

## 김해지방의 대기오염 특성

박종길·김종필·김지형  
인제대학교 환경학과  
(1998년 10월 26일 접수)

### Characteristics of Air Pollution at Kimhae

Jong-Kil Park, Jong-Pil Kim, and Ji-Hyung Kim  
Dept. of Environmental Sciences, Inje University, Kimhae 621-749, Korea  
(Manuscript received 26 October 1998)

This paper aims to describe the characteristics of air pollution using air pollutants concentration and meteorological data observed at Kimhae from December, 1996 to November, 1997. The results are as follows :

The concentration distribution of sulfur dioxide(SO<sub>2</sub>), carbon monoxide(CO), particulate matter(PM-10), and nitrogen dioxide(NO<sub>2</sub>) is high during the late fall and winter and low during the summer, but ozone concentration is low during the winter season and high during summer season except Jangma period and these distributions appear to be closely connected with insolation and the number of clear day.

Diurnal variation of concentrations for sulfur dioxide, particulate matter, and carbon monoxide are high during the rush hours and nighttime and low during the daytime and these variations are distinct toward the winter season. And diurnal variation of nitrogen dioxide concentration has also same pattern and these patterns are closely related to the increasing traffic volume at rush hours. Diurnal variation of ozone concentration is generally increase for daytime and decrease for the late afternoon and are closely related to the insolation and photochemical reaction.

The 24 hour average concentrations of air pollutant observed at Kimhae represented a positive correlation and a negative correlation for O<sub>3</sub> and also a negative correlation for the meteorological elements such as wind speed and cloud cover.

Key words : air pollution, traffic volume, insolation, diurnal variation, meteorological element

#### 1. 서 론

오염물질은 인간의 활동에 의해 발생하므로 대기오염의 역사는 역사시대 이전으로 거슬러 올라간다고 주장하는 사람도 있다. 대기오염은 오염물질의 다량 배출에 의해 발생하지만, 배출량이나 배출원의 조건에 큰 변화 없이도 지역 대기환경은 시간적, 공간적으로 크게 변화한다. 그러므로 지역 대기의 환경을 개선하기 위해서는 해당 지역의 지형과 기상조건(weather conditions)을 포함하여 그 지역에 산재한 대기 오염원의 관리가 무엇보다도 중요하다.

특히 김해시는 김해군과의 통합으로 시역이 확대되고 중규모 도시로의 발전을 꾀하고 있는 바, 지리적으로 해안가와 인접하여 있고 다른 한쪽은 산으로 둘러싸여 해안분지를 이루고 있을 뿐 아니라, 공업지역과 주거지역 그리고 농공단지가 형성되어 도시 전역에 각종 오염원이 분포하고 있으므로, 인근 연안에서 발달하는 국지풍인 해륙풍과 산곡풍의 영향을 받아 오염물질이 순환되

며 이들이 체류하거나 수렴할 경우, 또는 대기가 매우 안정하여 분지 내에 무풍상태가 지속될 경우 국지적으로 고농도 오염을 나타낼 수 있는 조건이 된다.

대기오염의 지역적 특성에 관한 선행연구로는 박옥현<sup>1,2)</sup>이 부산에서의 기인물질 발생원의 특성과 오존생성 및 고농도 오존 계절에 NMHC 와 NO<sub>x</sub> 의 분포에 대한 연구를 하였으며, 박옥현과 장은숙은 부산에서 오존농도가 현저히 높았던 날의 기상 특성을 연구하였다. 이들은 모두 특정 물질이 고농도가 되었을 때의 현상에 대한 연구로 아직 환경기준치를 초과하는 경우가 그리 많지 않아 연구 결과가 잘 적용되지 못하는 문제를 내포하고 있다. 지형적으로 김해와 유사하게 해안에 인접해 있는 부산 광복동지점의 대기오염농도를 가지고 그들의 특성을 분석한 박종길<sup>3)</sup>은 아황산가스와 부유분진, 그리고 일산화탄소는 겨울과 늦가을에 농도가 높고 하계에는 낮은 분포를 보이며 특히 아황산가스의 농도는 평균기온과 풍속, 상대습도 사이에 음의 상관성이 있으며 풍속이 가장

큰 상관을 보인다고 하였다.

본 연구는 1995년 5월 10일 김해시·군의 통합으로 형성된 도농 복합도시이며 최근 도시화, 산업화를 서두르고 있는 김해를 대상으로 관측되어진 5개 대기오염물질(SO<sub>2</sub>, PM-10, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO)농도의 발생빈도와 시간별, 월별, 계절별 변화 및 기상요소와의 상관관계를 조사 분석하여 대기오염의 특성을 파악하고자 한다.

2. 자료 및 연구방법

김해지방의 대기오염 특성을 분석하기 위하여 김해시 중심가에 위치한 동상동 지점에서 관측한 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, PM-10, O<sub>3</sub>의 일평균 농도(1996년 12월~1997년 11월) 자료를 사용하여 각 오염 물질별 농도에 따른 발생빈도 분포를 조사하였으며, 월별, 계절별 시계열 분포를 비교 분석하였고 각 오염물질의 일변화 경향을 계절별로 분석하였다. 그리고 김해시 기상자료(1996년 12월~1997년 11월)중 일평균 기온과 풍속, 그리고 운량, 기압, 상대습도를 이용하여 기상요소와 대기오염물질의 농도와의 상관성을 알아보기 위해 상관계수를 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 대기오염물질농도의 발생빈도 및 월별, 계절별 분포특성

3.1.1 아황산가스(SO<sub>2</sub>)의 분포

김해시에서 관측되어진 SO<sub>2</sub>의 일 평균농도의 발생빈도는 Fig. 1과 같으며 2.5 ppb이하에서 62.5 ppb까지 13개 계급으로 구분되며 가장 많은 빈도를 나타낸 것은 12.6 ~ 17.5 ppb 사이로 121일 발생하여 전체의 37%를 차지하였고 7.6 ~ 22.5 ppb가 전체의 82.3%를 차지하고 있어 아직 환경기준(140 ppb)을 초과하는

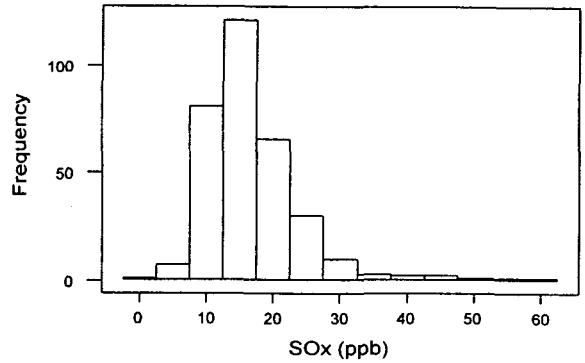


Fig. 1. Occurrence frequency of 24 hour average concentration of sulfur dioxide at Kimhae from December, 1996 to November, 1997.

날이 없었음을 알 수 있다. SO<sub>2</sub>의 월 평균분포를 보면(Table 1 참조) 8월이 10 ppb로 가장 낮고 12월이 26 ppb로 가장 높게 나타났으며 연평균 16.67 ppb를 나타내 우리나라의 연평균 대기환경기준치(연평균 30 ppb)에 못 미치고 있으나, 겨울철에는 월별 최고 값이 24시간 평균치(140 ppb)를 초과하고 있음을 알 수 있다.

난방이나 산업활동에 의해 배출되어지는 SO<sub>2</sub>의 계절별 시계열분포(Fig. 2)를 보면 겨울철에는 대체로 10 ~ 60 ppb 사이의 높은 농도를 나타내고 있으며, 봄철은 10 ~ 30 ppb 범위로 겨울보다는 낮으나 여름철에 비해 다소 높은 농도범위를 나타내고 있다. 가을철에 들어 점차 농도가 증가하다가 늦가을에는 SO<sub>2</sub>의 농도가 봄철의 수준으로 증가하는 것을 알 수 있다.

