

2001년 부산시 지역별 대기질 평가 및 조사연구

환경조사과

안미정 · 조정구 · 유은철 · 이승민 · 김성림 · 박흥식

Analysis and Study of Air Quality in Busan, 2001

Environmental Research Division

Mi-Jeong An, Jeong-Gu Jo, Eun-Chul Yoo, Sung-Min Lee,
Seong-Nim Kim and Heung-Sik Park

Abstract

This study was performed to understand air quality in Busan and furnish basic datum on air environmental policy. Using hourly average pollutant conc. and meteorological datum of twelve monitoring sites of 2001, surveied pollutant average conc. and environmental standard excess frequency of year, month, hour, season respectively. Also using correlation and cluster analysis, surveied correlation character between pollutants and between monitoring sites, and between pollutant conc. and meteorology, respectively.

The results showed that ; SO₂ · CO · PM₁₀ conc. decreased and O₃ · NO₂ conc. increased than 2000. Since 1991, it show that annually SO₂ · CO · PM₁₀ conc. decreased and O₃ conc. increased. City average conc. of O₃ was highest among five metro citys and seoul city.

Frequency of environmental standard excess was increased than 2000, perticulary O₃(8hr) standard excess freq. was increased very much all over the sites.

Monthly average pollutant conc. was generally high in Feb. & April. and PM₁₀ conc. was highest in March owing to Yellow Sand. And seasonally, high in spring and low in summer.

Results of statistical analysis, CO · NO₂ conc. were low under high O₃ conc. and visibility was short under high PM₁₀ · PM_{2.5} conc.. And O₃ and PM₁₀ conc. showed similar character all over the sites. Under high wind speed, O₃ and PM₁₀ conc. were increased and under very high solar radiation and UVa value, O₃ conc. was decreased.

Key Words : CO, O₃, SO₂, NO₂, PM₁₀, yellow sand, air environmental standard

서 론

본 연구는 1998년 이후 연계적으로 부산지역 주요 대기오염물질의 농도분포와 대기환경기준 초과현황 파악 및 기타 통계적 분석 등을 통한 대기질 평가를 실시하여 환경오염 저감시책 마련을 위한 기초자료 제공을 목적으로 매년 실시하고 있다.

주요 대기오염물질 가운데 아황산가스(SO₂)는 물에 대단히 잘 녹는 무색의 자극성이 있는 불연성 가스로서 황산화물(SO_x) 중에서 가장 많은 양을 차지하고 있으며, 대기중에서 산화된 후 수분과 결합하여 황산(H₂SO₄)이 되므로 산성비를 유발하는 대표적인 오염물질이다. 우리나라에서는 1990년을 기준으로 동 물질이 감소하는 추세를 보이고 있는데, 이는 정부의 대기 환경시책에 힘입어 황합량이 적은 유류나 LNG 등의 사용량이 증가하였고 난방부분에서는 괄목할 만큼 배출량이 줄어들었기 때문이다. 일산화탄소(CO)는 무색, 무취의 가스상 물질로 연소시 산소가 부족하거나 연소온도가 낮을 경우 불완전연소가 일어날 때 주로 발생된다. 그러므로 CO는 연탄의 연소가스나 자동차의 배기가스 중에 많이 포함되어 있고, 큰 산불이 일어날 때 주위에 산소가 부족하여 많은 양이 발생되기도 하며 담배를 피울 때 담배연기 속에 함유되어 배출되기도 한다. 오

존(O₃)은 광화학스모그의 대표적인 물질로서 대도시의 대기오염에 크게 영향을 미치고 있다. 산화력이 강하므로 눈을 자극하고 물에 난용성이므로 쉽게 심부까지 도달하여 폐수종, 폐출혈 등을 유발시킬 수 있고, 고농도에서는 사람 및 동식물에도 피해를 입히는 것으로 알려져 있다. 질소산화물에는 안정한 N₂O, NO, N₂O₃, NO₂, N₂O₅ 등과 불안정한 NO₃가 존재하며, 대기환경에서 문제가 될 만큼 존재하는 것들은 NO 및 NO₂로, 통상 이들 물질을 대기오염 측면에서 질소산화물(NO_x)이라 한다. 주요 발생원은 인위적인 것으로 화학물질 제조 공정, 질산에 의한 금속 등 처리공정, 화석연료를 사용하는 내연기관 및 연소시설 등이며, 내연기관이나 연소시설에 공급된 공기중의 질소가 고온에서 산화하여 NO가 되고 대기 중으로 배출되어 NO₂로 산화된다. 이산화질소(NO₂)는 적갈색의 기체로서 광화학반응을 일으키는 주요 가스상 물질이다.

미세먼지(PM₁₀)는 공기역학적 직경이 10 μ m 이하인 먼지로서 대기중에 부유하고 있는 총부유분진(TSP)과 별도로 인체에 흡입되어 폐포에 침착될 가능성이 큰 물질이다. 외국에서는 인체영향 측면을 고려하여 PM₁₀에서 직경이 2.5 μ m 이하인 입자(PM_{2.5})를 새로운 관리대상 먼지로 설정하기 위한 연구를 시행 중이다. 주로 산업, 운송, 주거활동 등에 의한 연소나 기타 공정으로부터 직접 배출

되거나, 1차 배출된 가스상 오염물질이 변환되어 생성된다.

조사자료 및 방법

본 연구에서 사용한 자료는 2001년 1월 1일 ~ 12월 31일(1년) 동안의 부산시 내 소재 12개 대기오염자동측정소의 1시간 평균 대기오염물질 및 기상 측정자료이며 연·월·시간대별·계절별로 대기오염물질의 농도특성을 살펴보았다. 그리고 연·월·측정소별 대기환경기준 초과횟수 및 연간 부산시 대기오염도의 환경기준달성여부를 환경정책기본법 별표.1에 규정된 기준을 적용하여 판단하였다. 측정자료의 분석은 통계분석을 실시하여 측정소간, 항목간 오염물질의 특성과 기상변화에 따른 대기오염물질의 변화특성을 살펴보았다.

본 연구에서 모든 자료의 처리 및 통계분석은 SAS ver. 8.1(Statistical Analysis System)을 사용하였고 2001년 12월 현재 12개 대기오염자동측정소 현황은 Table 1과 같으며 전년에 비하여 부곡동 측정소가 추가되었다.

결과 및 고찰

1. 2001 대기오염도 종합평가

1.1 종합평가

부산지역 전체 항목별 연평균농도는 전년에 비하여 SO₂, CO, PM₁₀은 감소되고, O₃과 NO₂는 증가한 것으로 나타났다. 1991년 이후 매년 SO₂·CO·PM₁₀은 감소추세, O₃은 증가추세를 보였으며 특히 SO₂는 1991년 이후 꾸준한 감소추세를 나타내었다. CO는 1993~1995년 동안

Table 1. Location of 12 air monitoring sites

측 정 소	위 치	용도지역
대 연 동	남구 대연1동 사무소 옥상	주거지역
연 산 동	연제구 연산5동 연제초등학교 옥상	"
덕 천 동	북구 덕천동 낙동강환경관리청	"
동 삼 동	영도구 동삼동 해양대학내	"
재 송 동	해운대구 재송1동사무소 옥상	"
기 장 읍	기장군 기장읍 기장초등학교 옥상	"
부 곡 동	금정구 부곡2동사무소	"
광 복 동	중구 광복동사무소 옥상	상업지역
범 천 동	진구 범천1동 진구보건소 옥상	"
감 전 동	사상구 감전1동사무소 옥상	공업지역
신 평 동	사하구 신평동 대립정기 옥상	"
대 저 동	강서구 대저2동 강서보건소 옥상	녹지지역

일시증가하였으나 1991년 이후 전체적으로 감소추세를 나타내었고, NO₂는 1996년까지 증가추세를 보인 후 1999년까지 감소하여 2000년 이후 재증가한 것으로 나타났다. PM₁₀은 1996년에 농도가 증가하였으나 1993년 이후 전체적으로 꾸준한 농도감소 추세를 나타내었다. O₃은 1994~1996년 동안 증가추세를 보인 후 1997년에 일시적인 감소현상이 나타났고, 1998~2000년간 농도변화가 없다가 2001년에 재증가한 것으로 나타났다. 1991년 이후 연도별 대기오염도 변화추세는 Fig. 1과 같다.

