

## 기상조건에 따른 부산지역 대기오염물질 농도변화와 예측에 관한 연구

### On the Prediction and Variation of Air Pollutants Concentration in Relation to the Meteorological Condition in Pusan Area

정영진 · 이동인 · 한영호 · 이협희  
부경대학교 지구환경과학부 환경대기과학 전공  
(1997년 5월 30일 접수, 1998년 4월 2일 채택)

Young-Jin Jung, Dong-In Lee, Young-Ho Han, Hyup-Hee Lee  
*Division of Environmental Atmospheric Sciences,  
Faculty of Earth Environmental Science, Pukyong National University*

(Received 30 May 1997; accepted 2 April 1998)

#### Abstract

The concentrations of air pollutants in large cities such as Pusan area have been increased every year due to the increasing of fuels consumption at factories and by vehicles as well as the gravitation of the population. In addition to the pollution sources, time and spatial variation of air pollutants concentration and meteorological factors have a great influence on the air pollution problem. Especially, its concentration is governed by wind direction, wind speed, precipitation, solar radiation, temperature, humidity and cloud amounts, etc.

In this study, we have analyzed various data of meteorological factors using typical patterns of the air pressure to investigate how the concentration of air pollutants is varied with meteorological condition. Using the relationship between meteorological factors (air temperature, relative humidity, wind speed and solar radiation) and the concentration of air pollutants ( $SO_2$ ,  $O_3$ ), experimental prediction formulas for their concentration were obtained.

Therefore, these prediction formulas at each meteorological factor in a pressure pattern may be roughly used to predict the air pollutants concentration and contributed to estimate the variation of its value according to the weather condition in Pusan city.

**Key words** : air pollutants concentration, meteorological factors, experimental prediction formulas

#### 1. 서 론

부산울 비롯한 대도시 지역의 대기오염은 날로 심각해지고 있다. 주로 연료 사용량 증가로 대기오염물질 농도가 점차 증가하고 있다.

대기오염농도를 지배하는 요인 중에 배출원을 제외하고 가장 영향을 주는 요소는 기상요소로 알려져 있으며(신찬기 등, 1992; 박일수 등, 1991; Wilkins, 1954), 특히 풍향, 풍속, 강수, 일사, 기온, 습도, 운량 등의 상태에 따라 그 농도가 크게 좌우되는 것으로 밝혀져 있다(정용승과 정재섭, 1991; 김민영 등,

1989).

기상상태와 대기오염물질과의 관계에 대한 연구를 보면, 이종범 등(1989)은 풍속이 낮고 고기압 상태일수록 SO<sub>2</sub>는 고농도로 나타나며, 기압과 운량의 정도에 따라서도 농도 상승효과를 일으킨다고 하였다. 또한 이덕길 등(1990)은 풍속과 대기오염농도는 역비례 관계가 있고, 특히 풍속 1.5 m/s 이하일 때 고농도 SO<sub>2</sub>가 나타나는 경우가 많다고 보고하였다.

지표 O<sub>3</sub>은 인위적인 오염물질의 광화학 반응의 결과로 생성되며 기상조건이 O<sub>3</sub> 농도 변화를 좌우한다. 또한 질소산화물, 탄화수소와 기상변수 사이의 복잡한 상호작용은 O<sub>3</sub> 오염 사건의 위치, 강도, 기간을 결정하기도 한다(Comrie, 1990; Seinfeld, 1989; Altshuller, 1986; Chock *et al.*, 1981). SO<sub>2</sub> 농도와 O<sub>3</sub> 농도와 기상인자들 사이의 관련성에 관하여는 여러 가지 통계분석을 이용하여 기류, 기압량, 기단 등을 종합적으로 다루어 기후특성을 밝히고 있으며 이들 연구들로는 영국의 Lamb(1972, 1965), 독일의 Flohn(1954) 등 여러나라에서 실시되었다. 우리나라에서는 정 용 등(1986)과 이태영 등(1990)이 통계분석으로 이들을 연구한 바 있으며, 박옥현과 장은숙(1987)에 의하면 O<sub>3</sub>는 풍속 2~6 m/s, 기온 15~30 °C, 일조시간 9시간 이상일 때 고농도가 자주 발생한다고 하였다.

따라서 본 연구에서는 이들 기상요소들과 기압배치 유형을 분석하여 부산지역 대기오염도가 기상상태에 따라 어떻게 변화하는지 알아보았으며 장기간에 걸친 대기오염농도(SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>)와 기상요소 자료들의 통계학적 관계를 이용하여 대기오염물질 농도의 개략적인 값을 예측해 볼 수 있는 경험식을 산출하였다.

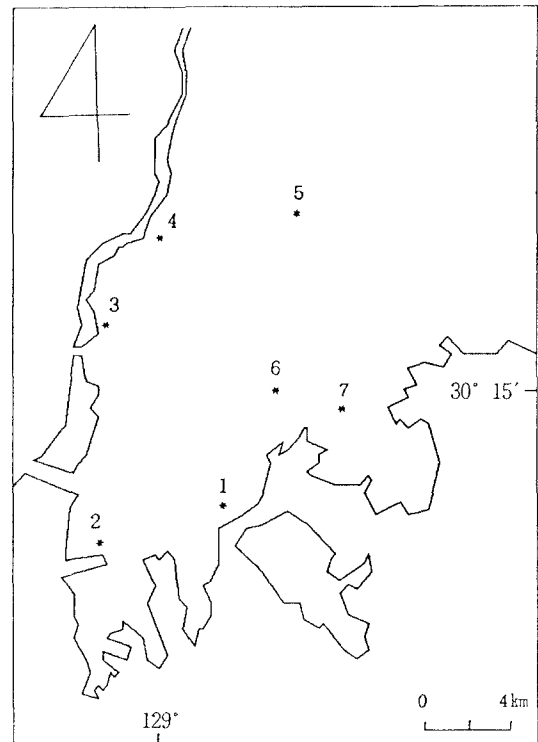
## 2. 자료 및 분석 방법

부산은 지형적으로 남동쪽으로 해안을 끼고 있으며, 북북동에서 남남서로 길게 도시가 형성되어 있다. 해운업과 상공업이 발달된 인구 400만명, 면적 526 km<sup>2</sup>의 거대도시로서(환경부, 1990) 전국에서의 도로 점유율이 최하위이며, 교통량이 상위를 나타내고 있어 NO, NO<sub>2</sub> 등 여러 가지 대기오염물질의 증대로 인한 O<sub>3</sub> 발생이 더욱 심화되고 있는 지역이다.

본 연구에서 이용한 대기오염물질의 농도 자료는

낙동강 환경관리청에서 운영하고 있는 부산지역에서의 7개 대기오염 측정지점(그림 1)(광복, 범천, 명륜, 대연, 감전, 덕천, 신평)에서 관측한 자동측정 항목인 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>와 반자동측정 항목인 TSP의 일별, 시간별 자료(환경부, 1994)를 이용하였다. 분석기간 중의 기상자료는 기상청에서 발간된 기상월보(기상청, 1994)를 이용하였으며, 각 유형별 기압분포 분석을 위하여는 일본 기상청에서 발간된 일기도(일본기상청, 1994)를 사용하였다.

기상학적 특성에 의한 부산지역 대기오염농도 변화를 알아보기 위하여 1994년 1월 1일부터 12월 31일까지의 대기오염물질과 기압배치 형태 및 그에 따른 기상요소들을 분석하였다. 기압배치 유형은 고농도의 오염물질이 주로 발생하는 서고동저형, 남고



- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| 1. KWANGBOK DONG  | 2. SINPYOENG DONG |
| 3. GAMJEON DONG   | 4. DEOKCHEON DONG |
| 5. MYOENRYUN DONG | 6. BEOMCHOEN DONG |
| 7. DAIYOEN DONG   |                   |

Fig. 1. Sites of air quality monitoring system in Pusan city.