따라서 김해지방의 SO<sub>2</sub> 농도 분포는 늦가을과 겨울철

Table 1. Monthly mean concentration of air pollutants in Dongsang-dong of Kimhae city (1996. 12 - 1997. 11)

		Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Annual
SO <sub>2</sub> ppb	max	169	146	141	79	66	53	39	36	21	31	36	49	169
	min	6	5	6	7	7	4	4	4	2	3	5	3	2
	avg	26	17	17	19	17	16	15	15	10	13	16	19	16.67
CO 0.1ppm	max	51	41	35	30	24	59	13	16	18	23	25	25	59
	min	5	6	8	6	6	5	2	2	5	3	6	6	2
	avg	22	19	19	13	11	10	6	7	10	8	12	13	12.5
O <sub>3</sub> ppb	max	47	54	59	56	72	59	119	58	79	74	47	41	119
	min	1	2	1	0	1	1	1	1	1	4	1	1	0
	avg	16	21	23	24	22	19	21	16	19	27	17	10	19.58
NO <sub>2</sub> ppb	max	69	62	54	66	69	48	64	95	75	98	114	111	114
	min	5	4	2	4	7	3	1	4	1	1	1	4	1
	avg	30	22	20	23	22	20	22	32	23	21	37	38	25.83
PM10 µg/m <sup>3</sup>	max	357	270	329	283	246	243	208	257	239	174	177		357
	min	11	11	11	11	11	11	11	11	10	11	10		10
	avg	108	78	88	80	83	68	80	73	54	52	64		75.27

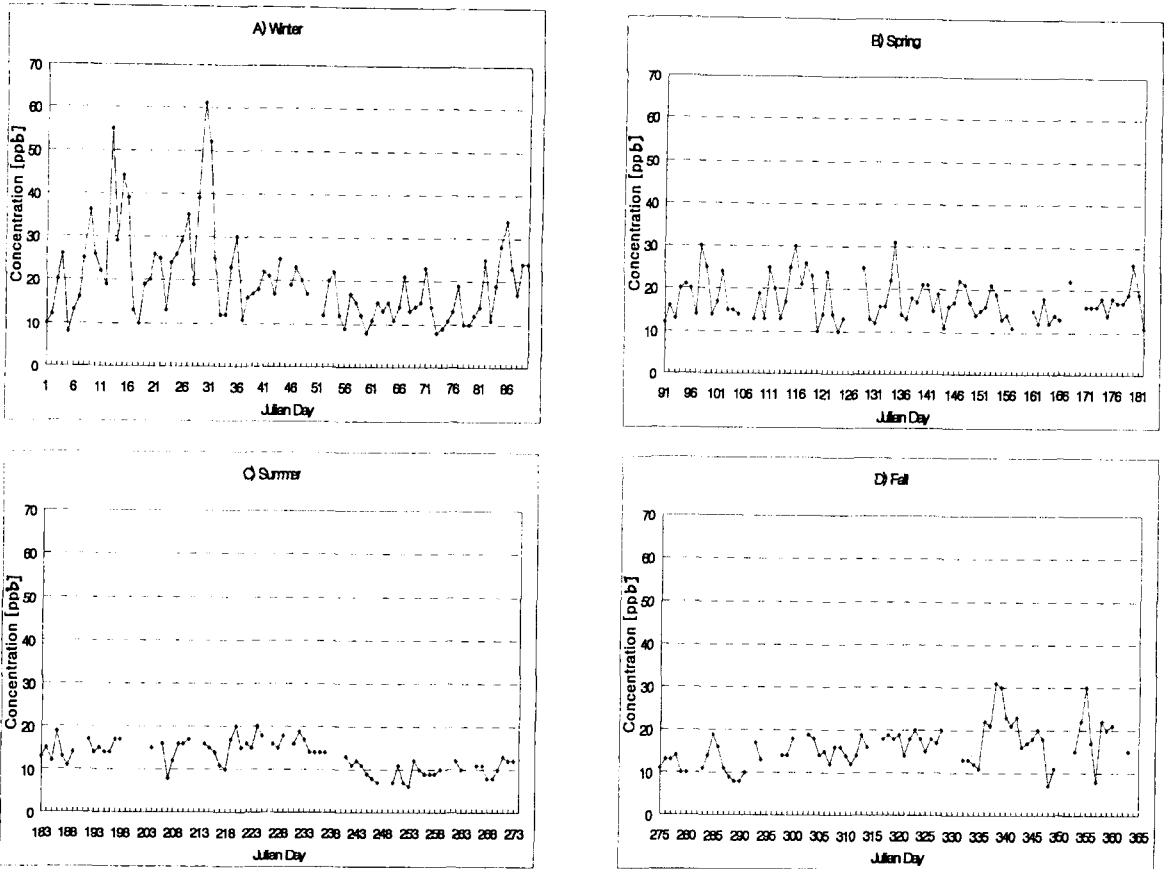


Fig. 2. 24 hour average concentration of sulfur dioxide for A) winter, B) spring, C) summer and D) fall at Kimhae from December, 1996 to November, 1997.

에는 농도가 높고 하계로 갈수록 농도가 낮아지는 주기적인 분포를 보이고 있으며 다른 도시의 경우와 유사한 분포를 보이고 있다. 아직은 단기 환경기준치(140ppb /day) 보다는 낮으나, 일본의 일 평균 기준치(40 ppb)와 비교할 경우, 겨울철은 기준을 초과하는 고농도의 날이 나타났으며, 하계에는 장마와 같은 강수에 의한 rainout과 washout에 의한 세정작용의 영향으로 농도가 낮았음을 알 수 있었다. 또한 최근 도시 내에 늘어나고 있는 차량 증가와 동계에 도시 난방이나, 산업용, 교통용 연료소비가 증가됨을 잘 반영해주고 있어 LNG와 같은 청정연료의 공급계획의 수립 및 실천이 필요할 것으로 생각된다.

### 3.1.2 분진( PM-10 )의 분포

각종 산업시설에서 화석연료의 연소 또는 디젤 자동차의 증가에 의한 인위적인 배출원에서 주로 발생하는 입경 10 $\mu$ m이하의 먼지<sup>4,5)</sup>인 PM-10의 일 평균농도의 발생빈도를 보면 Fig. 3과 같다. 가장 많은 빈도를 나타낸 일 평균농도는 51 ~ 70  $\mu$ g/m<sup>3</sup>의 범위로 24%의 빈도를 나타내었으며, 31 ~ 110  $\mu$ g/m<sup>3</sup>의 범위가 전체의 79.8%나 되었고 일일 환경기준( 150 $\mu$ g/m<sup>3</sup> )을 초과한 날도 7일이나 관측되었다.

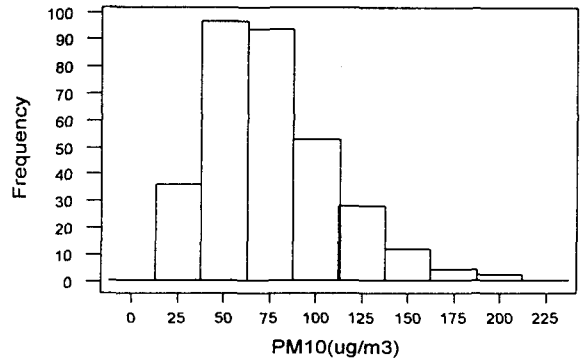


Fig. 3. Occurrence frequency of 24 hour average concentration of particulate matter(PM-10) at Kimhae from December, 1996 to November, 1997.

