며 지점C4 부근은 7월보다 다소 낮은 농도를 나타내었다.

2000년 1월은 지점A1 부근지역에서 높은 농도를 보이는 반면에 지점 C2, C3 부근 지역에서는 아주 낮아 공등화 현상을 보이며, 2000년 4월에는 지점 C4 부근이 다시 높은 농도 분포를 보였다.

(2) O_3

오존(O_3)의 측정시기별 농도분포를 Fig. 6에 나타내었다. 1999년 7월의 오존 농도 분포는 온산지역에서 약 6~8Km 떨어진

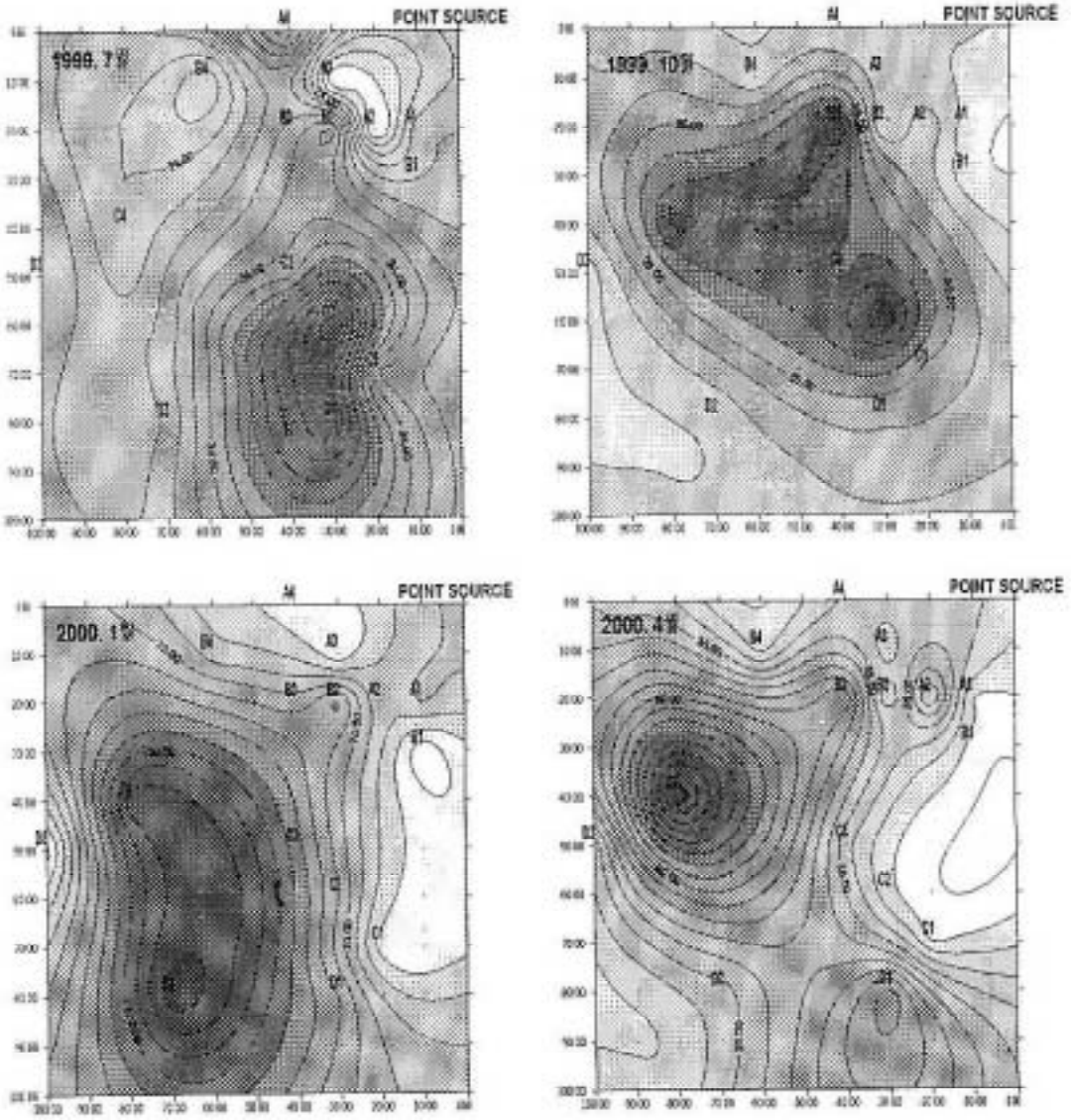


Fig. 6 Distribution of average O_3 concentrations measured by passive sampler.

지역으로 주변에 특별한 배출원이 거의 없는 지점 C2 부근에서 높은 분포를 보였으며, 10월은 산지가 위치하고 있으며 배출원이 거의 없는 가운데 지역이 폭넓은 농도분포를 보였다.

2000년 1월과 4월은 부산-울산간 도로가 위치하는 지역이 높은 오염상태를 나타내었다. NO_2 농도분포와 비교해 볼 때, NO_2 농도가 높은 지역은 오존의 농도가 상대적으로 낮은 분포를 보이고 있으나 2000년 4월에는 NO_2와 O_3의 농도분포가 거의 비슷한 패턴을 보였는데 이는 오존이 일사량, 기온 등 기상조건에 따라 광화학 반응에 의해 생성되어지는 2차대기오염물질로서 농도분포가 NO_2에 비해 복잡한 경향을 보이는 것 같다.

4. ISCST model에 의한 농도예측

대기질의 효과적인 관리를 위해 대기 중에 방출되는 오염물질의 영향을 정확하게 예측하는 것이 매우 중요하며, 대기오염모델은 오염물질 배출량과 착지점 농도의 관계를 정립하기 위해 오염물질의 발생, 대기 중으로의 방출 및 수송, 확산, 변환, 제거 등 자연계에서 일어나고 있는 현상을 모사하기 위해 사용되어진다. 모델에 의해 구해진 결과는 오염배출량, 오염물질의 물리화학적 특성, 입력 기상자료의 특성, 배출원 주변 특성, 농도계산이 행하여지는 착지점의 특성 등에 따라 크게 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서는 보다 정확한 모델링을 수행하기 위해 현지에서 측정한 기상자료와 지형의 고저에 따른 효과를 고려하기 위해 조사지역의 지형자료를 모델에 입력하여 모델링을 수행하였다. 본 연구에서 사용된 대기오염모델은 도시지역의 복합적인 오염원에 의한 오염농도 예측을 위해 개발된 오염원중심모형인 ISCST(Industrial Source Complex Short Term) 모델을 이용하여 대기중으로 배출된 대기오염물질(SO_2)의 수송 및 확산에 의한 영향을 온산공업지역을 중심으로 반경 15Km 범위에서 그 농도를 예측하였다. 배출원은 온산공업지역에 위치한 가상의 점배출원 (SO_2배출량 2.07g/sec, 굴뚝높이 80m, 배출가스온도 160℃, 유속 12.2m/s, 직경 2.4 m)을 가정하여 이 곳으로부터 배출된 SO_2의 농도를 각각의 착지점에서 예측하였으며 ISCST 모델의 Input file은 다음과 같다.