Table 1. Correlation coefficient of air pollutant concentration.

	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	TSP	O <sub>3</sub>
SO <sub>2</sub>	1.00			
NO <sub>2</sub>	0.88	1.00		
TSP	0.71	0.79	1.00	
O <sub>3</sub>	-0.08	0.28	0.01	1.00

북지형, 이동성 고기압형 등 고기압을 대상으로 하였으며 (Lee and Han, 1992; Han *et al.*, 1989; Shreffler and Evans, 1982; Spillane, 1978; Wark and Warner, 1976), 이들 기압배치 유형이 나타난 날의 대기오염 농도 자료는 SO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>자료를 선정하여 통계처리 해석하였다.

이는 표 1에 나타난 분석기간 중 각 대기오염물질 간의 농도 상관관계 조사 결과, O<sub>3</sub>를 제외하고는 SO<sub>2</sub>와 NO<sub>2</sub>, TSP간의 상관계수가 상호 0.7 이상의 높은 수치를 나타내고 있으므로 본 연구에서는 기상조건에 따른 대기오염농도 해석을 위하여 O<sub>3</sub>와 SO<sub>2</sub> 농도 자료만을 선택하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 서고동저형 기압배치에 따른 대기오염 농도변화

서고동저형은 우리나라에서 겨울의 전형적인 기압배치로 캄차카 방면에서 발달한 저기압이 존재하고 시베리아 고기압이 대륙에서 태평양까지 진출하여 북서풍이 강하며, 대륙의 고기압 세력은 7일을 주기로 강약을 반복하며 우리나라 겨울날씨의 특징인 삼한사온을 나타낸다 (김광식, 1992).

그림 2는 1994년 1월 18일에 시작된 서고동저형 지상 일기도를 나타낸 것이다. 1994년 한 해 동안 부산지역에서의 전형적인 서고동저형 기압배치가 1, 2, 3, 12월 중 22일간 뚜렷하게 나타났으며, 이때의 SO<sub>2</sub> 농도와 O<sub>3</sub> 농도의 시간 평균농도 빈도분포는 그림 3과 같다.

SO<sub>2</sub>는 주로 18 ppb 범위가 30% 정도로 가장 많았으며, 연평균 환경기준 (30 ppb)을 초과하는 경우가

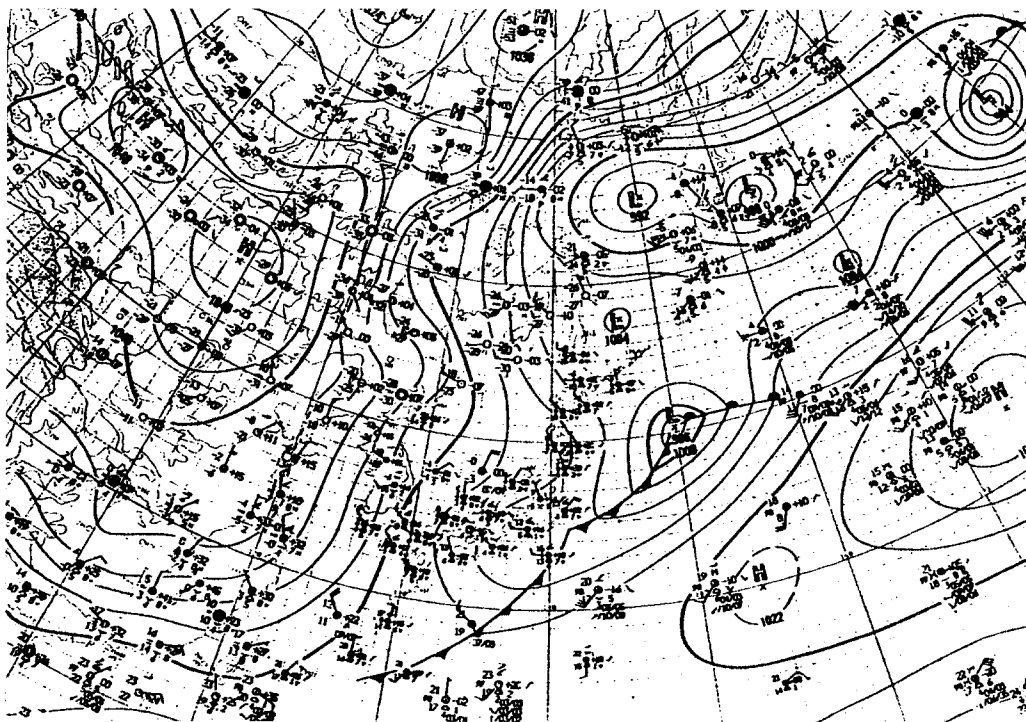


Fig. 2. Surface weather map (00Z) at 18th January 1994.

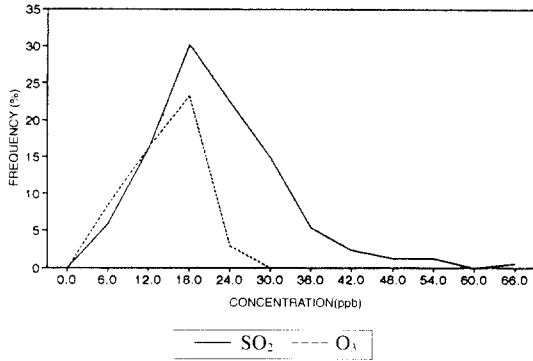


Fig. 3. Frequency distribution of SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> concentration in the West-High East-Low pressure pattern 1994.

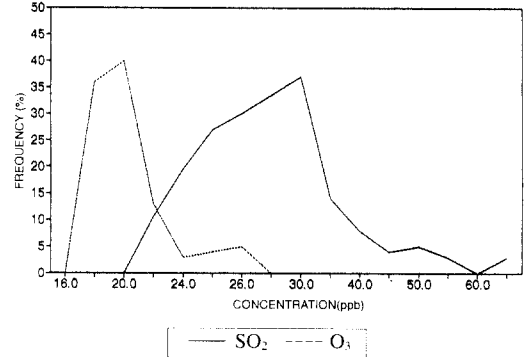


Fig. 4. Frequency distribution of SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> high concentration in the West-High East-Low pressure pattern 1994.