PM-10의 일 평균분포를 보면 1년 중 가장 높은 농도를 나타낸 월은 12월로 108  $\mu$ g/m<sup>3</sup>을 나타내었고 9월이 52  $\mu$ g/m<sup>3</sup>으로 가장 낮은 농도를 나타내었다(Table 1 참조). 연평균은 75.27  $\mu$ g/m<sup>3</sup>으로 우리 나라 환경기준치( 80  $\mu$ g/m<sup>3</sup>)보다는 약간 낮았으나, 동계에는 SO<sub>2</sub>의

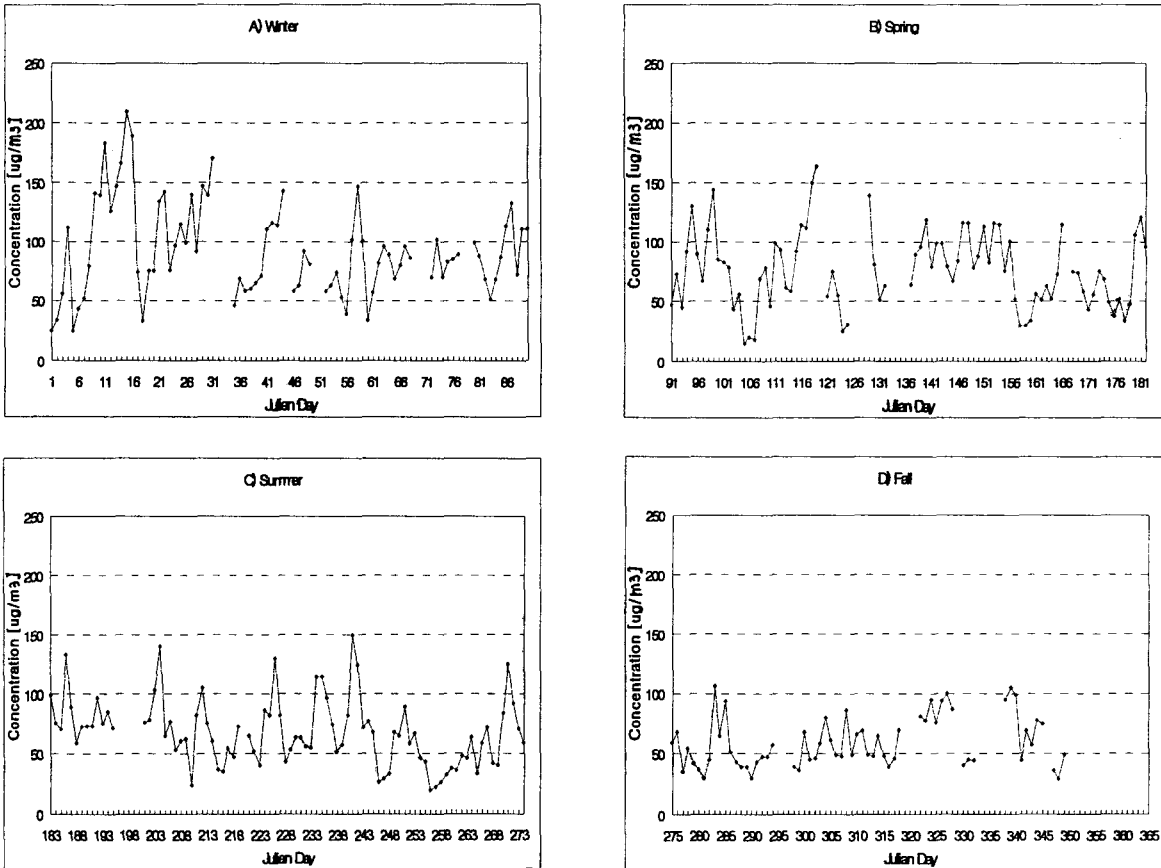


Fig. 4. 24 hour average concentration of particulate matter(PM-10) of A) winter, B) spring, C) summer and D) fall at Kimhae from December, 1996 to November, 1997.

최고농도와 함께 환경기준치를 초과하는 경우가 많았고 하계에는 다소 낮았다. 계절별 시계열분포(Fig. 4)에서도 동계에는 25~220  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  사이의 농도로 비교적 높게 나타났으며 12월은 일 평균 환경기준치(150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )를 초과하는 날이 많았다. 봄철에는 일 평균치를 초과하는 날은 그리 많지는 않았으나 대체로 20~170  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  사이의 범위를 나타내었으며, 여름철에는 봄철에 비해 다소 낮은 농도를 나타내었다. 가을철에는 25~110  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 더욱 낮은 농도를 보였다. PM-10의 경우도  $\text{SO}_2$ 와 마찬가지로 늦가을에 접어들면서 농도가 다소 증가하는 양상을 보이나, 본 연구 대상지인 김해 동상동의 경우, 11월에 결측이 많아 자세히 알 수는 없었다.

이와 같이 김해지역의 PM-10의 농도가 동계에는 높고 환경기준을 초과하는 날이 많으며 하계는 다소 낮게 나타나 최근 김해시로 유입되는 인구나 주택 및 차량의 증가와 공업지역의 확대에 따른 것으로 생각되며 이 경향은 박종길<sup>3)</sup>이 지적한 부산의 경우와도 일치하나, 농도에는 다소 차이가 있었다. 즉 부산은 총부유분진(TSP)을 나타내었고 본 연구는 호흡성 분진인 PM-10을 나타낸 것이며, 또한 하계의 강수량과 PM-10 농도의 일변화를 나타낸 Fig. 5에서 볼 수 있듯이 여름철의 장마기

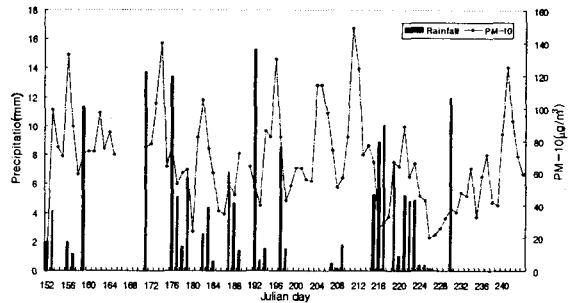


Fig. 5. The distribution of rainfall(mm) and PM-10 concentration during summer at Kimhae.

간에도 PM-10의 농도가 크게 감소하지 않은 것은 대기 불안정도와 습성침적에 의해 대기 중에서 제거되는 분진의 size에 관련있다고 생각되어진다. 이는 입경별 세정특성을 연구한 Zinder et al.<sup>6)</sup>가 0.5~4  $\mu\text{m}$ 의 입경범위에서는 거의 세정이 일어나지 않으며 0.3  $\mu\text{m}$  이하의 입경에서는 10%의 세정효과가 나타난다고 지적한 것과 잘 일치하고 있다.

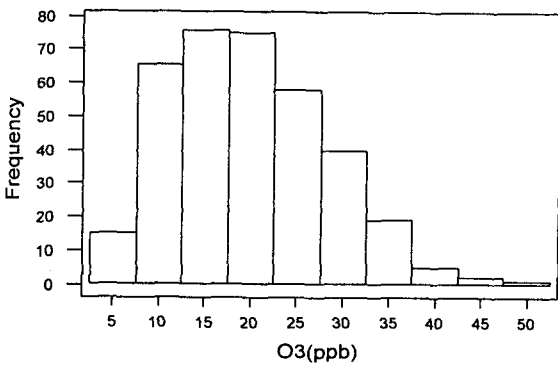


Fig. 6. Occurrence frequency of 24 hour average concentration of Ozone at Kimhae from December, 1996 to November, 1997.