```
CO STARTING
CO TITLEONE ONSAN ISCST POINT SOURCE ALGORITHM
CO MODELOPT DFAULT CONC RURAL
CO AVERTIME 1 24 period
CO terrhgts elev
CO POLLUTID SO2
CO DCAYCOEF      .00000000
CO RUNORNOT run
```

```
CO FINISHED
SO STARTING
   LOCATION STACK1 POINT  0.0  0.0  20.0
** POINT SOURCE       QS  HS  TS  VS  DS
** PARAMETERS :       --- --- --- --- ---
   SRCPARAM1 STACK1 2.07 80.0 433 12.2 2.4
SO SRCGROUP ALL
SO FINISHED

RE STARTING
RE GRIDCART CAR1 STA
RE GRIDCART CAR1 XPNTS  -100. -80. -60. -40. -20.  0.
RE GRIDCART CAR1 YPNTS  -100. -80. -60. -40. -20.  0.
RE GRIDCART CAR1 ELEV 1   80.  30.   0.   0.   0.  0.
RE GRIDCART CAR1 ELEV 2  160.  20.  50.  20.   0.  0.
RE GRIDCART CAR1 ELEV 3  180.  40. 150.  20.  50.  0.
RE GRIDCART CAR1 ELEV 4  190. 160. 220. 200.  70.  0.
RE GRIDCART CAR1 ELEV 5  200.  50.  60.  60.  30.  0.
RE GRIDCART CAR1 ELEV 6  120.  80.  10.  30.  30. 20.
RE GRIDCART CAR1 END
RE FINISHED

ME STARTING
ME INPUTFIL met07.MET FREE
ME ANEMHGHT 10
ME SURFDATA 295 1998 ONSAN
ME UAIRDATA 47138 1998 POHANG
ME DAYRANGE 7/19-7/23
ME FINISHED

OU STARTING
OU RECTABLE ALLAVE FIRST SECOND
OU MAXTABLE ALLAVE 50
OU FINISHED
```