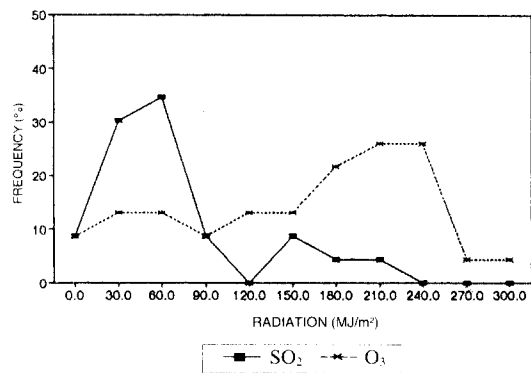
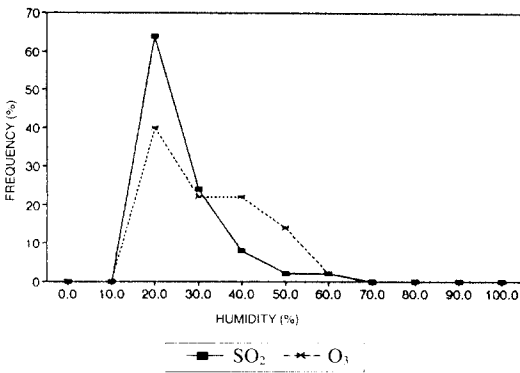
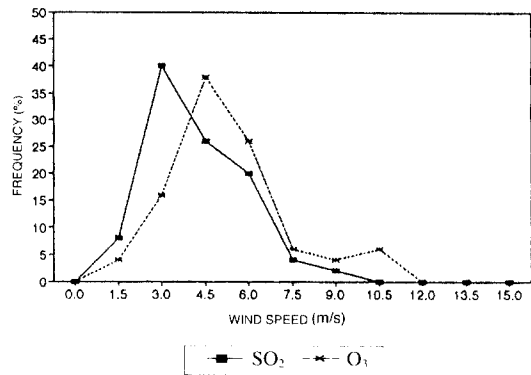
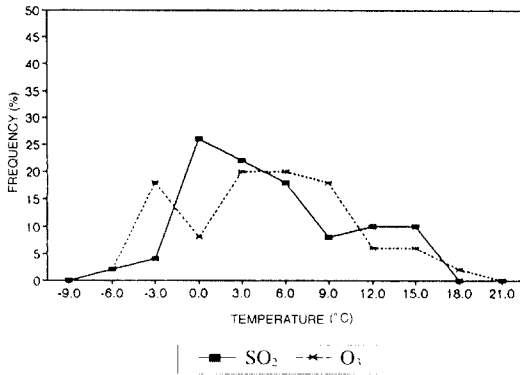


Fig. 5. Same as Fig. 4 but for temperature, wind speed, humidity and radiation.

약 10% 정도로 나타났다. 3 ppb 계급별 O<sub>3</sub> 농도의 빈도분포 조사 결과, 18 ppb에서 O<sub>3</sub>빈도가 가장 높고, 주로 12~21 ppb 범위가 전체 자료에서 70%를

차지하고 있으며 8시간 평균치에 대한 환경기준치 (60 ppb)를 초과하는 날은 없었다. 서고동저형 기압 배치 기간중에서의 기온, 풍속, 습도, 일사량의 빈도

분포를 보면 기온분포는 3°C가 35%로써 가장 많았으며, 주로 0~6°C가 전체 60% 정도를 차지하고 있다. 풍속은 최대 15 m/s까지 나타났으며 3~4.5 m/s가 약 60%로 높게 분포하였고 2 m/s 이하는 약 10% 미만으로 조사되었다. 습도의 경우 25% 정도가 상대습도 30%를 나타내었으며, 습도 90% 이상의 강수빈도는 약 5~10% 정도로 나타났다. 일사량은 전체의 22% 정도가 30 MJ/m<sup>2</sup>를 보였으며, 일사량이 210 MJ/m<sup>2</sup> 이상 되는 빈도는 5~10%로 나타났다. 전체 측정자료(168개) 중 고농도대의 오염빈도 분포를 알기 위하여 그림 4에서와 같이 상위 50개 고농도의 분포를 조사하였다.

SO<sub>2</sub>는 주로 25~30 ppb가 35% 정도로 높게 분포하고, 환경기준치를 초과하는 고농도 분포가 75% 정도로 나타났다. O<sub>3</sub>는 18~20 ppb의 범위가 35~40% 정도로 나타났다. 그림 5에서 보는 바와 같이 기온이 0°C 또는 그 이상에서 SO<sub>2</sub>의 고농도가 나

타나는 빈도가 높고, O<sub>3</sub>의 경우 대개 3~9°C에서 발생빈도가 높게 나타나고 있다. 풍속은 SO<sub>2</sub>가 3 m/s, O<sub>3</sub>는 4.5 m/s 근처에서 높은 농도가 발생하고 이를 중심으로하여 정규분포를 보이고 있다. 습도는 대개 30%값 이하에서 고농도 O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>가 발생되고 있으며, SO<sub>2</sub>의 경우 일사량이 60 MJ/m<sup>2</sup> 이하에서 고농도가 나타난다. 그러나 O<sub>3</sub>의 경우 200 MJ/m<sup>2</sup> 이상의 높은 일사량에서 고농도 분포를 보이고 있어 광화학 반응으로 인하여 O<sub>3</sub>이 증가하고 있음을 알 수 있다.

고농도의 시간대별 농도 변화는 그림 6과 같이 SO<sub>2</sub>가 아침(09:00전후), 저녁 시간(21:00전후)대에 증가하는 추세이며, O<sub>3</sub>는 낮시간대(15:00전후)에 최고치를 보이는 것으로 나타났다. 이 결과는 정용 등(1986)에 의한 조사 결과와 잘 일치하고 있다. 습도, 온도, 일사량의 변화 경향은 주간에 기온과 일사량의 증대가 뚜렷하고, 습도는 주·야간보다 이른 새벽에 높게 나타나는 경향을 보였다. 그러나 풍속의 경우 21시경에 그 크기가 강하게 나타났지만 시간대별로는 큰 차이가 없이 일정한 분포로 나타났다.

### 3.2 남고북저형 기압배치에 따른 대기오염 농도변화

남고북저형은 북태평양 고기압이 우리나라와 그 남쪽 해상을 덮고 북쪽에는 저기압이 있는 기압배치형으로 여름철에 주로 나타난다. 비교적 안정된 기압배치로서 비슷한 날씨가 지속되기 쉽다(김광식, 1992).

1994년 7월 10일에 발생한 남고북저형 기압배치의 전형적인 지상기도를 그림 7에 나타내었다.

그림 8과 같이 부산지역에서 남고북저형의 기압배치를 보인 7, 8월의 8일간의 SO<sub>2</sub> 빈도분포는 주로 10~30 ppb 범위가 50% 이상으로 많았으며 환경기준치인 30 ppb를 초과하는 빈도가 약 20% 정도 차지하였다. O<sub>3</sub> 농도는 5~15 ppb 범위가 주로 분포하였으며, 10 ppb 농도가 약 50% 정도를 차지하였다. 7, 8월 2개월간 부산지역의 O<sub>3</sub> 전체 평균농도는 1.4 ppb로 적게 나타났으며, 이는 일반적으로 부산지역에서는 여름철 배출원 자체의 발생농도가 겨울철에 비해 적을 뿐만 아니라, 이 기간 동안의 고온 다습한 기단의 영향으로 평균 상대습도값이 타 기압배치 유형에 비해 상대적으로 높게 나타났다(표 2).

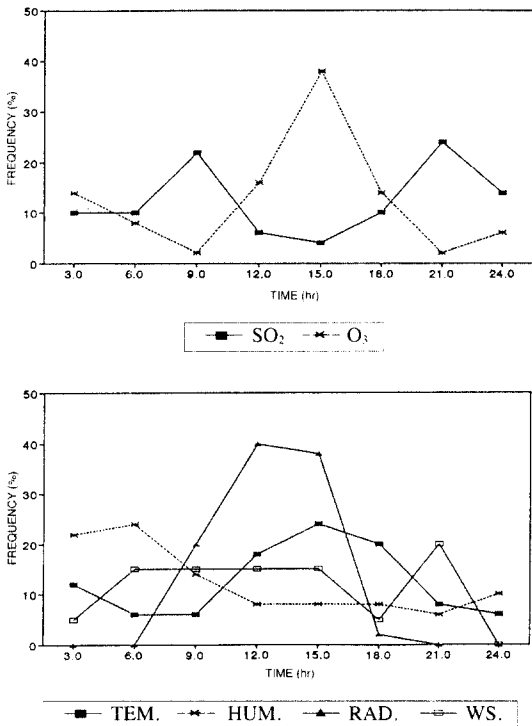


Fig. 6. Diurnal variation of SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> high concentration (above), temperature, wind speed, humidity and radiation (below).