3.1.3 오존 (O<sub>3</sub>)의 분포

오늘날 도시 대기오염을 이루는 주요 물질은 O<sub>3</sub>으로 많은 연구와 관측이 행해지고 있다. 특히 지상의 O<sub>3</sub>은 대부분 인간의 산업활동에 의해 형성되며, 성층권 O<sub>3</sub>과 달리 강한 산화성 때문에 흡입시 두통, 현기증, 구토, 발열의 전신 증상과 지각장애, 경련, 의식장애 등의 신경

증상을 보이는 등 인간의 건강을 해칠 뿐 아니라, 동식물과 농작물에 직접 피해를 주는 심각한 대기 오염물질이 되고 있다<sup>7)</sup>.

김해시에서 관측된 O<sub>3</sub>의 일 평균농도의 발생빈도를 보면(Fig. 6), 가장 많은 빈도를 나타낸 농도는 12.6 ~ 17.5 ppb로 전체의 21.3%를 나타내고 있으며 7.6 ~ 27.5 ppb사이 계급이 김해시에서 관측된 일 평균 오존농도의 77.3%를 차지하였다.

이러한 O<sub>3</sub>의 농도는 일사량이 많아지는 하계(6-8월)에 그 농도가 높으며, 광화학스모그를 야기하기도 한다<sup>8)</sup>. 본 연구 기간동안 김해는 Table 1에서 보듯이 9월이 27 ppb로 가장 높은 농도를 나타내었으며, 11월이 10 ppb로 가장 낮은 농도를 나타내었다. 환경기준치(8시간 평균 80 ppb, 1시간 평균 100ppb)를 초과하는 월은 아직 없으나, 6월에 일최고치가 이 기준을 상회하는 날이 있었다.

시계열 분포(Fig. 7)를 보면 O<sub>3</sub>의 농도가 겨울철에는 낮고 봄으로 갈수록 농도가 증가하여 여름에는 5~52 ppb의 범위를 나타내 최고치를 나타내고 있으며 가을철에는 점차 감소하여 10월 이후에는 20 ppb이하의 농도분포를 나타내고 있다.

특히 하계의 경우 장마 시기인 6월 하순에서 7월 사

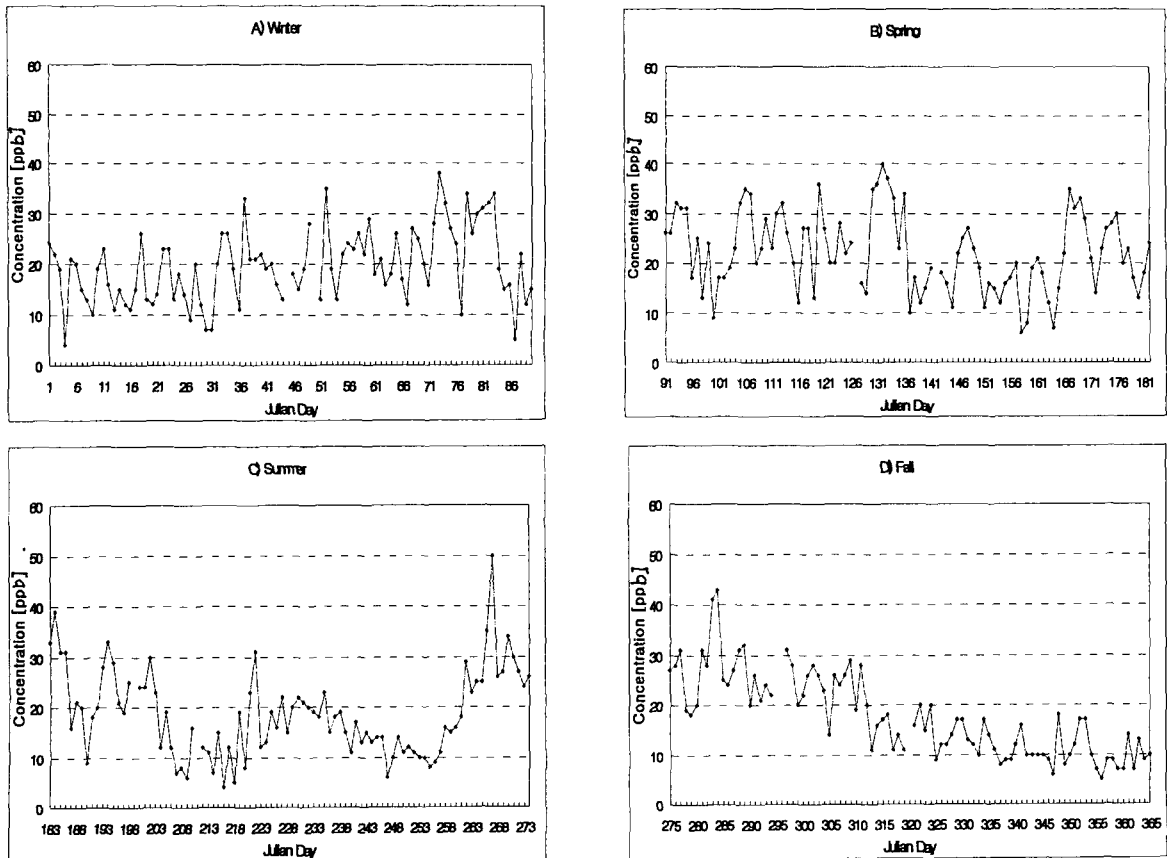


Fig. 7. 24 hour average concentration of ozone for A) winter, B) spring, C) summer and D) fall at Kimhae from December, 1996 to November, 1997.

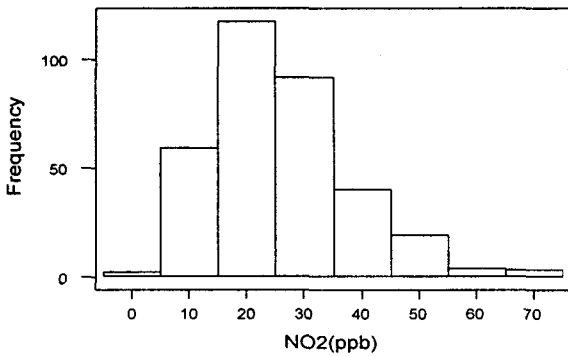


Fig. 8. Occurrence frequency of 24 hour average concentration of nitrogen dioxide at Kimhae from December, 1996 to November, 1997.

차량증가로 오존을 생성하는 전구물질인 질소산화물과 탄화수소 배출량의 증가가 예상되어 일사량이 증가하는 하계에는 광화학 스모그의 발생을 예측할 수 있을 것이다.

3.1.4 이산화질소 (NO<sub>2</sub>)의 분포

NO<sub>2</sub>는 자동차의 배기가스와 산업체의 배기가스에 의한 2차적인 대기오염물질로 차량의 증가와 밀접한 관계를 맺고 있다. 특히 낮 동안은 일사량이 많은 경우 광화학 반응에 의해 O<sub>3</sub>을 형성하여 도시대기오염을 야기하는 주요 오염물질이다.

NO<sub>2</sub>의 일일 환경기준은 80 ppb이나 본 연구 기간동안 김해 지역에서 관측된 일 평균농도는 환경기준치를 초과하는 경우는 없었으며, 16 ~ 25 ppb 사이 값을 나타낸 날이 118일로 전체 관측기간 중 34.9%를 차지하였으며 6 ~ 35 ppb가 80.1%로 NO<sub>2</sub> 농도분포의 대부분을 차지하였다(Fig. 8). 도시화에 따른 NO<sub>2</sub>의 농도는 일본의 대기환경기준(40 ppb)을 초과하는 날이 19.2%나 차지하고 있어 늘어나는 차량의 운행을 잘 반영해 주고 있다.