측정소별 오염도는 O₃ 동삼동 · 기장읍, NO₂ 대연동, SO₂ 광복 · 신평 · 감전동,

CO 감전동, PM₁₀ 대저동측정소에서 연평균농도가 가장 높게 나타났고, 기장읍측정소는 O₃을 제외한 나머지 항목의 오염도가 가장 낮게 나타났다. 전년대비 오염도는 SO₂, CO가 전 측정소에서 감소한 것으로 나타났고, O₃은 대부분의 측정소에서 오염도가 증가한 것으로 나타났다. NO₂는 기장읍측정소에서만 전년에 비하여 다소 감소하였고, 나머지측정소에서는 모두 증가한 것으로 나타났으며, PM₁₀은 광복동 · 대송동 · 범천동 · 동삼동측정소에서는 증가하고 나머지 측정소는 모두 감소한 것으로 나타났다. 측정소별 오염도는 Table 2와 같다.

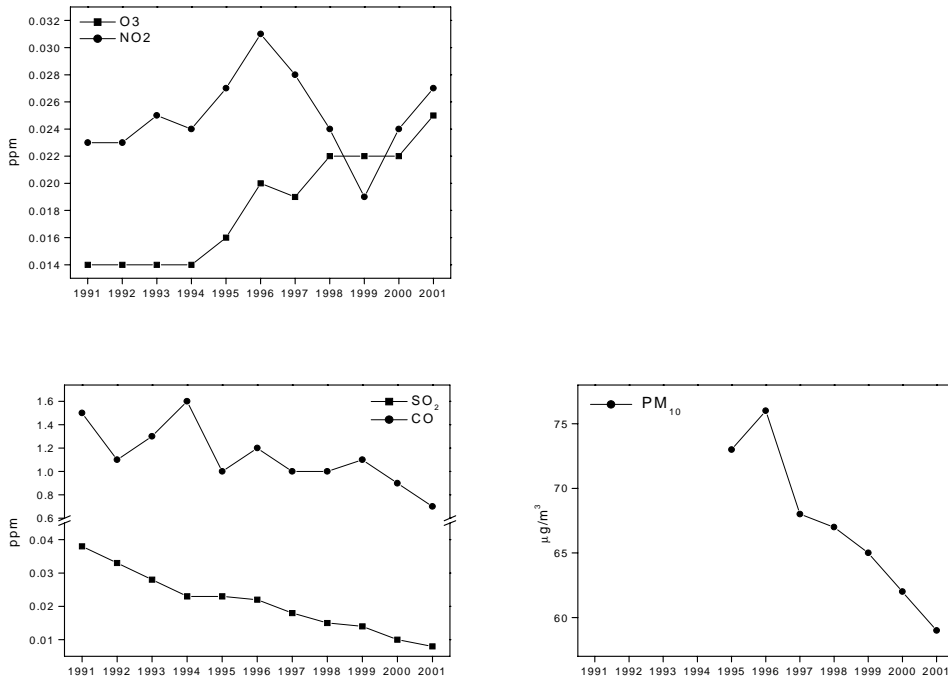


Fig. 1 Annual average conc. of atmospheric pollutants (1991~2001).

Table 2. Annual average conc. of each air monitoring sites (1997~2000)

항목	년	광복	신평	감전	덕천	연산	대연	재송	범천	동삼	기장	대저	부곡
O ₃ (ppm)	2000	0.021	0.022	0.018	0.019	0.023	0.018	0.025	0.020	0.029	0.024	0.023	-
	2001	0.023	0.026	0.023	0.028	0.027	0.021	0.026	0.020	0.030	0.030	0.023	0.014
NO ₂ (ppm)	2000	0.028	0.017	0.030	0.019	0.020	0.035	0.021	0.027	0.019	0.013	0.022	-
	2001	0.032	0.029	0.031	0.027	0.027	0.038	0.029	0.034	0.020	0.011	0.024	0.021
SO ₂ (ppm)	2000	0.011	0.011	0.012	0.006	0.010	0.009	0.010	0.013	0.009	0.005	0.010	-
	2001	0.010	0.010	0.010	0.005	0.007	0.008	0.008	0.009	0.008	0.005	0.005	0.003
CO (ppm)	2000	0.4	1.2	0.9	0.9	0.8	1.0	1.0	0.9	0.6	0.4	0.5	-
	2001	0.4	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8	0.6	0.4	0.5	0.6
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2000	49	74	79	64	62	76	56	54	36	54	79	-
	2001	57	71	69	63	54	65	58	55	43	42	75	44

1.2 대기환경기준 초과현황

연간 O₃, PM₁₀ 2개항목에 대하여 총 322회 대기환경기준을 초과하였다. 전년 대비 기준초과 횟수는 O₃이 1시간·8시간기준을 각 52회, 270회씩 초과하여 증가하였고, PM₁₀은 24시간 기준을 총 60회 초과하여 감소한 것으로 나타났으며, 전체적으로 전년에 비하여 8시간 기준초과횟수가 전 측정소에 걸쳐 크게 증가한 것으로 나타났다. 8시간기준은 2001년부터 변경된 대기오염측정망 설치·운영지침상 규정된 새로운 자료처리 방식인 이동평균방법을 적용하여 계산하였고, 2000년까지의 통계처리방법인 구간평균방법을 적용하면 2001년 연간 총 222회로 이동평균방법을 적용할 경우 초과횟수가 더욱 증가하는 것으로 나타났다. 전년대비 대기환경기준초과현황은 Table 3과 같다.

측정소별로는 연산동측정소에서 O₃의 1시간기준을 12회, 대저동·재송동측정소

에서 O₃의 8시간기준을 각 35회, 대저동측정소에서 PM₁₀ 24시간기준을 12회 초과하여 기준초과횟수가 가장 많이 나타났으며, 부곡동측정소를 제외한 모든 측정소에서 기준초과가 발생하였다. 전항목에 걸쳐 대저동측정소에서 총 기준초과횟수가 50회로 가장 높게 나타났다. 월별 기준초과횟수는 O₃의 1시간기준이 8월중 총37로 전체 초과횟수의 71.2%, O₃의 8시간기준이 4월중 80회로 29.6%, PM₁₀의 24시간기준이 3월중 37회로 61.7%를 차지하여 각각 가장 많이 나타났다. O₃의 1시간 기준초과는 7~8월동안 주로 발생하였고, 8시간기준 초과는 3~9월 동안 계속해서 발생하였으며, PM₁₀의 24시간기준 초과는 황사현상이 발생한 1, 3~5월 동안 발생하였는데 올해에는 이례적으로 1월 중 황사가 발생하여 기준초과가 일찍 발생하였다. 2001년 황사발생내역은 Table 4, 측정소 및 월별 기준초과 현황은 Fig. 2와 같다.

1.3 환경기준 달성현황

환경기준 달성현황은 O₃이 8시간평균치, PM₁₀이 24시간 평균치를 초과하여 환경기준을 달성하지 못한 것으로 나타났다. 연간 환경기준달성여부는 Table 5와 같다.

연간 환경기준을 “미달성” 한 것으로 나타난 측정소는 O₃ 1시간평균치가 덕천·연산·대연동측정소, O₃의 8시간평균치가 부곡동측정소를 제외한 11개 측정소,

PM₁₀의 24시간평균치가 광복 · 신평 · 감전 · 덕천 · 연산 · 대연 · 대저동측정소로 나타났다. 환경기준 달성여부 판단은 2001년 1월 1일부터 개정시행된 환경정책기본법에 제2조(별표1 환경기준)에 의거 1시간평균치는 999천분위수(千分位數)의 값, 8시간 및 24시간 평균치는 99백분위수(百分位數)에 해당되는 각 항목의 농도 값이 각각의 기준농도를 초과하였는가 살펴본 후 초과한 경우는 “미달성”, 초과하지 않은 경우는 “달성” 으로 판단하였다.