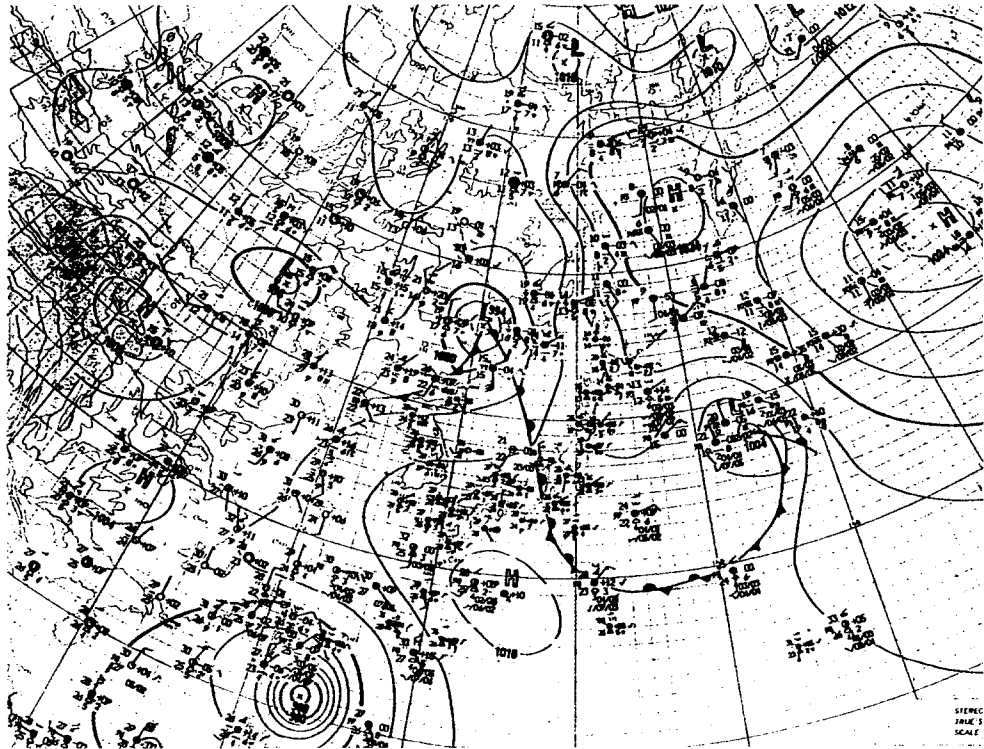


Fig. 7. Surface weather map (00Z) at 10th July 1994.

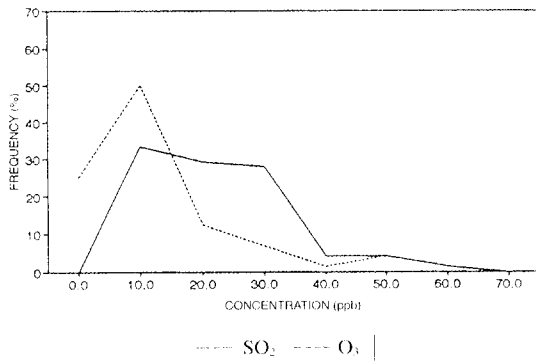


Fig. 8. Frequency distribution of SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> concentration in the South-High North-Low pressure pattern 1994.

기온은 27~33°C의 분포가 많고, 특히 40% 이상이 30°C 정도로 나타났다. 풍속은 50% 정도가 2~4m/s 범위로 분포되었으며, 습도는 약 80% 정도가 습도 70% 이상의 값으로 분포되었다. 그 중 상대습도

Table 2. Total average values of meteorological factors in each pressure pattern.

Pressure Pattern	Meteorological Factors				
	Temp. (°C)	Wind Speed (m/s)	Humidity (%)	Radiation (MJ/m <sup>2</sup> )	
High Pressure	West-High East-Low	3.0	4.0	46.5	92.9
	South-High North-Low	28.1	3.8	74.7	156.4
	Migratory Anticyclone	14.4	3.4	56.2	111.9

90%값은 약 30% 이상으로 나타났다. 일사량은 평균 156.4 MJ/m<sup>2</sup>으로 서고동저형과는 반대의 경향을 보였다. 일사량이 타 기압 배치 유형에 비해 높은 값으로 나타났으며, 특히 20% 이상이 300 MJ/m<sup>2</sup>값을 보였다.

진제 측정 자료(72개)중 상위 고농도인 경우 50개를 택하여 오염빈도분포를 그림 9와 같이 알아보

있다. 그중 SO<sub>2</sub> 농도는 주로 20~30 ppb 정도가 80% 이상으로 나타났으며, 환경기준치를 초과하는 빈도가 52% 정도로써 나타났다. 이는 서고동저형 기압 배치시보다 빈도가 낮게 분포되고 있어 겨울철이

여름철에 비하여 SO<sub>2</sub> 오염도가 높음을 잘 알 수 있다. O<sub>3</sub>의 경우, 10~20 ppb 농도가 약 70% 이상으로 높게 분포하였다. 그림 10에 고농도 SO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>이 발생하였을 때의 각각의 기상요소값의 빈도분포를 알아보았다. SO<sub>2</sub>의 경우, 기온이 30°C 전후, 풍속 4m/s 전후, 상대습도 70% 전후, 그리고 일사량이 120 MJ/m<sup>2</sup>~300MJ/m<sup>2</sup> 전후에서 높은 빈도를 보였다. O<sub>3</sub>은 기온 27~30°C 전후에서 빈도가 높고 기타 기상요소값들은 SO<sub>2</sub>의 경우와 거의 유사한 값의 경향을 보였다. 그림 11에는 이들 SO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>이 동일하게 낮 시간대에 증가 추세에 있는데, 이는 겨울철에 비해 여름철 난방 사용이 적고, 주간의 냉방기 사용과 높은 일사량을 가진 광화학 반응의 증대로 인한 원인과 부산 해안지역에서 발생하는 해륙풍순환과 같은 국지적인 미기상학적 요인들에 의한 농도 변화 원인으로 사료된다.

습도, 온도, 일사량, 풍속의 시간대별 변화 경향은 주간에 기온과 일사량의 증가가 뚜렷하며, 습도는

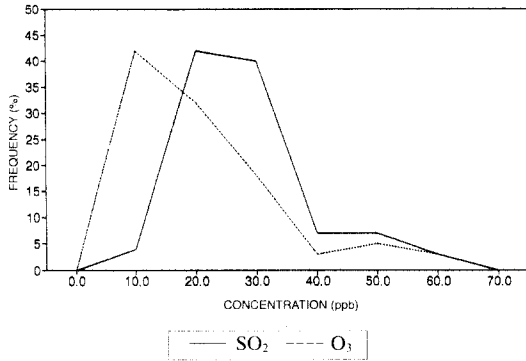


Fig. 9. Frequency distribution of SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> high concentration in the South-High North-Low pressure pattern 1994.