(1) 조사지역의 지형

대기오염 모델에 의해 구해진 결과는 여러 가지 특성에 따라 많이 영향을 받으며, 조사지역의 지형적인 특성이 산악성 지형의 형태를 띄고 있기 때문에 지형에 대한 고려가 필수적이다. 본 연구에서는 환경부에서 제공하는 수치지도를 이용하여 온산주변지역의 지형 에 대한 입력자료로서 적용하였

다. 모델링을 위해 이용된 지형 및 passive sampler를 설치한 지점을 Fig. 7에 나타내었다. 모델링 지역의 지형을 살펴보면, 부산경계지역에서 북동방향으로 약 12Km 떨어진 곳에 온산공업지역이 위치하고 있으며, 동쪽과 남쪽지역은 대부분 바다이며 부산과 울산 경계지역인 가운데는 산지가 있는 복잡한 지형으로 국지순환계인 해륙풍 및 산악성 지형에 따른 산곡풍 등의 특성으로 오염물질의 농도변화가 지역에 따라 클 것으로 보인다. 측정지점중 A, B지역은 온산공업지역과 거리가 약 2~3Km 떨어진 거리에 위치하고 있으며, C4지점은 부산-울산간 국도가 지나며 높은 고개에 위치한 곳이며 C3지점은 주변이 산지로 둘러싸인 분지성 지형에 위치하고 있다. 측정지점중 D1 지점은 대기환경측정차량 및 Passive sampler를 동시에 설치하여 측정한 곳이며 주변은 낮은 구릉이 있는 평탄한 지역이다.

(2) 모델링에 따른 고농도 SO_2 예측

지금까지 오염원중심모형은 환경영향평가 등 여러 목적에 따라 사용되어져 왔으나, 제한된 환경조건하에서 대기질 농도를 예측하게 되는 문제점과 입력자료의 불확실성 문제 등으로 현실적으로 많은 한계를 가지고