이를 제외한 5월부터 9월 사이에는 비교적 농도가 높게 나타나 하계에 O<sub>3</sub>의 농도가 높아진다는 선행의 연구와 잘 일치하고 있으며, 일본의 일 평균 환경기준치(40 ppb)와 비교할 경우, 이를 초과하는 날이 나타나기도 하였다.

따라서 O<sub>3</sub>의 농도는 맑은 날의 수와 일사량에 밀접한 관계가 있음을 알 수 있으며 김해시는 최근 급격한

Table 1에서 보듯이 월 평균농도(1996. 12 ~ 1997. 11)를 비교하면 11월이 38 ppb로 가장 농도가 높았고 2월과 5월이 20 ppb로 가장 낮았으며 연평균은 25.83 ppb로 1993년도에 교통량이 많았던 부산의 광

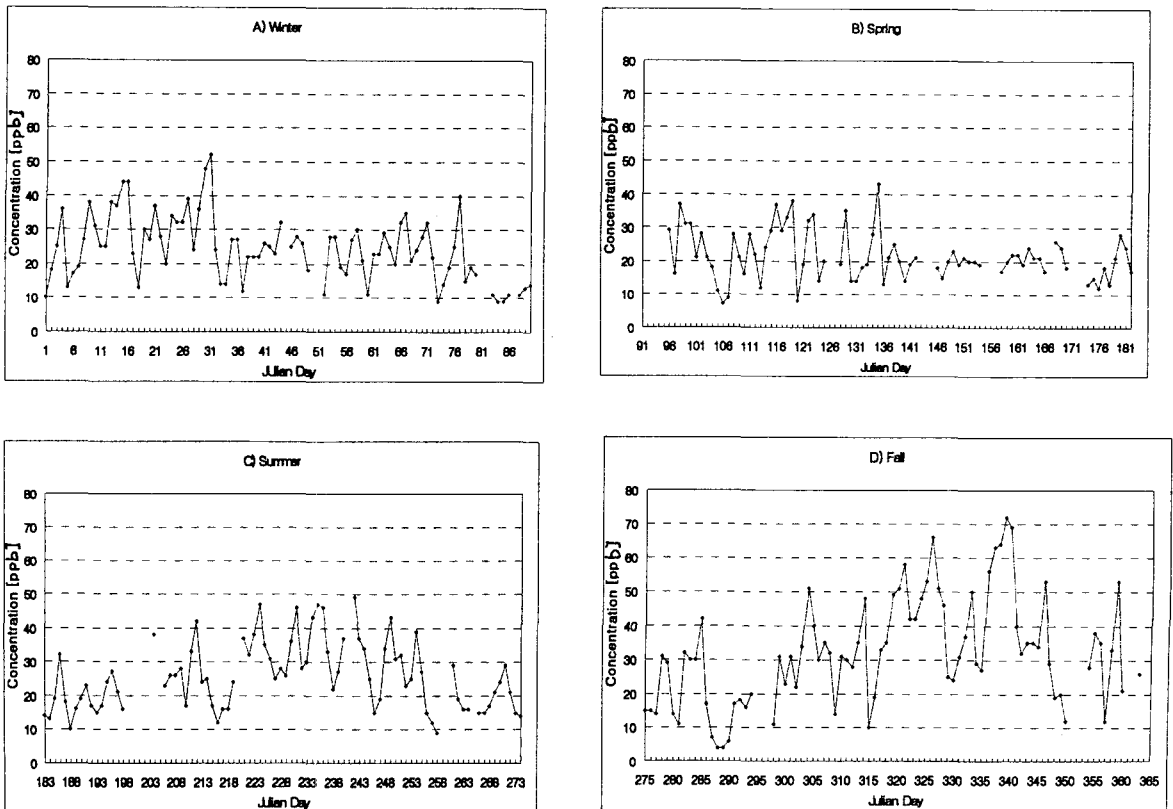


Fig. 9. 24 hour average concentration of nitrogen dioxide for A) winter, B) spring, C) summer and D) fall at Kimhae from December, 1996 to November, 1997.

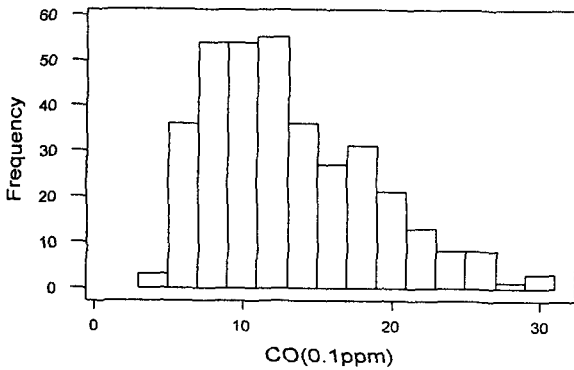


Fig. 10. Occurrence frequency of 24 hour average concentration of carbon monoxide at Kimhae from December, 1996 to November, 1997.

복동 지점에서 조사한 자료와 유사한 농도분포를 나타내고 있으며<sup>9)</sup>, 우리 나라의 장기 대기환경기준(80 ppb/year)이나 단기 대기환경기준(80 ppb/day, 150 ppb/hr)을 초과하지 않았다.

시계열 분포(Fig. 9)를 보면 겨울철에는 대체로 10 ~ 53 ppb 정도의 다소 높은 농도를 보이다가 5월로 접어들면서 감소하여 장마 시기인 6월 하순에서 7월에는 높은 농도를 나타내다가 9월까지 감소한 후 가을에는 5~73 ppb 범위를 나타내어 다른 계절에 비해 비교적 높은 농도를 나타내는 날이 많았다. 또한 일본의 일평균 대기환경기준치(40ppb)와 비교하면 가을을 제외한 다른 계절에 이를 초과하는 날이 몇 일 나타났으나, 비교적 그 이하인 날이 많으며, 가을은 이 기준치를 초과하는 날이 많았고 일일 변동폭도 다른 계절에 비해 크게 나타났다.

그리고 오존(O<sub>3</sub>)의 농도가 높은 하계(5월에서 9월)에 NO<sub>2</sub>의 농도는 낮으며, 장마로 인해 O<sub>3</sub>의 농도가 줄어든 6월 하순에서 7월 사이에는 오히려 NO<sub>2</sub>의 농도가 늘어나는 등, O<sub>3</sub>의 농도와는 반비례 관계가 있으며 10월 이후의 가을철에도 그와 같은 현상이 뚜렷하게 나타났다.

따라서 김해시는 하계에 NO<sub>2</sub>의 농도가 대체로 낮고 추·동계에 오히려 농도가 증가하였으며, 부산에 비해 규모가 작은 도시이나 최근 차량통행과 자동차의 보급수 증가로 농도가 점차 증가하고 있다고 생각된다.

### 3.1.5 일산화탄소(CO)의 분포

불완전 연소의 결과 생성되는 CO 가스는 자동차의 배기가스 외에도 주택 난방에 사용되는 무연탄의 연소에서 많이 배출되는 가스이다<sup>3)</sup>. 김해지방에서 관측된 CO의 일일 평균농도의 발생 빈도를 Fig.10에 나타내었다. 많은 빈도분포를 보인 농도는 0.8에서 1.3ppm의 범위로 분석기간의 46.52%에 해당하는 163일로 아직 저농도를 나타내고 있었다.

CO의 월평균 농도 분포를 보면(Table 1), 12월이 2.2 ppm으로 가장 높고 6월이 0.6 ppm으로 가장 낮았으며, 연평균 1.25 ppm을 나타내 우리 나라 환경기

준치를 초과하지는 않았다.