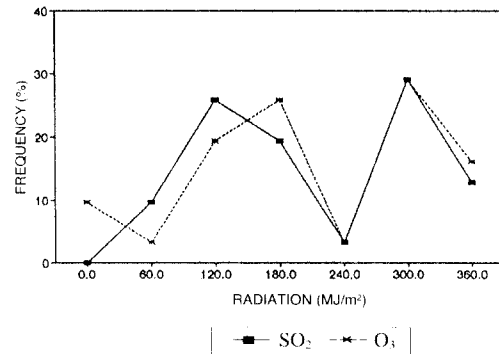
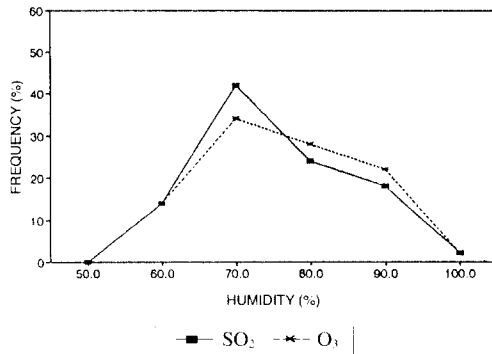
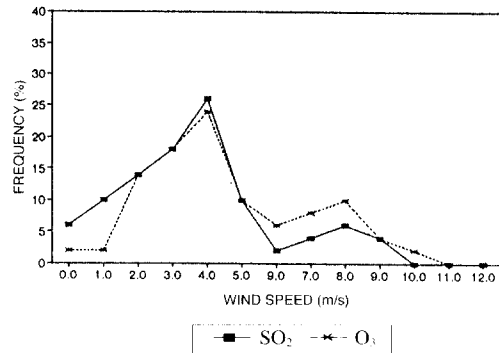
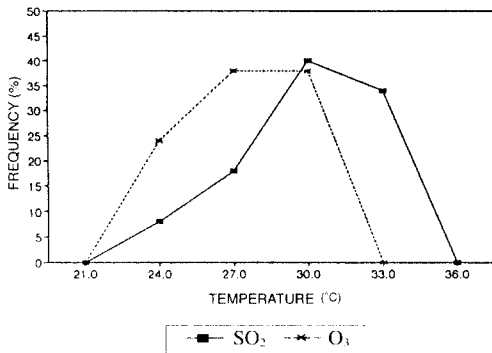


Fig. 10. Same as Fig. 9 but for temperature, wind speed, humidity and radiation.

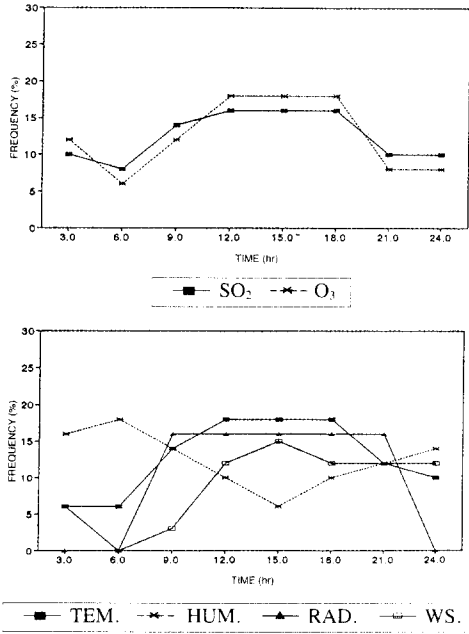


Fig. 11. Diurnal variation of SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> high concentration (above), temperature, wind speed, humidity and radiation (below).

새벽부터 낮시간까지는 감소하다 15시를 기준으로 증가하는 추세이고 풍속의 경우는 서고동저형과는 달리 각 시간대(주야간으로)별로 다소 변화를 보이고 있다.

### 3.3 이동성 고기압형의 기압배치에 따른 대기오염 농도변화

이동성 고기압형은 대륙의 고기압이 동남동쪽으로 진출하고 있을 때 고기압의 세력이 약하게 되면서 앞부분이 대륙의 연변에서 분리되어 봄과 가을에 많이 나타나고 경로는 저기압과 비슷하게 동진-북동진 한다(기상학사전, 1992).

그림 12는 1994년 5월 20일 전형적인 이동성 고기압 유형의 기압배치가 나타난 지상일기도를 나타내었다. 1994년 한해 동안 이동성 고기압형 기압배치는 계절의 구분 없이 거의 매월에 걸쳐 나타났으며 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11, 12월의 25일간 뚜렷하게 나타났다. 그림 13에 이동성 고기압 배치시 SO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub> 농도의 빈도분포를 보면, SO<sub>2</sub>는 주로 70% 이상이 20~40 ppb 범위로 나타났으며, O<sub>3</sub>의 경우 10 ppb 농도가 46% 정도로 나타났다.

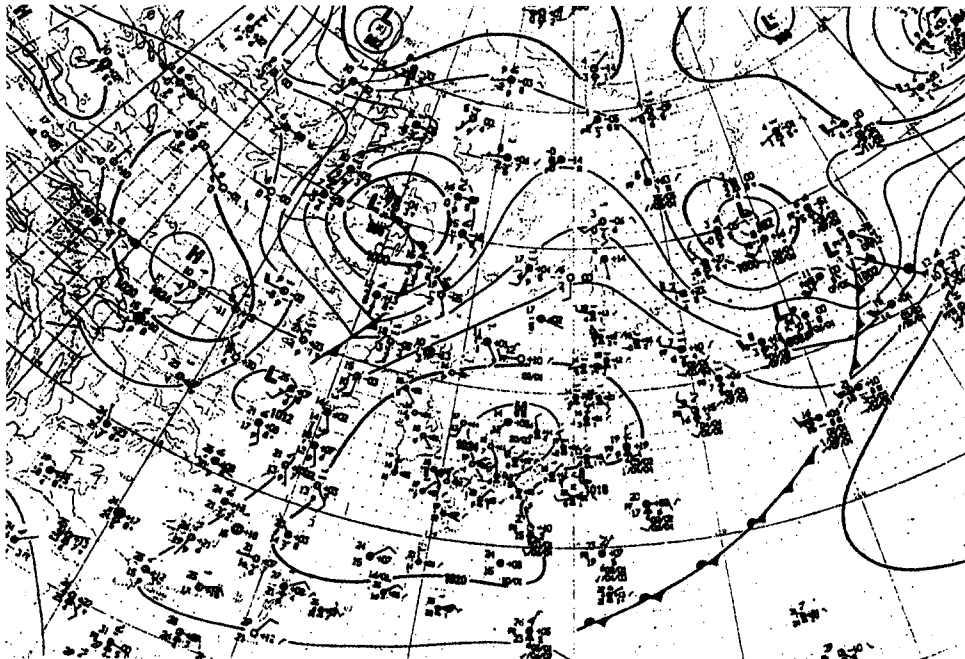


Fig. 12. Surface weather map (00Z) at 20th May 1994.



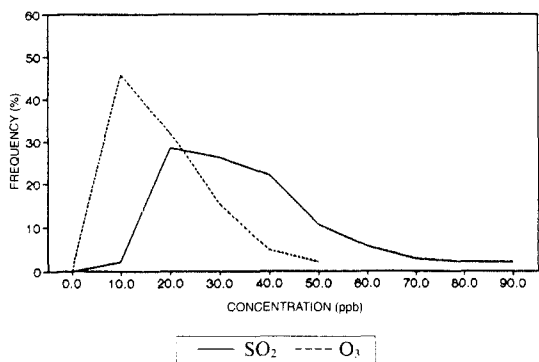


Fig. 13. Frequency distribution of SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> high concentration in the Migratory-Anticyclone pressure pattern 1994.

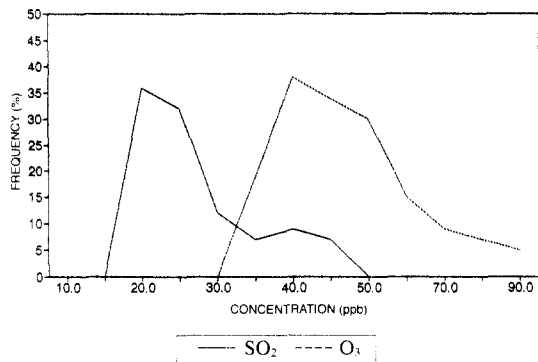


Fig. 14. Frequency distribution of SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> high concentration in the Migratory-Anticyclone pressure pattern 1994.