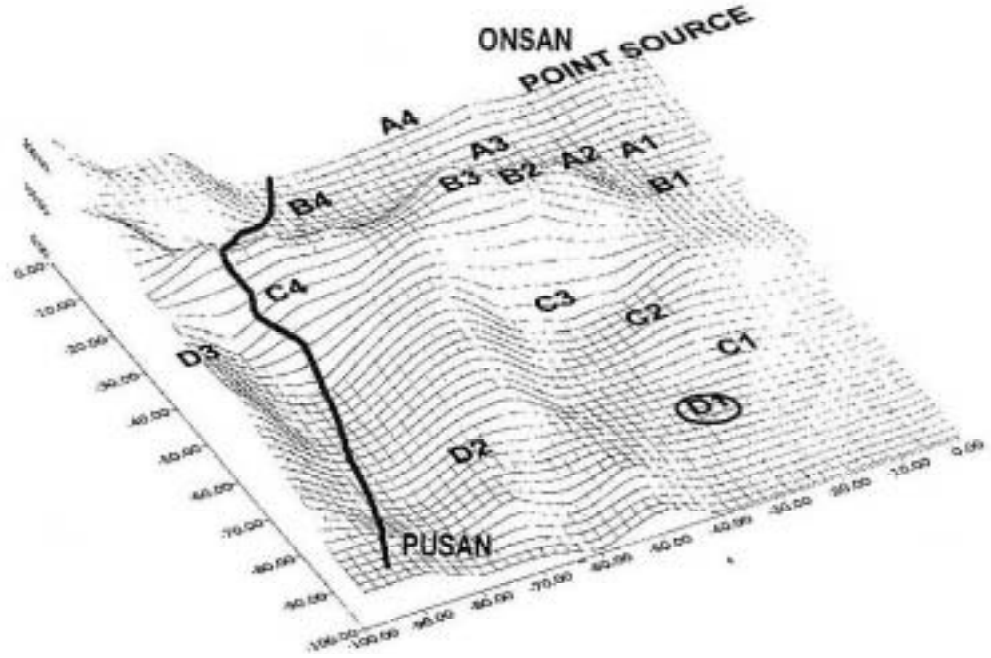


Fig. 7. Configuration of modelling area.

있다. 이러한 모델링에 있어서 한계에 따른 문제를 최소화하기 위해 입력자료중 지상 기상조건은 대기환경측정차량에서 관측한 자료를 이용하였으며 복잡한 지형에 따른 오염물질의 확산 및 이동에 따른 효과를 고려하기 위해 착지점의 지형고도를 적용하여 모델을 운영하였다.

온산지역에 위치한 가상의 점배출원으로부터 ISCST모델을 이용하여 예측한 측정시기별 SO_2 평균농도에 따른 SO_2 농도분포를 Fig. 8에 나타내었다. 측정시기별 SO_2 오염농도 분포를 살펴보면, 1999년 7월 조사기간 중 예측된 1시간평균 SO_2 최대농도 및 발생지점은 가상 점배출원으로부터 남서쪽의 풍하방향 지점C3에서 4.4ppb로 나타났으며, 부산 지역에서는 1.1ppb 정도로