CO의 연중 농도 변화를 나타낸 시계열분포(Fig. 11)를 보면 겨울철이 가장 높은 농도를 나타내고 있으며 하계로 갈수록 그 농도는 낮아지고 있다. 가을에는 점차 농도가 증가하고 있음을 알 수 있으며 1993년도 부산시 중구 광복동 지점의 연평균 농도 1.03 ppm보다 다소 많거나 같은 정도이므로 김해시가 부산과 같은 다른 도시 지역에 비해 CO의 배출이 많음을 나타내고 있다. 1996년 통계에 의하면 가구당 무연탄 사용량이 부산(1953.5kg)을 포함한 6대 도시가 평균 2307.7 kg이었으며 김해시는 3427.2kg이었고 세대수는 김해시가 78,670세대, 광복동을 포함하는 부산시 중구가 21,552세대로 김해시의 무연탄 사용량이 훨씬 많았음을 알 수 있다<sup>9~11)</sup>. 또한 연료별 CO 배출량도 무연탄이 가장 높아 김해시가 도시화에 따라 많은 양의 CO를 배출하고 있음을 뒷받침 해준다<sup>12,13)</sup>. 그러나 CO의 농도는 아직 우리 나라 환경기준치에 미치지 못하고 있으며, 도시민의 난방에 사용되는 연료가 무연탄에서 점차 도시가스나 유류로 대체되고 있어 앞으로 CO의 농도는 더욱 감소되리라 기대할 수 있다.

따라서 김해지방은 동계에 CO의 농도가 높고 하계로 갈수록 농도가 낮아지는 경향을 나타내고 있으며 특히 겨울철에 농도가 높아 자동차나 산업장의 배기가스보다는 겨울철 주택 난방에 의한 배기가스가 더 큰 영향을 미치고 있다고 할 수 있다.

### 3.2 대기오염농도의 시간변화

김해시 동상동에서 관측되었던 5개 대기오염물질(SO<sub>2</sub>, PM-10, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO)에 대한 일변화 경향을 알아보기 위하여 시간 평균 농도를 구하여 계절별로 비교하였다.

SO<sub>2</sub> 농도의 시간변화를 보면(Fig. 12(A)) 오전과 오후에 두 차례의 peak를 나타내고 있으며 시간적으로는 오전 6~7시 이후 증가하여 9시경에 최대를 나타내고 있다. 그 후 감소하여 일 중에는 낮은 농도를 보였으며 오후 7시 이후에 다시 증가하여 20시경에 두 번째 peak를 보이다가 감소하므로써 야간이 주간에 비해 비교적 높은 농도를 나타내고 있다. 오전 9시경에 최대를 보인 것은 각 산업장의 난방과 교통량 증가와 같은 산업활동이 시작되는 시각과 잘 일치하고 있으며 일 중에는 대기의 불안정도 증가로 인한 확산과 수송이 잘 이루어지기 때문에 농도가 낮게 나타난 것으로 생각된다.

계절별로는 농도가 차이가 있음을 볼 수 있는데, 겨울철이 농도가 가장 높고 그 다음이 봄, 가을, 여름의 순으로 나타났다. 동계에는 시간에 따른 농도 변화가 대체로 뚜렷하였으나, 하계로 갈수록 시간변화는 뚜렷하지 않았다. 이는 하계의 경우 일 중 온도변화가 크지 않고, 대기가 불안정하여 오염물질의 확산이 잘 이루어지기 때문에 일 중 농도변화가 크지 않았으며, 춘계와 동계의 경우 기온이 대체로 낮고 일변화가 크며, 야간 동안의 주택난방과 일과시간의 개시에 따른 교통량과 산업활동의 증가로 인해 시간에 따른 농도의 변화가 다른 계절에 비해 뚜렷하게 나타난 것으로 생각된다.

Fig. 12(B)는 PM-10 농도의 시간변화를 나타낸 것으로 SO<sub>2</sub> 와 같이 일 중 두 번의 peak를 나타내고 있는데, 첫 번째 peak는 오전 9시 전후로, 최대 농도를 나타내며 일 중에는 감소하였다가 오후 20~21시에 두 번째의 peak를 나타내는 주기적인 변화를 보이고 있다. 이는 SO<sub>2</sub> 의 경우와 마찬가지로 주택 난방과 산업활동의 시작 시간과 잘 일치하고 있으며 오후에 한동안 농도가 높게 나타나는 것은 퇴근이후에도 사람의 활동이 어느 정도 지속되기 때문으로 생각된다.

계절별로 보면 겨울철이 비교적 농도가 높게 나타나며 그 다음이 봄, 여름, 가을의 순이다. 동계의 경우 SO<sub>2</sub> 와 같이 시간에 따른 농도의 변화가 뚜렷하나 하계로 갈수록 변화경향이 뚜렷하지 못하며 여름철에는 일중이 가을의 경우보다 더 낮은 농도를 나타내고 있는데, 이는 강수에 의한 washout이나 rainout에 의해 PM-10의 size가 다소 큰 입자가 대기 중에서 제거되거나, 대기의 불안정도 증가로 인한 공기중의 확산과 이동이 용이하여 더 낮은 농도를 나타낸 것으로 생각된다.

Fig. 12(C)는 O<sub>3</sub> 농도의 계절별 일 변화를 나타낸 것으로 오후 2~3시경에 최대 peak를 나타내고 있으며

그 이후 줄곧 감소하다가 새벽에 O<sub>3</sub> 의 농도가 약간 증가하는 것을 볼 수 있다. 대류권 하층의 O<sub>3</sub> 은 NO<sub>2</sub> 와 태양 복사에너지사이의 상호작용과 화학반응에 의해 생성되는 2차 오염물질로 일 중에는 O<sub>3</sub> 의 농도가 높게 나타나는 것은 이러한 광화학 반응이 활발히 일어나기 때문으로 생각된다.

계절별로 보면 여름보다 오히려 봄철이 O<sub>3</sub> 농도의 시간변화가 가장 뚜렷하게 나타나고 있다. 이는 여름이 봄에 비해 일사량이 많고 기온도 높으나, 장마라는 특유의 강수 현상으로 구름이 많고 비가 내리는 날도 많으며, 부산과 같이 바다와 인접해 있기 때문에 도심부근의 기온상승에 의한 해풍의 발생과 유입으로 봄철에 비해 고농도를 나타내지 않았다고 생각된다. 또한 Fig. 6에서도 볼 수 있었듯이 O<sub>3</sub> 의 농도가 한여름보다는 오히려 5월과 9월에 높게 나타난 것도 같은 이유라고 생각된다.

NO<sub>2</sub> 농도의 시간변화를 보면(Fig. 12(D)), SO<sub>2</sub>, PM-10 과 같이 하루에 두 번의 peak를 가지며 오전 6~7시경부터 증가하여 9시경에 peak를 갖는다. 그 후 감소하여 일 중에는 농도가 낮으며 오후에 다시 증가하여 19~20시경에 peak를 가지는 주기적인 경향을 나타