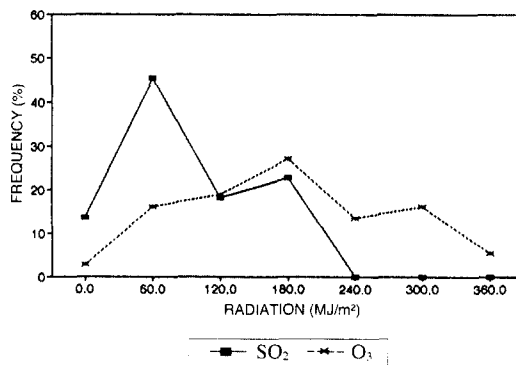
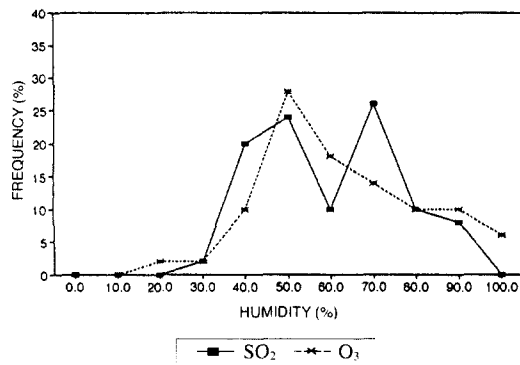
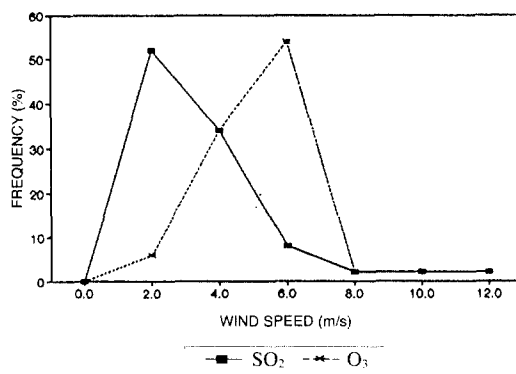
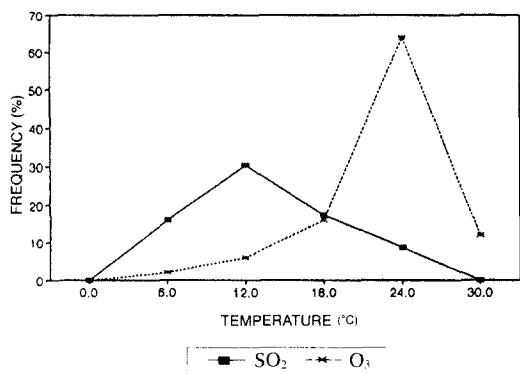


Fig. 15. Same as Fig. 14 but for temperature, wind speed, humidity and radiation.

SO<sub>2</sub>의 연간 환경기준치인 30 ppb 이상으로 분포되는 빈도는 70% 정도였다. 각 기상요소별 빈도를 살펴보면 기온은 주로 12~21°C가 높게 분포하고

풍속은 약 2~4 m/s 범위에서 출현빈도가 높으며, 상대습도는 50% 내외, 일사량은 60 MJ/m<sup>2</sup>에서 높게 분포되고 있다.

전체 측정자료(144개) 중 그림 14에서의 상위 50개를 선정하여 고농도의 SO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>의 발생빈도를 알아본 결과, SO<sub>2</sub>의 경우 거의 90% 이상이 대기 환경기준치인 30 ppb를 초과하는 것으로 나타났으며, 이는 서고동저형과 남고북저형의 기압배치 유형때 보다 훨씬 높은 농도를 보이고 있다. 특히 80 ppb 이상의 SO<sub>2</sub> 농도도 약 10% 정도로 나타나고 있어 이동성 고기압시 대기오염농도가 크게 증가하고 있는 것으로 사료된다. O<sub>3</sub>의 경우 20~25 ppb가 60% 정도로 분포하고 있으나, 대기 환경기준치인 60 ppb에 못미치는 것으로 나타났다.

따라서 1994년의 부산 도심지의 경우 O<sub>3</sub>에 의한 대기오염 영향은 그다지 심하지는 않았을 것으로 판단된다. 고농도 SO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub> 발생시 기상요소 값들의 빈도분포를 그림 15에 나타내었다. SO<sub>2</sub>의 경우 기온은 약 12°C 부근에서 30% 이상 고농도로 분포하고 있으며 O<sub>3</sub>은 24°C 부근에서 65% 이상 분포하고

있다.

풍속의 분포를 보면 SO<sub>2</sub>의 경우 2 m/s의 약풍에서 50% 정도로 고농도 분포를 나타내었고, O<sub>3</sub>의 경우 다소 강한 바람인 6 m/s 주위에서 50% 이상의 고농도를 보이고 있다. 따라서 이동성 고기압이 발달할 때 풍속이 세고 기온이 높을 때 고농도 O<sub>3</sub>이 발생할 가능성이 높은 것을 알 수 있다.

습도분포는 SO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub> 모두 50% 습도 주위에서 고농도 분포를 볼 수 있으며, 일사량은 SO<sub>2</sub>가 60 MJ/m<sup>2</sup>으로 낮은 값에서 고농도 SO<sub>2</sub>가 발생되나, O<sub>3</sub>의 경우 일사량이 높은 180 MJ/m<sup>2</sup> 근처에서 고농도 O<sub>3</sub>이 발생하는 것을 볼 수 있다.

고농도일 때 하루중 시간대별 변화도를 그림 16에 나타내었는데, 서고동저형과 동일하게 SO<sub>2</sub> 농도는 아침(09시 전후), 저녁시간(21시 전후)대에 증가 추세이고, O<sub>3</sub>는 15시경의 낮시간대에 최고 빈도분포를 보이고 있다. 또한 주간에 기온과 일사량이 높고, 습도는 야간에 증가하는 경향의 분포이며, 풍속은 15시를 제외하고 거의 일정한 분포를 나타내었다.

### 3.4 기압배치 유형별 대기오염농도 예측경험식 산출

기압배치 유형별 대기오염 농도의 예측 경험식을 산출하기 위하여 1994년 1월 1일부터 12월 31일까지의 기상자료와 대기오염물질(SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>)의 농도자료를 이용하여 일일 지상일기도의 기압분포를 분석하였다. 그중 대기오염의 고농도를 유발시키는 기압배치 형태 3가지 - 서고동저형, 남고북저형, 이동성 고기압형 - 으로 나누어 각각의 기압형태에서의 기상요소 중 기온, 상대습도, 풍속과 일사량 자료를 "그림 17"과 같이 계급으로 나누고 각 기상요소별 계급에서의 대기오염농도의 편차(T<sub>i</sub>, H<sub>i</sub>, W<sub>i</sub>, R<sub>i</sub>)를 구하였다. 계급별 편차와 기상요소별 평균 표준편차값( $\frac{T_i}{N}, \frac{H_i}{N}, \frac{W_i}{N}, \frac{R_i}{N}$ )을 계산하여 기상요소별 각 계급의 대기오염농도 편차와 계급별 평균 대기오염농도의 표준편차와의 차를 구한 잔차를 각각  $T_i - \frac{T_i}{N} = X_1, H_i - \frac{H_i}{N} = X_2, W_i - \frac{W_i}{N} = X_3, R_i - \frac{R_i}{N} = X_4$ 으로 두었다. 기상요소별 대기오염농도의 잔차의 합을 각 기상상태에서의 평균 대기오염물질 농도값에서 빼 차의 값을 각 대기오염물질의 경험 수로 결정하였다.