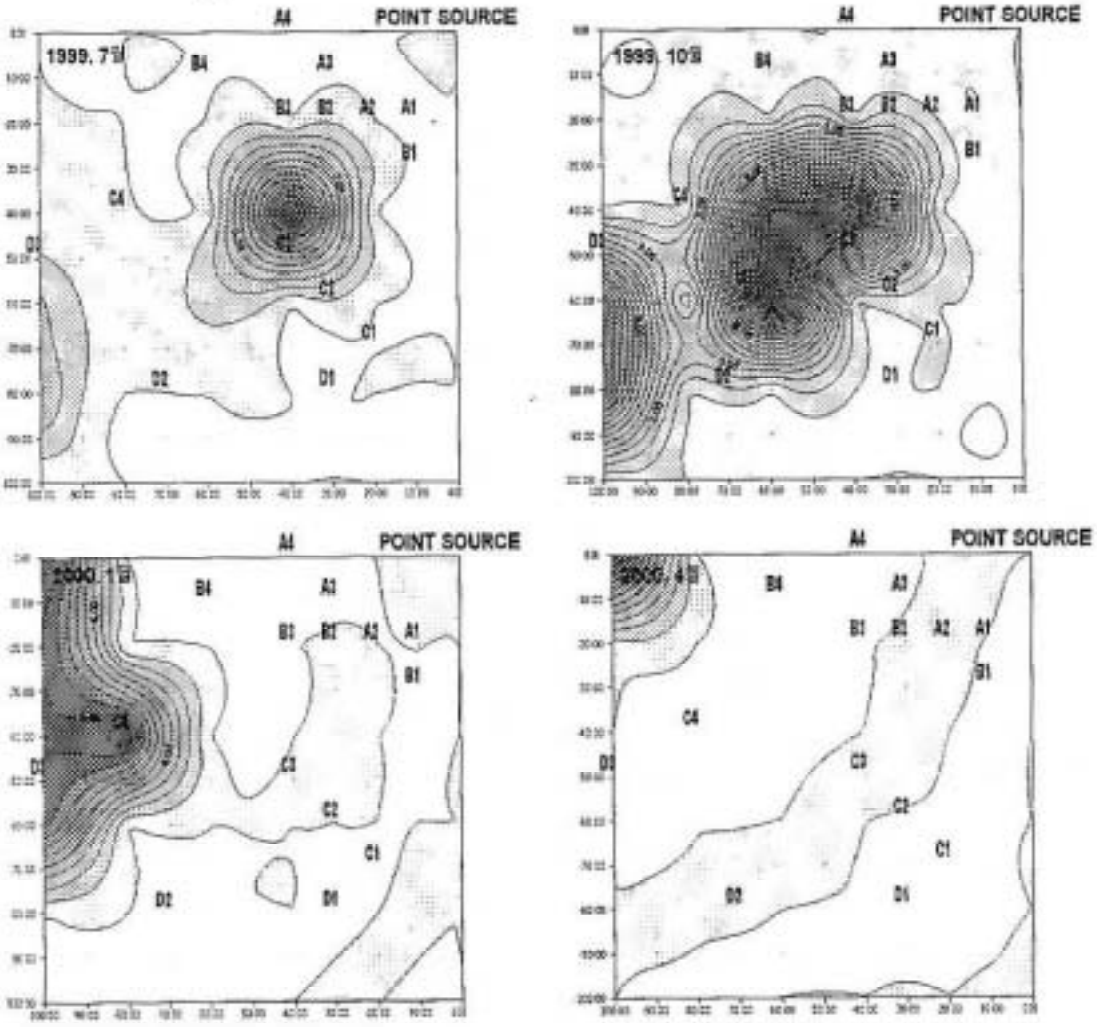


Fig. 8. Average SO_2 concentrations results from ISCST model.

1시간평균 대기환경기준 150ppb보다 훨씬 낮은 농도를 보였다. 그러나 1999년 10월과 2000년 1월 조사기간중 예측된 1시간평균 SO_2 최대농도 및 발생 지점은 220~290ppb 농도수준으로 점배출원으로부터 남서쪽 풍하방향으로 약 6Km이내의 산지로 둘러싸인 분지성 지형에서 나타났으며 부산지역인 지점 D3에서도 110~179ppb 농도수준으로 1시간평균 대기환경기준 150ppb를 초과하는 높은 농도로 예측되었다.

2000년 4월은 점배출원에서 서쪽 풍하방향의 10Km 거리에서 최대 1시간평균농도가 60 ppb 정도의 농도수준으로 예측 되었으며 이는 측정기간 중 계절적인 기상요인의 변화(남풍계열의 바람)에 의해 온산지역에서 배출된 오염물질이 위쪽 지역으로 이동 및 확산되므로서 부산지역으로는 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

ISCST 모델링의 결과, 온산지역에서 배출된 대기오염물질이 기상변화에 따라 대기오염물질이 이동 및 확산됨에 따라 부산지역도 영향을 미칠 가능성이 있는 것으로 나타나 대기환경측정차량에서 측정한 풍향에 따른 대기질 농도의 변화경향과 유사하게 온산지역에서 부산지역으로 바람이 불 때 SO_2, NO_2 농도수준이 높아지는 경향을 보였다. 위의 결과는 측정기간별 온산지역에 위치한 가상의 단일 점배출원에 대한 모델링 결과이지만 온산공업지역내의 모든 배출원을 고려할 경우, 부산지역은 계절적인 기상요인 및 오염물질의 배출량 등에 따라 더 많은 오염물질의 이동 및 확산으로 큰 영향을 받을 수 있음을 시사한다.