Table 3. Environmental standard excess frequency

년	항목 기준	O ₃		PM ₁₀ (150 μ g/m ³ 이하)
		1시간(0.1ppm이하)	8시간(0.060ppm이하)	
2001년		52	270(이동), 22(구간)	60
2000년		37	131(구간)	81

Table 4. Yellow sands date

구 분	계	1월	3월	4월	5월
발생회수 (일수/일자)	7회(20일)	1회 (2일/2, 3)	3회 (7일/3, 6~7, 20~23)	2회 (7일/10~14, 24~25)	1회 (4일/16~19)

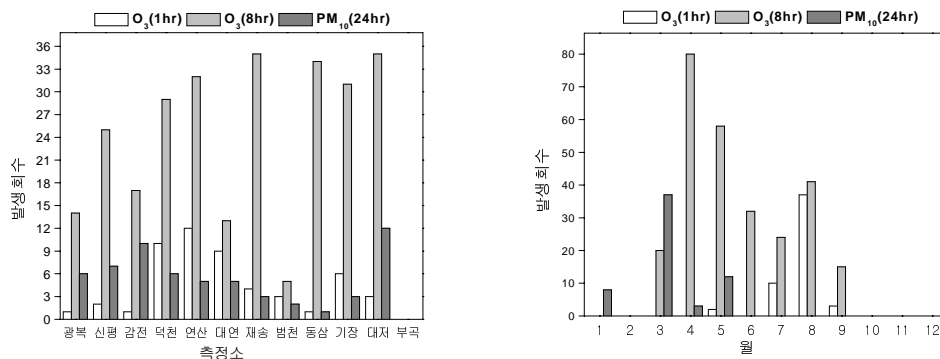


Fig. 2. Environmental standard excess frequency of each monitoring sites and months.

Table 5. Achivement of yearly environmental standard

구분	999천분위수값				99백분위수값				
	1시간평균				8시간평균		24시간평균		
	SO ₂ (ppm)	NO ₂ (ppm)	O ₃ (ppm)	CO (ppm)	O ₃ (ppm)	CO (ppm)	SO ₂ (ppm)	NO ₂ (ppm)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
농도	0.052	0.096	0.096	2.8	0.078	2.1	0.022	0.060	168
환경기준	0.15	0.15	0.1	25	0.060	9	0.05	0.08	150
환경기준 달성여부	달성	달성	달성	달성	미달성	달성	달성	달성	미달성

1.4 타 시도 대비 오염도

1990년~2001년 동안의 5개 주요대기오염물질의 연평균농도를 서울시 및 5대 광역시(대구, 인천, 광주, 대전, 울산시)와 비교해본 결과 전체적으로 부산지역 O₃의 오염도가 타시도에 비하여 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

O₃은 전체적으로 타시도에 비하여 오염도가 높게 나타났는데 1990~1991년, 1996년, 1999년 이후에는 타시도에 비하여 오염도가 가장 높게 나타났다. NO₂는 주로 서울시의 오염도가 가장 높게 나타났고, 부산시는 타시도와 유사한 오염도를 보였다. SO₂는 1992년까지 서울시, 1992~1996년 동안은 대구시, 1997년 이후는 울산시의 오염도가 가장 높게 나타났고, 부산시는 1997~2000년까지 울산시 다음으로 높았으나 2001년에는 대구시와 동일하게 나타났다.

CO는 1990~1995년까지 인천시, 1997년 이후에는 대전시의 오염도가 가장 높게 나타났고, 부산시는 타 시도에 비하여 낮거나 유사한 오염도는 보였으며, PM₁₀은

주로 대구시와 서울시의 오염도가 가장 높게 나타났고, 부산시의 오염도는 대구, 서울 다음으로 높게 나타났다.

2. 대기오염도 평가

2.1 계절별 오염도

3~5월을 봄, 6~8월을 여름, 9~11월을 가을, 1~2월 및 12월을 겨울로 나누어 계절별 오염도를 살펴본 결과 전체적으로 봄철 대기오염도가 가장 높고, 여름철 대기오염도가 낮은 것으로 나타났다. 계절별 농도변화가 뚜렷한 항목은 기상현상에 의한 영향을 많이 받는 O₃으로 봄, 여름, 가을, 겨울 순으로 높게 나타났고, 자동차배출가스 및 가정난방연료 사용과 관련있는 NO₂는 가을, 겨울, 봄 순으로 농도가 높게 나타났다. PM₁₀은 황사현상이 발생하는 봄철의 오염도가 매우 높게 나타났다. 계절별 오염물질 평균농도 및 오염도 변화추세는 Table 6 및 Fig. 3과 같다.

측정소별 오염도는, NO₂가 도로변에 가까이 위치한 대연동측정소에서 봄·가

을 · 겨울철에 가장 높았고, 여름철에는 감전동측정소에서 가장 높게 나타났다.

O₃의 오염도는 바닷가 가까이 위치하고 주변 오염물질 배출원이 적은 동삼동·기장읍측정소에서 봄 · 가을 · 겨울철에 높게 나타나 자연적인 오존의 영향을 받고 있는 것을 나타냈고, 여름철에는 덕천동측정소가 가장 높게 나타났다. PM₁₀은 주변 도로공사로 인한 영향을 받는 대저동측정소에서 봄 · 여름철 오염도가 높게 나타났고, 가을철에는 신평동, 겨울에는 감전동가 높게 나타났다.

시간대별로 SO₂는 새벽시간대 농도가

봄철 가장 높게, 여름철 가장 낮게 나타났고, 주로 출퇴근시간대 농도증가를 보였다. NO₂는 봄철에는 오전시간대, 겨울철에는 오후시간대의 농도가 높게 나타났으며, 사계절 모두 오전 · 오후 일일 2차 농도 피크형태를 뚜렷하게 나타냈다. O₃도 사계절 모두 낮시간대에 일최고농도가 나타났고, 봄철에는 새벽시간대 농도증가가 뚜렷하게 나타났다. CO는 여름철에 일중 농도변화폭이 매우 작게 나타났으며, PM₁₀은 오전 시간대 일최고농도가 나타났다. 계절별 시간대별 오염도 변화추세는 Fig. 4와 같다.

Table 6. Seasonal average conc. of atmospheric pollutants

계절 \ 항목	SO ₂ (ppm)	NO ₂ (ppm)	O ₃ (ppm)	CO (ppm)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
봄	0.009	0.030	0.033	0.6	76
여름	0.007	0.022	0.025	0.6	50
가을	0.007	0.027	0.022	0.7	53
겨울	0.008	0.029	0.020	0.8	57

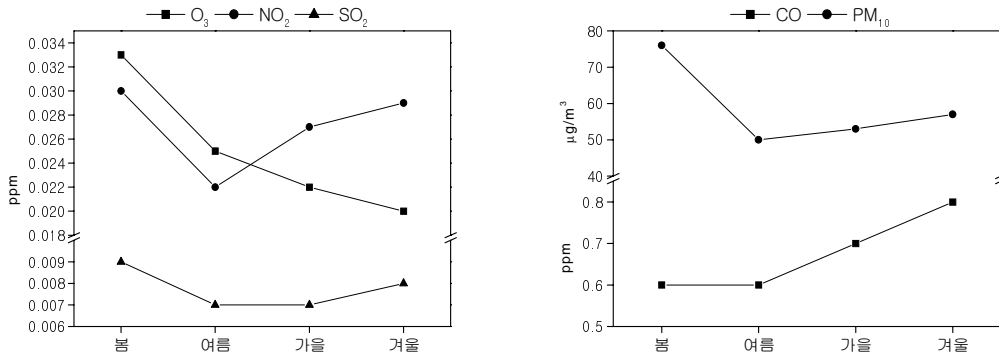


Fig. 3. Seasonal average conc. trend.