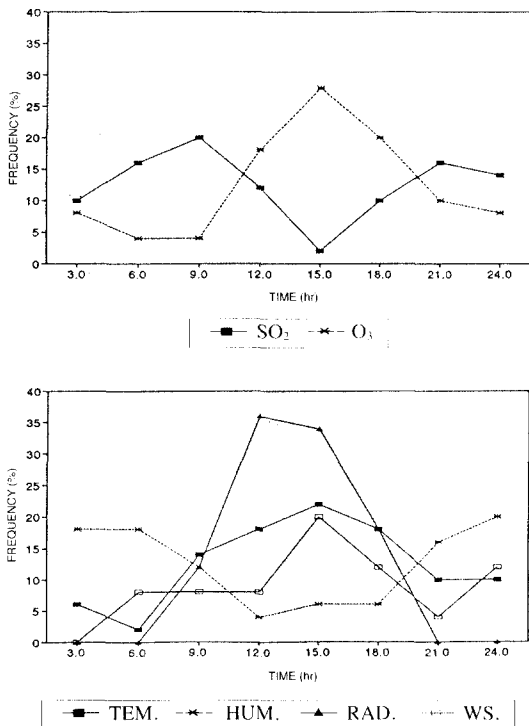


Fig. 16. Diurnal variation of SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> high concentration (above), temperature, wind speed, humidity and radiation (below).

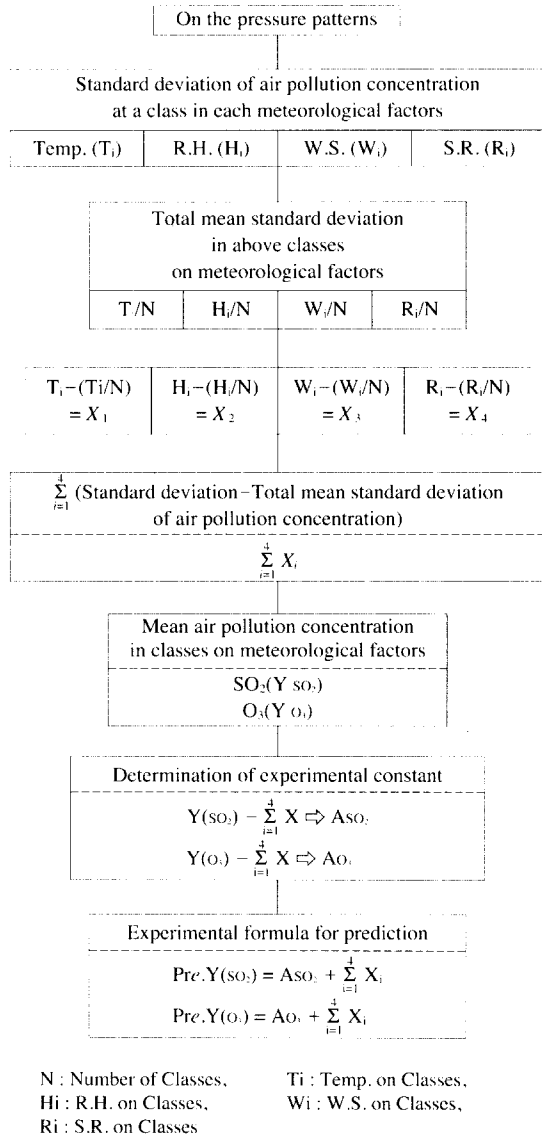


Fig. 17. Schematic flow chart for prediction of air pollution concentration.

이는 그림 17에서  $SO_2$ 의 경우  $A_{so_2}$ 값으로 나타내었으며,  $O_3$ 의 경우,  $A_{o_3}$ 값으로 나타내었다. 구하고자 하는 대기오염농도의 예측경험식은 기상요소별 각 계급의 잔차값의 합 ( $\sum_{i=1}^4 X_i$ )과 앞에서 구한 경험상수 ( $A_{so_2}$ ,  $A_{o_3}$ )를 합하여,  $Pre. Y_{(so_2)} = A_{so_2} + \sum_{i=1}^4 X_i$ ,  $Pre. Y_{(o_3)} = A_{o_3} + \sum_{i=1}^4 X_i$ 으로 나타낼 수 있다.

Table 3. Experimental residual value and prediction formula of air pollutants concentration at West-High and East-Low pressure pattern.

Meteorological Factors	Classes	$SO_2$	$O_3$
		Residual of Air Pollution Concen.	Residual of Air Pollution Concen.
Temperature ( $X_1$ )	-10.1 ~ -5.0	-2.33	-0.72
	-4.9 ~ 0.0	-0.94	-0.77
	0.1 ~ 5.0	0.55	1.79
	5.1 ~ 10.0	0.76	-0.44
	10.1 ~	1.78	0.16
Relative Humidity ( $X_2$ )	21 ~ 40	0.83	1.13
	41 ~ 60	-0.18	-0.70
	61 ~ 80	-0.90	-0.06
	81 ~ 100	0.34	-0.47
Wind Speed ( $X_3$ )	0.0 ~ 3.0	0.18	1.03
	3.1 ~ 6.0	0.46	-0.38
	6.1 ~ 9.0	0.66	0.59
	9.1 ~	-1.47	-1.42
Solar Radiation ( $X_4$ )	1 ~ 50	0.81	2.82
	51 ~ 100	0.26	-0.35
	101 ~ 150	0.04	0.37
	151 ~ 200	0.04	-1.00
	201 ~ 250	0.80	1.92
251 ~ 300	-1.73	-3.70	
Prediction Formula		$Y_{so_2} = 14.40 + \sum_{i=1}^4 X_i$	$Y_{o_3} = 17.69 + \sum_{i=1}^4 X_i$

Table 4. Same as Table 3 but for South-High and North-Low pressure pattern.

Meteorological Factors	Classes	$SO_2$	$O_3$
		Residual of Air Pollution Concen.	Residual of Air Pollution Concen.
Temperature ( $X_1$ )	20.1 ~ 25.0	-0.58	-4.06
	25.1 ~ 30.0	0.54	-2.26
	30.1 ~ 35.0	-0.02	6.34
Relative Humidity ( $X_2$ )	41 ~ 60	-0.97	5.17
	61 ~ 80	0.68	0.26
	81 ~ 100	0.25	-5.45
Wind Speed ( $X_3$ )	0.0 ~ 3.0	0.54	-3.04
	3.1 ~ 6.0	0.87	5.37
	6.1 ~ 9.0	-1.53	-2.43
Solar Radiation ( $X_4$ )	1 ~ 50	0.06	-1.95
	51 ~ 100	2.24	-2.33
	101 ~ 150	1.27	11.29
	151 ~ 200	2.92	-2.65
	201 ~ 250	-5.90	-6.10
	251 ~ 300	0.09	4.34
301 ~	-0.41	-2.50	
Prediction Formula		$Y_{so_2} = 16.77 + \sum_{i=1}^4 X_i$	$Y_{o_3} = 15.60 + \sum_{i=1}^4 X_i$

Table 5. Same as Table 3 but for Migratory Anticyclone pressure pattern.