따라서 인접한 지자체간 대기오염문제에 대해 효과적으로 대기질을 개선하기 위해서는 인접 도시간 광역적 대기오염협의회 등의 구성이 필요하며 인접도시간 정확한 오염물질의 배출량, 오염 배출원 밀집지역으로부터 다른 지역으로 이동 및 확산으로 인한 대기 오염의 영향 정도 등에 대한 정밀한 조사가 있어야 하며 실측 또는 예측된 지표농도가 대기환경기준을 초과할 경우 배출규제대책 또는 감축방안 등에 대해 인접 지자체간 공동대책의 수립이 강구되어야 할 것이다.

결 론

본 연구는 대기오염의 광역적 특성으로 인하여 오염 영향권이 다수의 행정구역에 걸쳐 있을 경우, 이에 대한 효과적인 대기환경 관리대책 수립을 위한 기초자료의 확보 및 인접지역간 대기오염 물질의 이동 및 확산에 의한 거동 규명 및 공간적 농도분포 특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 측정시기별 주풍향 및 풍속은 99년 7월은 북동풍 계열 99년 10월과 2000년 1월은 북서 풍계열, 2000년 4월은 남풍계열의 바람이 주풍향이며 평균풍속은 거의 1~3m/s이었으나 2000년 1월은 4~6m/s로 다른 측정시기보다 바람이 강한 편이었다.

2. 대기환경측정차량을 이용하여 측정한 대기질 농도결과를 풍향에 따라 고찰한 결과, 온산지역에서 부산지역으로 바람이 불 경우 SO_2, NO_2의 농도수준이 부산에서 온산지역으로 불 경우보다 높게 나타나 온산지역에서 배출된 SO_2, NO_2 등의 오염물질이 부산 지역으로 수송 및 확산될 가능성을 보였다.
3. ISCST 모델을 이용하여 측정시기별 SO_2 평균농도 예측한 결과, 1999년 10월과 2000년 1월 조사기간중 1시간평균 SO_2 최대농도는 풍하방향으로 약 6Km 거리에서 220~290ppb 농도수준으로 예측되었으며, 부산지역에서도 110~179ppb 농도수준으로 예측되어 온산지역에서 배출된 대기오염물질이 기상변화에 따라 대기오염물질이 이동 및 확산되어 부산지역도 많은 영향을 줄 가능성이 있는 것으로 나타났다.
4. 인접한 지자체간 광역적 대기오염문제에 대한 효과적인 대기질 개선을 위해 인접도시 간 광역적 대기오염협의회 등의 구성과 더불어 인접도시간 정확한 오염물질의 배출량, 오염 배출원 밀집지역으로부터 다른 지역으로 이동 및 확산으로 인한 대기오염의 영향 정도 등에 대한 정밀한 조사가 있어야 하며 실측 또는 예측된 지표농도가 대기환경 기준을 초과시 배출규제대책 또는 감축방안에 대한 인접 지자체간 공동대책수립 필요하다.

참고문헌

1. 지역대기질 보전대책 수립 및 시행에 관한 연구, 한국환경기술 개발원, 1996.
2. 환경영향평가원론, 김귀곤, 대한교과서 주식회사, 1988.
3. 효율적인 대기질 관리정책에 관한 세미나, 대기환경학회, 1996.
4. 방종선, 김유근 등 : 부산지역에서의 대기확산모델의 적용 및 평가, 한국환경과학회지 제5권(제6호), p. 699~712, 1996.
5. 이상득, 정일현 : 도시규모의 대기오염농도 예측, 한국대기보전학회지 제13권(제2호), p. 137~145, 1997.
6. 정우식, 이화운 : 연안복잡지역에서 해풍시작에 대한 지형의 영향, 한국기상학회지 36권 제2호 p. 245~256, 2000.