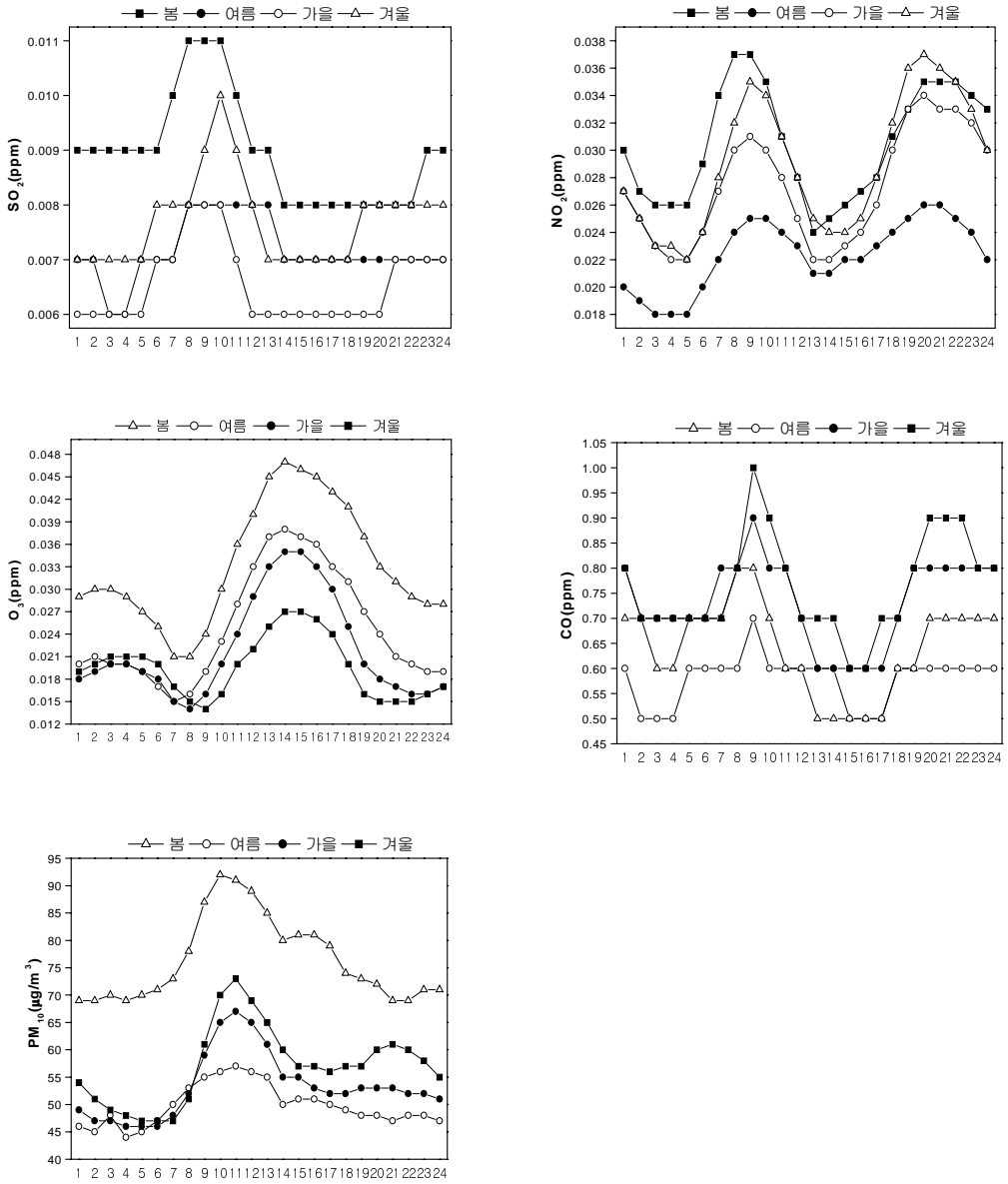


Fig. 4. Seasonal hourly average conc. trend.

2.2 월별 오염도

월별 오염도는 전체적으로 2월과 4월 중 오염도가 높게 나타났다. 항목별로는 SO₂·O₃이 4월, NO₂가 2월 · 11월, CO

가 2월, 11~12월, PM₁₀이 3월중 가장 높게 나타났다. SO₂는 4월중 농도가 높게 나타나 난방연료 사용증가로 동절기 오염도가 높았던 과거와 다른 농도특성

을 보여주었고, PM₁₀은 황사현상이 심하게 발생한 3월중 오염도가 가장 높게 나타났다. O₃과 NO₂는 연간 2차 피크(peak) 형태를 나타내었는데, O₃은 4월에 연중 최고농도를 나타낸 후 7월까지 감소하여 9월에 재증가하였고, NO₂도 2월과 11월에 연중 최고농도를 나타내었다. 항목별 월평균농도 및 연간 오염물질 변화추세는 Table 7 및 Fig. 5와 같다.

측정소별로 SO₂는 2월과 4월에 감전동, 광복동측정소에서 각각 오염도가 높게 나타났고, 동삼동측정소는 동절기에 오염도가 높게 나타났으며, 나머지 측정

소에서는 연중 농도변화가 뚜렷하게 나타나지 않았다. NO₂는 1월중 대연동측정소에서의 농도가 매우 높게 나타났고 연산·대연·재송동측정소를 제외한 나머지 측정소에서는 연중 농도변화가 뚜렷하게 나타나지 않았다. O₃은 전 측정소에서 연중 농도변화 추세가 유사하게 나타났고, CO는 감전동 4월, 범천동 8월, 대연동측정소에서 11월에 다른 측정소에 비하여 농도가 높게 나타났다. PM₁₀은 전 측정소에서 3월중 농도가 높게 나타났고, 동삼동측정소에서는 11월에 연간 가장 높은 농도가 나타났다.

Table 7. Monthly average conc. of atmospheric pollutants

항목 \ 월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SO ₂ (ppm)	0.007	0.009	0.009	0.010	0.009	0.007	0.007	0.007	0.006	0.006	0.007	0.006
NO ₂ (ppm)	0.026	0.033	0.031	0.031	0.029	0.025	0.021	0.021	0.023	0.025	0.033	0.028
O ₃ (ppm)	0.021	0.021	0.030	0.036	0.034	0.028	0.021	0.025	0.028	0.022	0.016	0.017
CO(ppm)	0.7	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	54	64	89	73	67	52	50	47	42	53	64	53

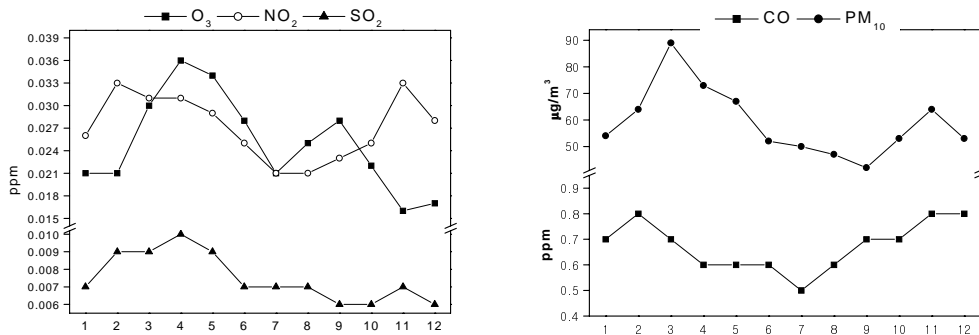


Fig. 5. Monthly average conc. trend.