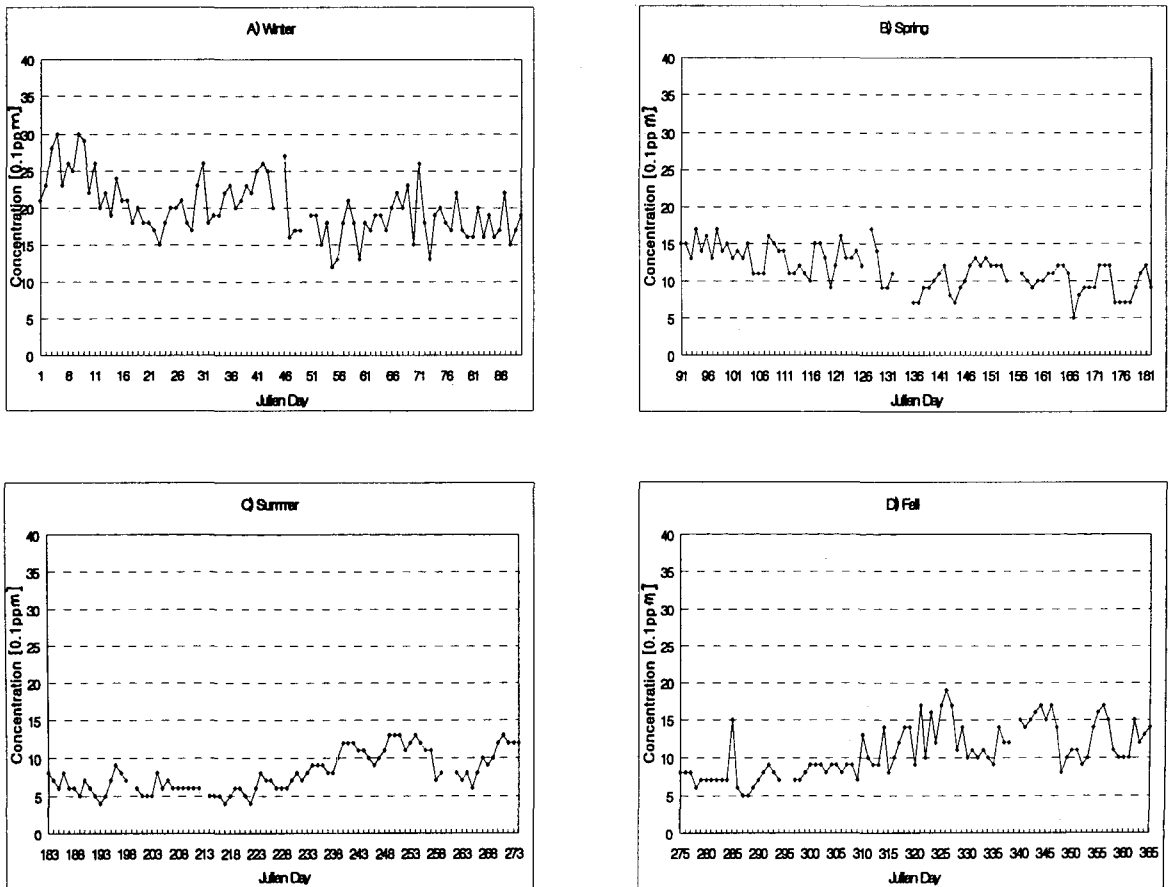


Fig. 11. 24 hour average concentration of carbon monoxide for A) winter, B) spring, C) summer and D) fall at Kimhae from December, 1996 to November, 1997.



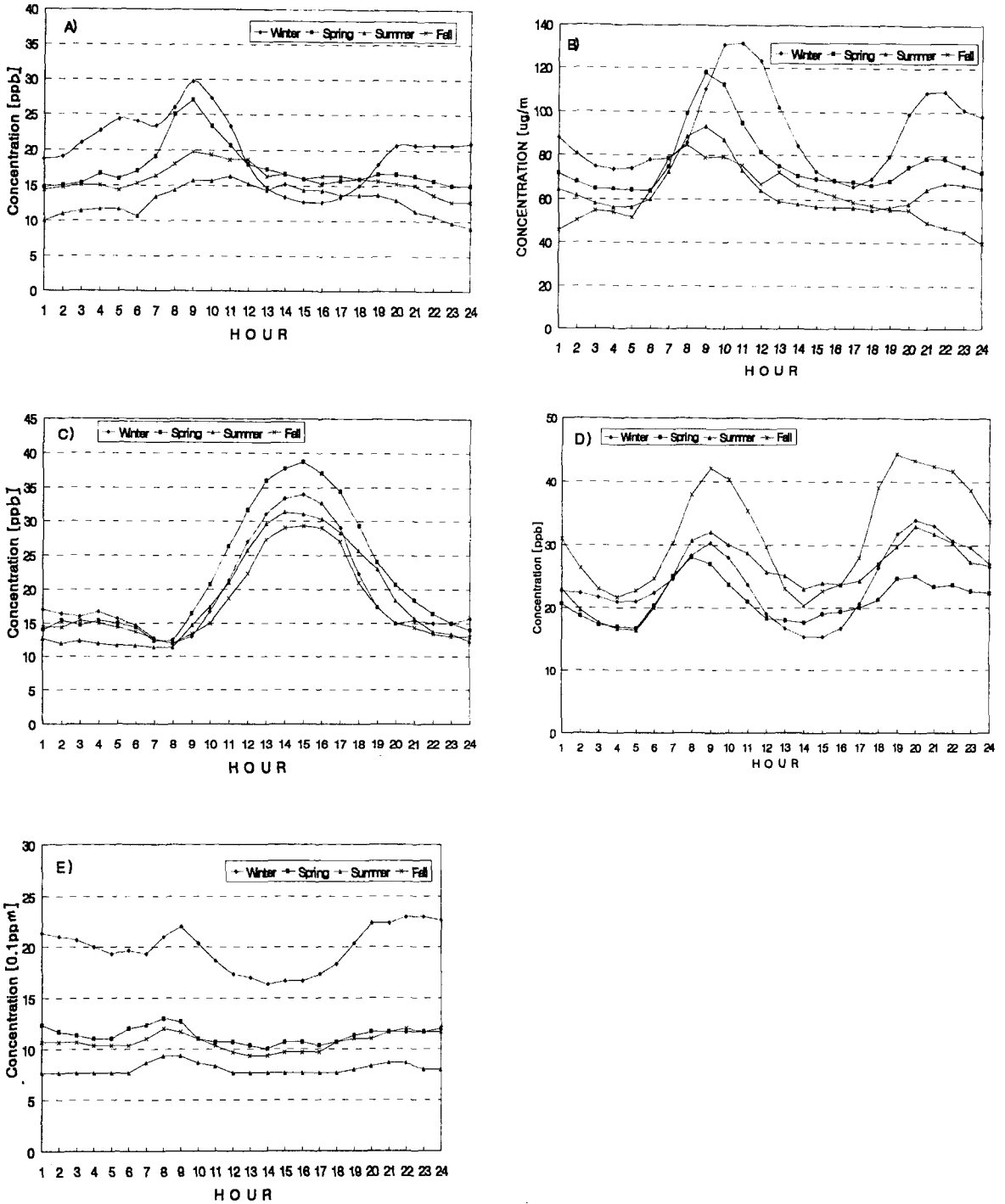


Fig. 12. Diurnal variation of A) sulfur dioxide, B) particulate matter, C) ozone, D) nitrogen dioxide, and E) carbon monoxide concentration for each season at Kimhae, from December, 1996 to November, 1997.

내고 있으며 2차 peak가 더 높은 농도를 나타내고 있다. 이는 출퇴근 시간의 교통량 증가와 산업활동의 개시와 밀접한 관계가 있다고 생각되어 진다.

계절별로는 추계와 동계에 일변화가 뚜렷하였으며,

전 계절에 걸쳐 일 중에 낮은 농도를 보였는데, 이는 일사량이 많은 한 낮에는 광화학 반응에 의한 O<sub>3</sub> 형성 등에 의해 감소되어진 것이라 할 수 있다.