평가분석

동시간대 및 시간차에 따른 항목 및 측정소간 오염도의 상호 관련성을 알아보기 위하여 상관분석(Correlation Analysis)을 실시하였고, 측정소간 농도특성의 유사성을 분석하기 위하여 군집분석(Cluster Analysis)을 실시하였다.

상관분석은 유의수준(p-value) 0.05 이하인 피어슨 상관계수(Pearson Correlation Coefficient)를 구하여 항목 및 측정소간 선형적인 관계를 분석하였고, 군집분석은 농도특성이 동질적인 측정소 집단을 알아보기 위하여, 설명비율(Proportion) 70%를 기준으로 주성분분석을 실시하였다. 기상과 대기오염도와의 상호관련성을 알아보기 위하여 풍향, 풍속, 일사량을 구간별로 나누어 기상변화에 따른 오염물질농도의 변화추세를 살펴보았다.

1. 항목간 농도특성 평가

분석자료는 연간 전체 측정소의 1시간

평균 SO₂, NO₂, CO, PM₁₀, PM_{2.5}농도 및 가지거리값을 측정소 구분없이 시간 평균한 값을 사용하였다.

1.1 동시간대 항목간 상관성 평가

동시간대 자료를 사용하여 상관분석을 실시한 결과 전체적으로 여러항목간 상관성이 있는 것으로 나타났다. 분석결과 O₃와 CO, NO₂ 간에는 약한 음의 상관, NO₂, CO, SO₂, PM_{2.5}, PM₁₀간에는 양의 상관, 시정거리와 PM₁₀ 및 PM_{2.5} 간에는 음의 상관이 나타났다. 즉 O₃의 농도가 높을때 CO와 NO₂의 농도는 낮았고, NO₂, CO, SO₂, PM_{2.5}, PM₁₀은 농도가 함께 증감하였으며, PM₁₀ 및 PM_{2.5}의 농도가 높을 경우 가지거리는 짧아지는 것으로 나타났다. 동시간대 항목간 상관계수값은 Table 8과 같다.

1.2 시간차에 따른 항목간

오염도 분석

현재의 오염도가 몇시간 전 오염도의 영향을 받는지와 시간 차이를 두고 각 항목간 어느 정도의 영향이 있는가를 알아

Table 8. Correlation coefficient between pollutants

	O ₃	NO ₂	SO ₂	CO	PM ₁₀	PM _{2.5}	가지거리
O ₃	1.000						
NO ₂	-0.360	1.000					
SO ₂	-0.147	0.669	1.000				
CO	-0.449	0.726	0.514	1.000			
PM ₁₀	0.085	0.413	0.438	0.348	1.000		
PM _{2.5}	-0.021	0.474	0.451	0.443	0.615	1.000	
가지거리	0.041	-0.351	-0.358	-0.302	-0.407	-0.594	1.000

보기 위하여 각 항목별로 지연상관분석(Lag Correlation Analysis)을 실시하였다. 분석은 각 항목별로 1~24시간 차이를 두고 상관분석을 실시하였고, 분석결과 O₃, NO₂, SO₂, CO, PM₁₀ 항목 모두 1시간전 자체농도와 가장 연관성이 높은 것으로 나타났다. 항목간에는 모두 1시간 차이를 두고 O₃과 CO·NO₂는 음의 상관, NO₂, SO, CO, PM₁₀ 간에는 양의 상관을 나타내었다. 즉 전항목의 농도가 전시간대 농도의 영향을 가장 많이 받는 것으로 나타났고, O₃의 농도가 증가할 경우 1시간 전 CO 및 NO₂ 농도는 감소하고, NO₂, SO, CO, PM₁₀은 전 시간대 오염도와 비례관계를 보이는 것으로 나타났다. 항목별 시간차에 따른 상관관계 및 항목간 시간차에 따른 상관관계는 Fig. 6, Fig. 7과 같다.

2. 측정소간 농도특성 평가

측정소간 농도특성의 유사성을 알아보

기 위하여, 각 항목별 연간 총 1시간 평균농도를 사용하여 상관분석 및 군집분석을 실시하였다.

SO₂ 및 CO는 전체적으로 측정소간 상관성이 낮게 나타났으며, 군집분석결과도 특별한 유사군집이 나타나지 않았다.

2.1 동시간대 오염도 유사성 분석

O₃은 광복동측정소의 농도가 다른 측정소와 상관성이 낮게 나타났으나 전 측정소간 상관성이 전체적으로 높게 나타났고 군집분석 결과 설명도 70.8%인 하나의 군집으로 나타나 부산지역 오존농도는 전체적으로 유사한 농도특성을 보이고 있는 것으로 나타났다.

NO₂는 범천동, 동삼동측정소의 농도가 나머지 측정소와 상관성이 낮게 나타났고, 군집분석 결과 설명도 64.1%로 범천·동삼동측정소 및 나머지측정소로 구성된 두 개의 군집으로 분류되었다. 좀 더 설명도를 70%이상으로 높이기 위

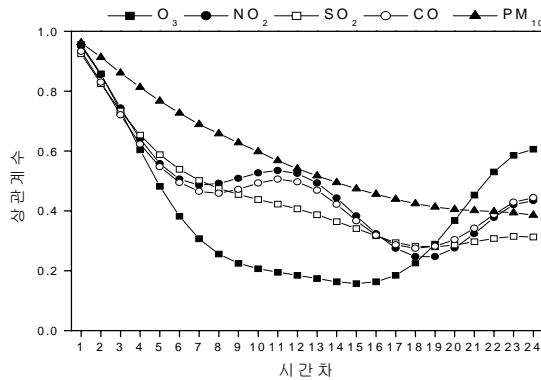


Fig. 6. Time Lag Correlation coefficient of O₃, NO₂, SO₂, CO, PM₁₀ respectively.

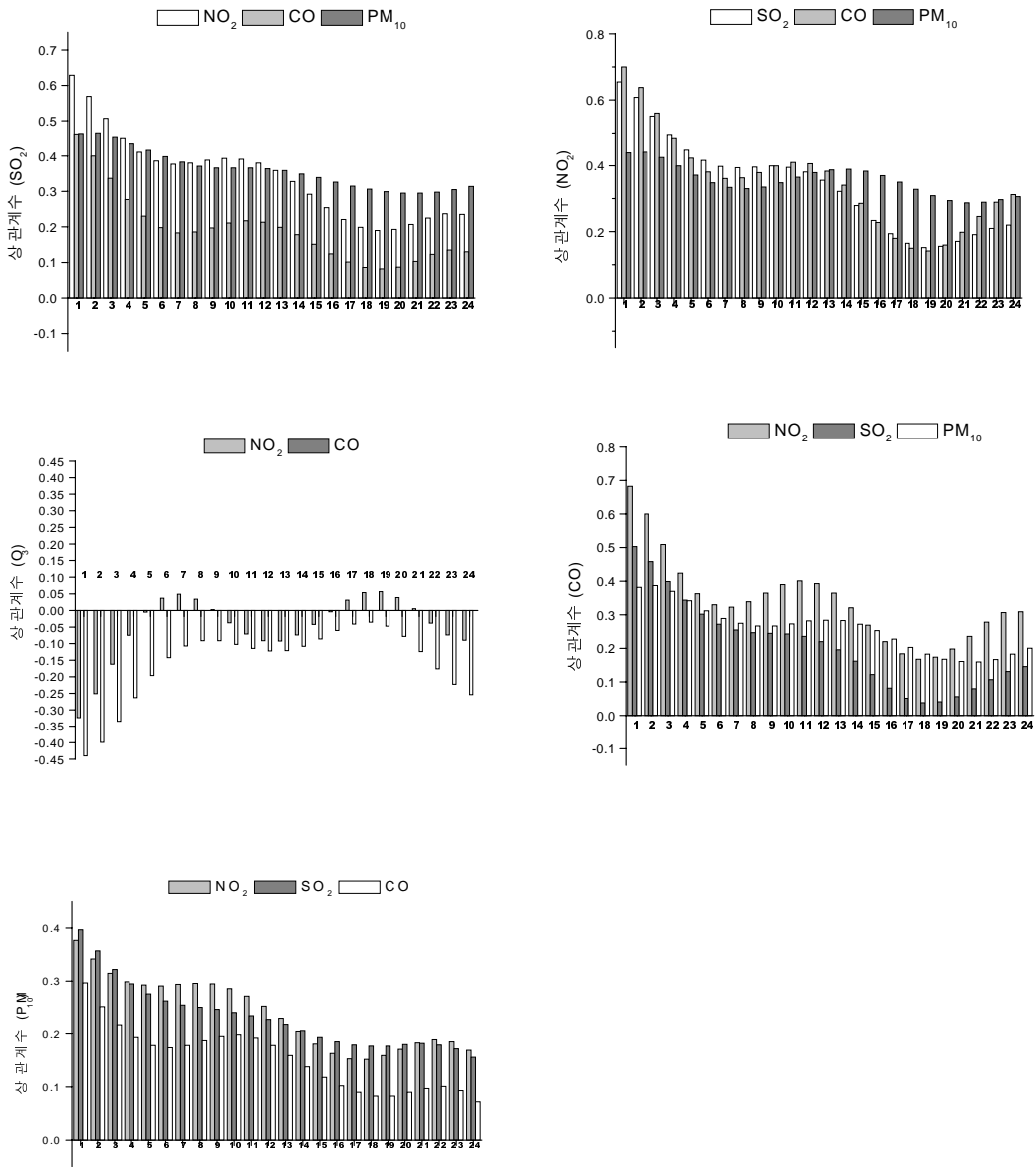


Fig. 7. Time Lag Correlation coefficient between pollutants.

하여 세분화한 결과 설명도 70.1%인 연산 · 대연 · 재송 · 기장읍, 범천 · 동삼동, 광복 · 신평 · 감전 · 덕천 · 대저동측정소로 크게 세 개의 유사한 측정소 집단으로

분류되었다. 즉 범천 · 동삼동측정소가 가장 유사한 농도특성을 보이는 것으로 나타났다.

PM_{10} 은 상관분석 결과 동삼동측정

소의 농도가 나머지 측정소와 상관성이 비교적 낮게 나타났으나, 군집분석결과 설명도 70.1%로 전측정소가 모두 유사한 한 개 군집으로 분류되어 전 측정소의 농도특성이 유사한 것으로 나타났다.

2.2 시간차에 따른 오염도 분석

측정별로 현재의 오염도가 몇시간 전 오염도의 영향을 받는지와 시간 차이를 두고 각 측정소 농도간 어느 정도의 영향이 있는가를 알아보기 위하여 1시간 평균오존농도에 대한 지연상관분석을 실시하였다. 분석은 측정소별로 1~24시간 차이를 두고 각 측정소의 시간에 따른 오존농도간 상관분석 및 측정소 오존농도간 시간차에 따른 상관분석을 실시하였다. 분석결과 광복 · 기장 · 대저 · 동 · 재송 · 감전동측정소 및 신평동측정소

에서 각각 1~3시간 전 및 4~13시간 전 오존농도와 상관성이 있는 것으로 나타났다. 각 측정소별 시간차에 따른 오존농도간 지연상관분석 결과는 Fig. 8과 같다.

측정소간 시간차에 따른 오존농도에 대한 상관분석 결과 기장을 및 대저동측정소에서 각각 나머지 모든 측정소와 상관성이 있는 것으로 나타났는데, 대저동측정소에서는 1시간 전 인접한 감전동측정소와 상관계수 0.782로 상관성이 가장 크게 나타나 감전동측정소의 오존농도가 증가할 경우 1시간 뒤 대저동의 오존농도가 증가하는 것으로 나타났으며, Fig. 9와 같다.

덕천 · 연산 · 대연 · 범천동측정소는 시간차에 따른 오존농도간 상관성이 나타나지 않았고, 다른 측정소로 부터의 영향도 받지 않는 것으로 나타났다.

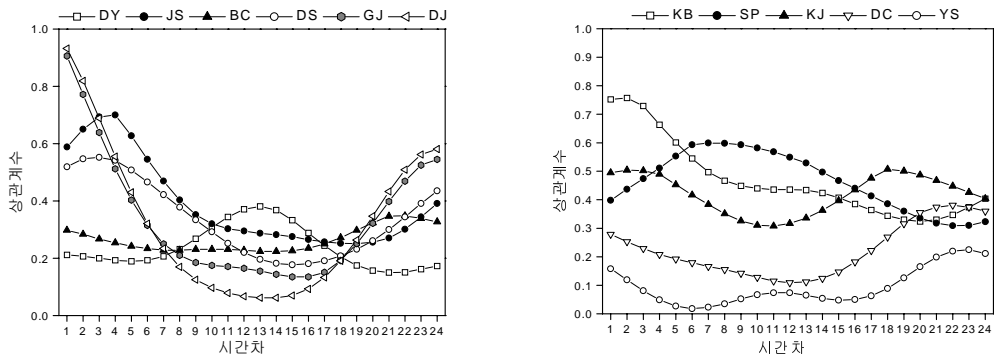


Fig. 8. Time Lag Correlation coefficient of O₃ of each monitoring sites.

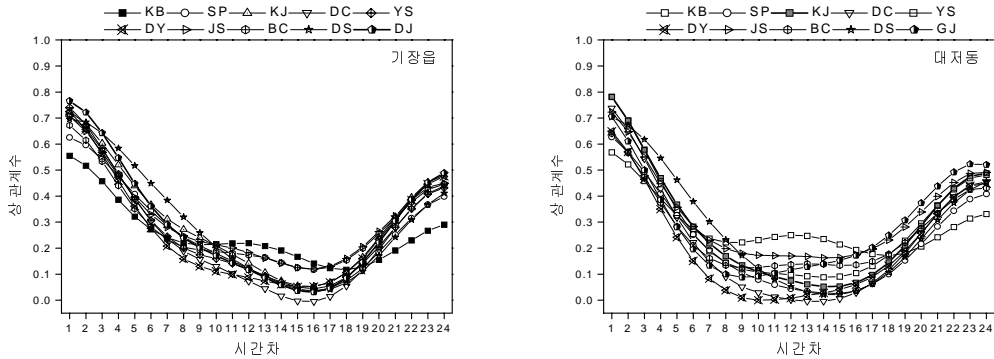


Fig. 9. Time Lag Correlation coefficient of O₃ between Gijang(Daejeo) and other sites.

3. 기상변화에 따른 대기오염도 분석

부산시에서 운영하는 3개측정소 중 기장·대저동측정소의 측정자료를 사용하여 기상변화에 따른 주요 5개 오염물질인 SO₂, NO₂, O₃, CO, PM₁₀의 농도변화를 살펴보았다. 기상항목 중 풍향, 풍속은 두 측정소의 1시간 평균 측정값을 사용하였고, 일사량과 UVa값은 측정장비가 있는 대저동측정소의 자료를 사용하였다.

3.1 풍향에 따른 오염도 변화

풍향자료는 동시간대 풍속이 0.5m/sec 이상인 자료를 추출하여 0~360°로 측정되는 시간평균 풍향값을 22.5°씩 16방위로 나누어 사용하였다.

풍향과 오염물질 농도간 관련성을 조사한 결과 기장읍측정소는 남동풍계열의 바람이 불 때 SO₂, NO₂, O₃, PM₁₀의 농도가 증가한 것으로 나타났고, 대저동측정소는 전체적으로 SO₂, O₃, PM₁₀ 농도

는 북풍이 부는 경우, NO₂농도는 남동풍계열의 바람이 부는 경우 오염도가 증가하는 것으로 나타났다. CO 농도는 두 측정소 모두 풍향에 따른 농도변화가 뚜렷하게 나타나지 않았다. 기장읍, 대저동측정소의 풍향에 따른 오염물질의 농도 변화는 Fig. 10 및 Fig. 11과 같다.