Fig. 12(E)는 CO 농도의 시간변화를 계절별로 나타낸

Table 2. Correlation coefficients between air pollutants and meteorological element of Kimhae city(1996. 12 - 1997. 11). An abbreviation of WS, CLD, TEM, PRES, HUM represent wind speed(m/s), cloud cover, temperature, pressure, and humidity, respectively, And the symbol(\*) represent more 5 percent of significance level

	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM-10	SO <sub>2</sub>	WS	CLD	TEM	PRES	HUM
CO	1									
NO <sub>2</sub>	0.18	1								
O <sub>3</sub>	-0.17	-0.46	1							
PM-10	0.40	0.43	-0.15	1						
SO <sub>2</sub>	0.43	0.45	-0.31	0.64	1					
WS	-0.22	-0.51	0.26	-0.43	-0.40	1				
CLD	-0.32	-0.16	-0.28	-0.23	-0.22	0.17	1			
TEM	-0.77	*0.03	*-0.01	-0.23	-0.33	*0.03	0.40	1		
PRES	0.56	0.12	*-0.03	0.17	0.33	-0.23	-0.42	-0.71	1	
HUM	-0.13	0.17	-0.45	*0.01	*0.01	-0.11	0.57	0.46	-0.36	1

것인데, 다른 오염물질에 비해 비교적 시간변화가 뚜렷하지 못하나, 대체로 야간이 농도가 높고 주간에는 농도가 낮게 나타나고 있으며 겨울철이 다른 계절에 비해 뚜렷한 시간적 변화를 볼 수 있다. 이는 겨울철에 이루어지는 주택 및 산업장 난방에 의한 CO 가스의 배출이 많음을 보여주고 있는 것이며 하계로 갈수록 시간 변화가 적고 출퇴근 시간에 다소 증가하는 경향을 보이므로 교통량 증가에 의한 영향도 크다는 것을 알 수 있다.

따라서 김해시의 SO<sub>2</sub>, PM-10, NO<sub>2</sub>, CO 농도의 시간 변화는 야간과 출퇴근 시간에 비교적 농도가 높게 나타났으며 동계로 갈수록 그 변화경향은 뚜렷하였다. 이에 비해 O<sub>3</sub> 은 일 중 최고의 농도를 나타내며 오후에 감소하는 경향을 보여 늘어나는 차량에 의해 일사량이 풍부한 하계에는 광화학 반응에 의한 광화학 스모그 및 오존 예보체제 구축을 위한 보다 많은 연구가 있어야 할 것이라 생각한다.

### 3.3 오염물질 및 기상요소와의 상관관계

본 연구기간동안 김해지방에서 관측된 5개 대기오염물질과 기상요소간의 상호 관련성을 알아보기 위하여 전 연구기간동안과 계절별로 상관관계를 조사하였으나 상관계수가 대체로 낮은 값을 보여 여기서는 전 기간에 대한 결과만 제시하였다(Table 2).

본 연구기간(1996년 12월 ~ 1997년 11월)동안 각 오염물질과 기상요소들간의 상관계수는 낮은 값을 보이나 95% 이상의 신뢰구간을 만족하고 있다. SO<sub>2</sub> 와 PM-10은 0.64의 높은 양의 상관관계를 나타내고 있으며, CO, NO<sub>2</sub> 와도 비교적 높은 양의 상관을 보였고, O<sub>3</sub> 과는 낮은 음의 상관을 보였다. NO<sub>2</sub> 도 SO<sub>2</sub> 와 PM-10과 비교적 높은 양의 상관을 보였으며 O<sub>3</sub> 과는 음의 상관을 나타내 5개 대기오염물질의 계절별 농도 분포와 잘 일치하고 있다. 또한 대기오염물질의 농도가 운량과는 약한 음의 상관을 나타내고 있으며 오존을 제외한 오염물질은 풍속과도 음의 상관을 보여주어 운량이 적고 풍속

이 강할수록 대기의 불안정도가 증가하여 오염물질의 확산이 잘 이루어짐을 뒷받침하고 있다. 하지만 오존의 경우 상관관계가 명확하지 않은 것은 강수와 운량에 의해 낮은 농도를 나타내는 날과 강수가 없고 고온이 지속되어 높은 농도를 나타내는 날이 함께 상관계수 계산에 사용되어 서로 상쇄시켰기 때문으로 생각되며 고농도 오존 발생일의 오존 농도와 기상요소사이의 상관을 조사함으로써 정확한 관계를 규명할 수 있으리라 생각되나 본 연구기간에는 환경기준을 초과하는 고농도를 나타내는 날이 나타나지 않았다. 그 외 다른 기상요소와는 오염물질별 상관이 있으나 뚜렷한 특징은 찾을 수 없었다.

### 4. 결 론

김해지방의 대기오염 농도자료(1996년 12월 ~ 1997년 11월)와 기상자료를 이용하여 김해시 대기오염 특성을 조사 분석한 결과는 다음과 같다.

1) SO<sub>2</sub>, CO, PM-10, NO<sub>2</sub> 농도의 분포는 늦가을과 겨울철에는 농도가 높고 하계로 갈수록 농도가 낮아지는 분포를 보여 다른 도시의 경우와 유사한 분포를 보이고 있으나, 오존은 동계에는 농도가 낮고, 봄으로 갈수록 농도가 증가하여 장마철을 제외한 하절기에 가장 높게 나타나는데 이는 맑은 날의 수와 일사량에 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

2) SO<sub>2</sub>, PM-10, CO 농도의 일 변화는 야간과 출퇴근 시간에 농도가 높으며 일 중에는 농도가 낮게 나타났으며 동계로 갈수록 그 변화경향은 뚜렷하였고, NO<sub>2</sub> 농도 또한 출퇴근 시간대에 높은 농도를 나타내 이는 출퇴근 시간에 증가하는 차량 통행량과 밀접한 관계가 있다고 생각된다. 오존 농도의 시간변화는 일 중 최고의 농도를 나타내고 오후에는 감소하는 경향을 보이며 늘어나는 차량에 의해 일사량이 풍부한 하계에는 광화학 반응에 의한 광화학스모그 및 오존의 예보체제 구축을 위해 보다 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

3) 김해시에서 관측된 대기오염물질의 농도들은 대체로 양의 상관관을 나타내었으나 O<sub>3</sub> 과는 음의 상관관을 나타내었고 운량과 풍속과 같은 기상요소와도 낮은 음의 상관관을 나타내었다.

참 고 문 헌

- 1) 박옥현, 1985, 부산에서의 기인물질 발생원 특성과 오존생성, 대한환경공학회지, 7(2), 1-11.
- 2) 박옥현, 1986, 부산에 있어서의 광화학스모그오염의 제어를 위한 통계학적 접근(I)-기인물질들의 분포 및 관계, 화학공업과 기술, 4(1), 62-70.
- 3) 박종길, 1993, 부산지방의 대기오염에 미치는 기상인자에 관한 연구, 부산시정연구보고, 5, 313-334.
- 4) Purdue, L.J., C.E. Podes, and K.A. Rehme, 1986, Intercomparison of High-Volume PM10 Samplers at a site with high particulate concentrations, J. Air Pollut. Control Asso. 36, 917.
- 5) Tomatis, L. Ed. 1990, Air pollution and human cancer, Springer-Veriag Berlin Heidelberg, Germany, 9-34.
- 6) Zinder, B., T. Schumann and A. Waldvogel, 1988, Aerosol and hydrometer concentrations and their chemical composition during winter precipitation along a mountain slope-II, Atmos. Environ., 22(12), 2741-2750.
- 7) 横山榮二, 1987, 광화학 옥시던트의 건강상 영향, 공해 안전 11월호.
- 8) 福岡三郎, 1975, 大氣汚染物質の分布と氣象條件との關係, 氣象研究ノト, 48-69.
- 9) 김해시, 1996, 김해시 통계연보
- 10) 부산광역시, 1996, 부산광역시 통계연보.
- 11) 통상산업부, 1996, 에너지 총조사 보고서.
- 12) 김종필, 1998, 김해시 대기오염의 특성과 배출량 산정, 인제대학교 대학원 석사학위논문, pp70.
- 13) 박종길, 김종필, 김지형, 1998, 김해시 대기오염물질 배출량 산정, 한국환경과학회지, 7(5), 647-652.