3.2 풍속에 따른 오염도 변화

시간평균풍속을 0.5m/sec 이하, 0.5~2.0m/sec, 2.0~4.0m/sec, 4.0~6.0m/sec, 6.0~8.0m/sec, 10m/sec이상 총 6개 구간으로 나누어 구간별 오염물질의 평균농도를 살펴본 결과 SO₂, NO₂, CO는 풍속이 강해질수록 오염도가 낮아졌으나, O₃과 PM₁₀은 풍속이 강해질수록 오염도가 증가하는 것으로 나타났다. 일반적으로 풍속이 강할수록 대기중 오염물질의 확산이 강해져 오염도가 감소하는데 O₃과 PM₁₀의 농도증가는 오염물질의 이류에 의한 영향을 받고 있는 것으로

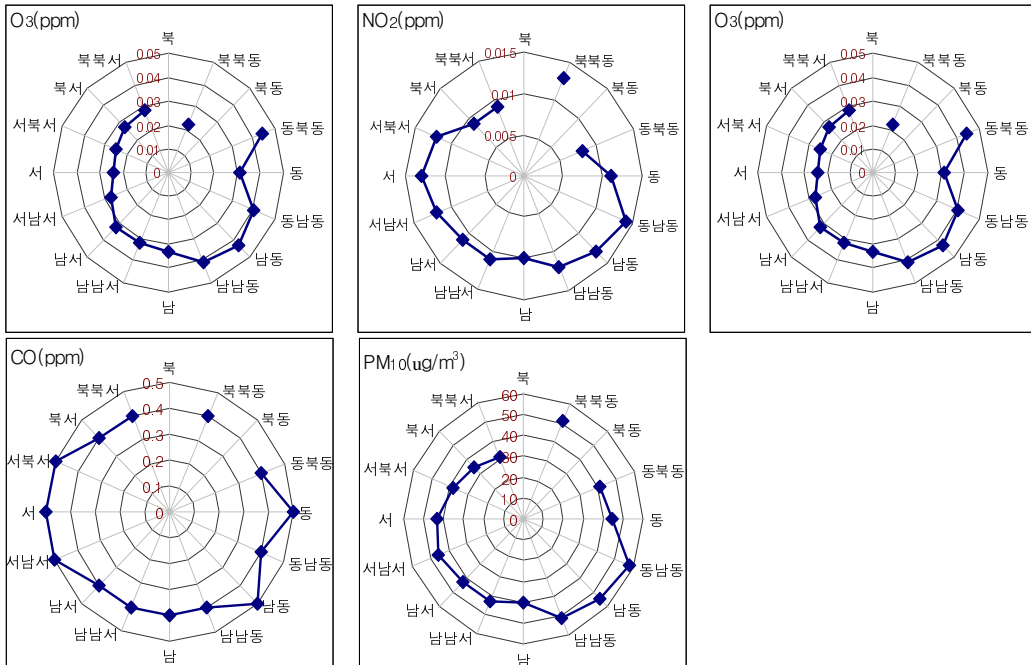


Fig. 10. Pollutant average conc. by wind direction of Gijang monitoring site.

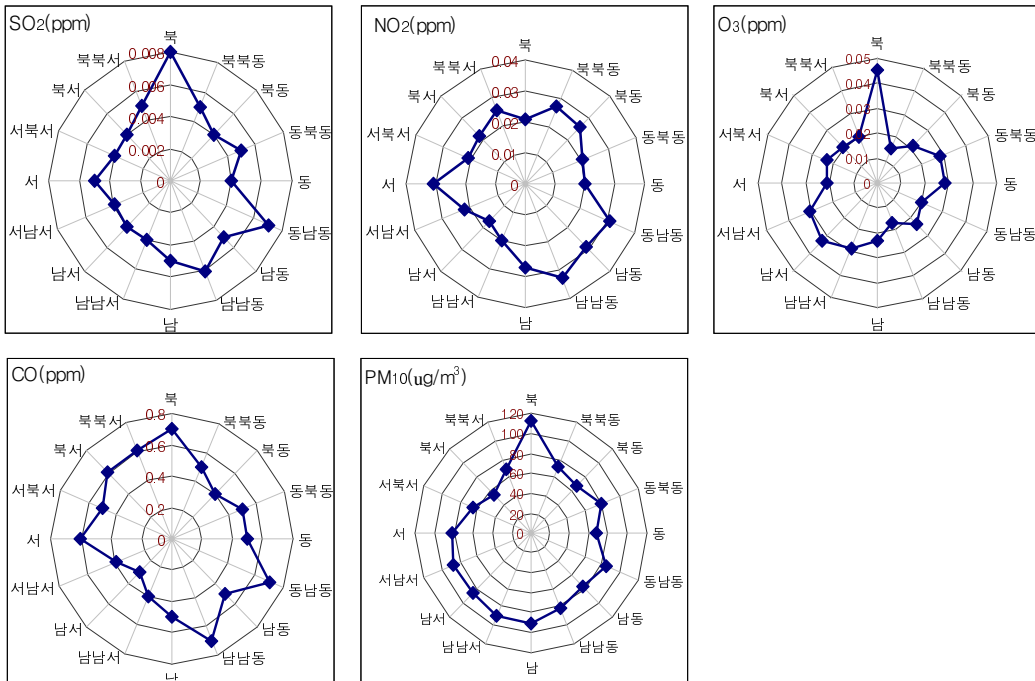


Fig. 11. Pollutant average conc. by wind direction of Daejeo monitoring site.

나타났다. 풍속 구간별 평균 오염물질 농도는 Table. 9 및 Fig. 12와 같다.

3.3 일사량 및 UVa에 따른 오염도 변화

일사량 및 UVa와 대기오염물질 농도 간 상관분석을 실시한 결과 O₃과 약한

양의 상관성을 나타내었다. 오존농도와 의 관련성을 살펴보기 위하여 일사량을 200W/m²씩 5개 구간, 태양에너지 중 320~400nm파장의 에너지만을 측정 한 UVa값을 10W/m²씩 5개 구간으로 나누어 각 구간별 일평균, 일최고, 일최저 오존농도를 계산하였다.

Table 9. Pollutant average conc. by wind speed grade

풍속 \ 항목	SO ₂ (ppm)	NO ₂ (ppm)	O ₃ (ppm)	CO (ppm)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
0.5~2.0m/sec	0.021	0.006	0.022	0.5	63
2.0~4.0m/sec	0.015	0.005	0.032	0.5	55
4.0~6.0m/sec	0.012	0.005	0.039	0.4	57
6.0~8.0m/sec	0.008	0.004	0.043	0.4	58
10m/sec이상	0.009	0.002	0.045	0.4	102

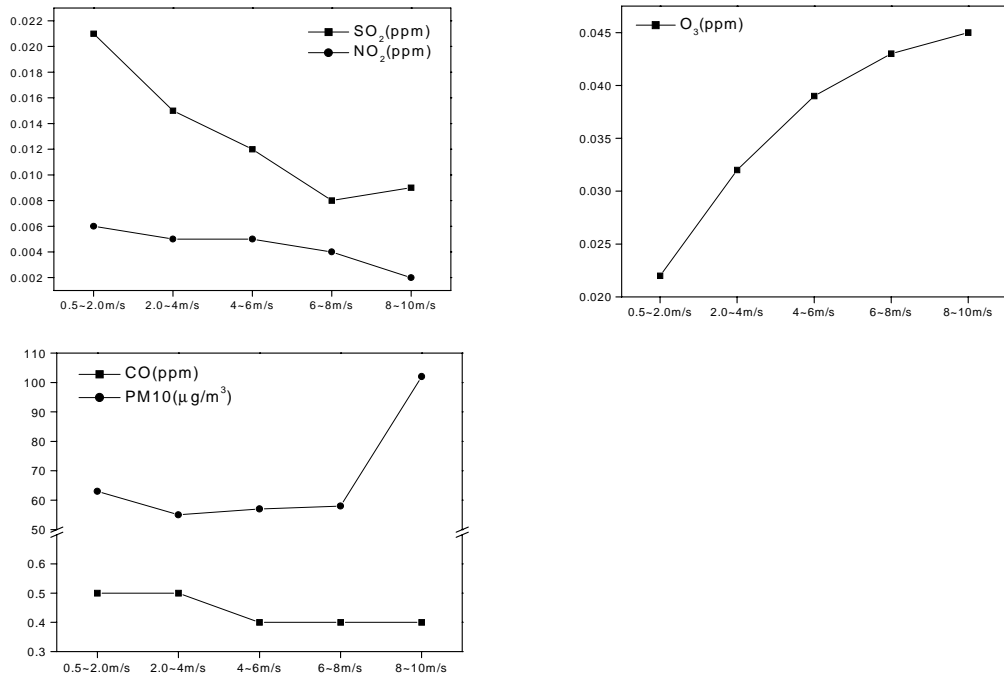


Fig. 12. Variation of pollutant average conc. by wind speed grade.

분석결과 일사량의 증가에 따라 일평균·일최저 오존농도는 증가하였으나 일최고 오존농도는 일사량이 600W/m²이상으로 증가할 경우 감소하는 것으로 나타났고, UVa값의 증가에 따라 일최저 오존농도값은 증가하였으나 일평균오존농도는 UVa값이 30W/m²이상일 경우, 일최고오존농도는 UVa값이 10W/m²이상인 경우 감소하는 것으로 나타나 일사량 및 UVa값이 매우 강한 경우 대기중의 확산이 활발히 일어나 오존농도가 상

대적으로 감소함을 보여주었다. 일사량 및 UVa값 구간별 평균오존농도는 Table 10 및 Fig. 13과 같다.

결 론

2001년 부산시 12개 대기오염자동측정소의 1시간 평균 대기오염물질 농도 및 기상측정자료를 사용하여 부산시의 대기질 평가를 실시한 결과 아래와 같은

Table 10. Average O₃ conc. by solar radiation and UVa value class

일사량 농도	일사량(W/M ²)					UVa(W/M ²)				
	200미만	200~400	400~600	600~800	800이상	<10	10~20	20~30	30~40	50<
일평균	0.018	0.028	0.035	0.045	0.054	0.018	0.032	0.041	0.044	0.024
일최고	0.100	0.101	0.113	0.096	0.084	0.101	0.113	0.096	0.084	0.047
일최저	0.000	0.001	0.003	0.007	0.010	0.000	0.002	0.004	0.007	0.010

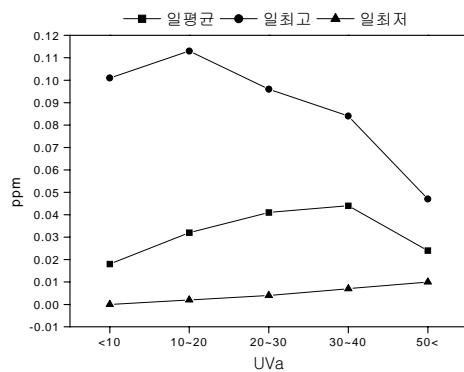
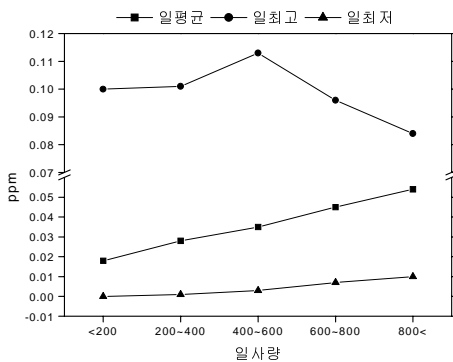


Fig. 13. Variation of average O₃ conc. by solar radiation and UVa value grade.

결론을 얻었다.

1. 연평균농도는 전년 대비 SO₂, CO, PM₁₀은 감소, O₃과 NO₂는 증가하였고 1991년 이후 매년 SO₂ · CO · PM₁₀은 감소, O₃은 증가추세를 보였다. 측정소별로 O₃은 동삼동 · 기장읍, NO₂는 대연동, SO₂는 광복동 · 신평동 · 감전동, CO는 감전동, PM₁₀은 대저동 측정소에서 연평균오염도가 가장 높게 나타났으며, 기장읍측정소에서 O₃을 제외한 나머지 항목의 오염도가 가장 낮게 나타났다.
2. 대기환경기준 초과회수는 O₃이 1시간기준 52회, 8시간기준 270회씩 초과하여 전년대비 증가하였고, PM₁₀은 24시간기준을 총 60회 초과하여 감소하였다. 전체적으로 전년에 비하여 O₃ 8시간 기준초과횟수가 전 측정소에 걸쳐 크게 증가하였다. 그리고 O₃ 8시간 및 PM₁₀ 24시간 평균농도가 연간 환경기준을 달성치 못한 것으로 나타났다.
3. 타 시 · 도 대비 오염도
전체적으로 부산지역 O₃의 오염도가 서울 및 5대 광역시에 비하여 상대적으로 높은 것으로 나타났고, 그외 항목은 유사하거나 낮게 나타났다.
4. 계절별 오염도는 전체적으로 봄철 가장 높고, 여름철 가장 낮게 나타났다. O₃은 봄, NO₂는 가을에 높게 나타났다고, PM₁₀은 황사현상이 발생하는 봄철의 오염도가 매우 높게 나타났다.
5. 월별오염도는 전체적으로 2월과 4월 중 오염도가 높게 나타났다. SO₂·O₃은 4월, NO₂는 2월·11월, CO는 2월, 11~12월, PM₁₀은 3월 중 오염도가 가장 높게 나타났다.
6. O₃의 농도가 높을때 CO와 NO₂의 농도는 낮고, NO₂ · CO · SO₂ · PM_{2.5} · PM₁₀은 함께 농도가 증감하였으며, PM₁₀ 및 PM_{2.5}의 농도가 높을 경우 가시거리는 짧아지는 것으로 나타났다. 전항목의 농도가 1시간 전 농도의 영향을 가장 많이 받는 것으로 나타났고, O₃의 농도가 증가할 경우 1시간전 CO 및 NO₂의 농도는 감소하고, NO₂ · CO · SO₂ · PM₁₀은 1시간전 오염도와 비례관계를 보이는 것으로 나타났다.
7. O₃, PM₁₀농도는 모든 측정소가 유사한 농도특성을 보이는 것으로 나타났다. NO₂는 범천 · 동삼동측정소가 가장 유사한 농도특성을 보였고, SO₂ 및 CO는 전체적으로 측정소간 유사성이 낮게 나타났다. O₃농도는 감전동측정소에서 증가할 경우 1시

간 뒤 대저동측정소에서 증가한 것으로 나타났다.

8. 기장읍측정소는 주로 남동풍계열의 바람이 불 때, 대저동측정소는 북풍이 부는 경우 오염도가 증가하였다. 풍속이 강할수록 SO_2 · NO_2 · CO의 농도는 감소하였으나, O_3 과 PM_{10} 은 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 일사량 및 UVa값이 매우 높을 경우 O_3 농도는 감소하는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. D.BUTLER, 대기화학, 동화기술, 45~48, 1995.
2. 김희강 외, 대기오염개론, 동화기술, 76~77, 1993.
3. 이창기, 환경과 건강, 1993.
4. 환경부, 대기환경연보(2000), 2001.
5. 환경부, 대기오염측정망설치·운영지침, 2001.
6. 환경관계법규 대기편, 1998.
7. 김기영, 문권순, 전명식, SAS 상관분석, 자유아카데미, 1996.
8. 김충련, SAS라는 통계상자, 데이터리서치, 1996.