Meteorological Factors	Classes	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>
		Residual of Air Pollution Concn.	Residual of Air Pollution Concn.
Temperature (X <sub>1</sub> )	0.1 ~ 5.0	-1.25	-1.38
	5.1 ~ 10.0	2.75	-3.52
	10.1 ~ 15.0	-0.28	-0.98
	15.1 ~ 20.0	2.81	1.48
	20.1 ~ 25.0	1.45	4.99
	25.1 ~	-5.48	-0.59
Relative Humidity (X <sub>2</sub> )	1 ~ 20	-2.51	-2.75
	21 ~ 40	2.85	-0.48
	41 ~ 60	1.81	2.11
	61 ~ 80	0.20	2.93
	81 ~ 100	-2.34	-1.82
Wind Speed (X <sub>3</sub> )	0.0 ~ 3.0	2.04	2.01
	3.1 ~ 6.0	2.52	3.58
	6.1 ~ 9.0	-0.07	-1.91
	9.1 ~	-4.49	-3.69
Solar Radiation (X <sub>4</sub> )	1 ~ 50	1.09	-1.25
	51 ~ 100	0.35	2.99
	101 ~ 150	3.71	-2.70
	151 ~ 200	1.06	1.36
	201 ~ 250	-1.76	0.77
	251 ~ 300	-0.64	3.87
	301 ~	-3.80	-5.05
Prediction Formula		Y <sub>SO<sub>2</sub></sub> = 22.0 + ∑ <sub>i=1</sub> <sup>4</sup> X <sub>i</sub>	Y <sub>O<sub>3</sub></sub> = 18.73 + ∑ <sub>i=1</sub> <sup>4</sup> X <sub>i</sub>

이상에서 얻어진 경험식을 실제 대기오염농도 예측에 이용하기 위하여는 기상요소별 대기오염 농도의 편차값인 X<sub>i</sub>에 관한 계급별 자료가 필요로 하게 된다. 이들 값은 표 3, 4, 5에 각 기압배치 유형별로 예측 경험식과 함께 나타내었다. 예측식에 의한 농도와 실측정 농도와의 상관계수 신뢰 한계값 범위는 r=0.735에서 최대 0.863 정도로 나타났다.

#### 4. 결 론

1994년 부산지역에서의 장기간에 걸친 대기오염 물질(SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>) 농도자료와 기상요소 자료들을 이용하여 서고동저, 남고북저, 이동성 고기압 등 고기압 배치 유형시의 각종 기상요소와 대기오염물질(SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>) 농도변화에 대한 특성을 알아보고 이들의 통계학적 관계를 이용하여 SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> 농도의 특징과 개략적인 예측 경험식을 살펴본 결과는 다음과 같다.

1. 겨울철, 서고동저형의 경우 풍속은 SO<sub>2</sub>가 3 m/s, O<sub>3</sub>는 4.5 m/s 범위, 습도는 30% 이하에서 고농도가 나타났다. SO<sub>2</sub>의 경우 일사량이 60 MJ/m<sup>2</sup> 이하에서 고농도가 나타나고 있으나 O<sub>3</sub>는 200 MJ/m<sup>2</sup> 이상에서 고농도 분포를 보이고 있어 광화학 반응으로 인한 영향으로 사료된다. 시간대별 농도변화는 SO<sub>2</sub>가 아침·저녁 시간대에 증가 추세이며, O<sub>3</sub>는 낮시간대에 최고치를 나타내었다.

2. 여름철, 남고북저형에서는 시간대별 농도변화는 SO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>가 동일하게 낮시간대에 증가추세이며, 이는 여름철 난방 사용이 적고, 주간의 난방기 사용과 높은 일사량을 가진 광화학반응의 증대로 인한 원인으로 사료된다.

3. 이동성 고기압의 경우에 풍속이 강하고 기온이 높을 때 고농도 O<sub>3</sub> 발생 가능성이 높고, 습도는 SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> 모두 상대습도 50% 주위에서 고농도 분포를 보였으며, 일사량은 SO<sub>2</sub>가 60 MJ/m<sup>2</sup>의 낮은 값에서, O<sub>3</sub>는 180 MJ/m<sup>2</sup>의 높은 값에서 발생 빈도가 높았다. 시간대별 농도 변화는 서고동저형과 유사한 형태를 나타내었다.

4. 기상요소와 대기오염농도와와의 통계학적 관계를 이용한 각 기압배치 유형에 따른 SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> 농도의 개략적인 예측 경험식은 다음과 같이 산출되었다.

##### (1) 서고동저형

- SO<sub>2</sub>(ppb) = 14.40 + X<sub>1</sub> + X<sub>2</sub> + X<sub>3</sub> + X<sub>4</sub>
- O<sub>3</sub>(ppb) = 17.69 + X<sub>1</sub> + X<sub>2</sub> + X<sub>3</sub> + X<sub>4</sub>

##### (2) 남고북저형

- SO<sub>2</sub>(ppb) = 16.77 + X<sub>1</sub> + X<sub>2</sub> + X<sub>3</sub> + X<sub>4</sub>
- O<sub>3</sub>(ppb) = 15.60 + X<sub>1</sub> + X<sub>2</sub> + X<sub>3</sub> + X<sub>4</sub>

##### (3) 이동성 고기압

- SO<sub>2</sub>(ppb) = 22.0 + X<sub>1</sub> + X<sub>2</sub> + X<sub>3</sub> + X<sub>4</sub>
- O<sub>3</sub>(ppb) = 18.73 + X<sub>1</sub> + X<sub>2</sub> + X<sub>3</sub> + X<sub>4</sub>

여기에서 X<sub>1</sub>은 기온, X<sub>2</sub>는 상대습도, X<sub>3</sub>는 풍속, X<sub>4</sub>는 일사량(대기오염농도 편차 - 평균 대기오염농도 편차)을 나타낸다.

따라서 금후 부산지역의 개략적인 대기오염농도(SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>) 예측에 기압배치 유형별 각 기상요소별 대기오염농도의 잔차를 이용한 대기오염농도 예측 경험식이 크게 기여될 것으로 사료되며, 이는 기상상태에 따른 도심지의 대기오염농도 변화 예측과 경보 시스템에 큰 도움을 줄 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

기상청 (1994) 기상월보.  
 김광식 (1992) 기상학 사전, 향문사, 735 pp.  
 김민영, 강희곤, 이상철 (1989) 오존 농도의 동태 및 영향인자에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 5(2), 55-71.  
 낙동강 환경관리청 (1994) 대기오염물질의 일별, 시간별, 월별 농도.  
 박옥현, 장은숙 (1987) 부산에서의 고농도 오존일의 기상 특성, 대한환경공학회지, 9(3), 55-67.  
 박일수, 이덕길, 강인구 (1991) 서울지역 겨울철 SO<sub>2</sub> 농도를 지배하는 기상인자, 한국대기보전학회지, 7(2), 96-104.  
 신찬기, 한진석, 김용신 (1992) 대기오염농도와 기상일자의 관련성 연구, 한국대기보전학회지, 9(4), 213-220.  
 이덕길, 안인구, 김양균, 홍용기, 나진균, 유승도, 김정수, 이재인, 정준화, 양은희 (1990) 도시지역 도시대기질에 관한 연구 (II) - 대기오염영향 인자 분석, 국립환경연구원보, 12, 71-96.  
 이종범, 강인구, 김양균, 나진균, 이석조, 유승도, 김정수, 이재인, 박보현, 남영규 (1989) 도시지역 대기질 개선에 관한 연구 (I) - 기상특성 및 대기질 분석을 중심으로, 국립환경연구원보, 11, 81-96.  
 이태영, 김정우, 박순웅 (1990) 대기오염 예보체제 개발연구, 한국 환경과학연구 협의회, 1-186.  
 정 용, 장재연, 권숙표 (1986) 서울시 대기 중 오존의 오염도와 그 영향인자 분석, 한국대기보전학회지, 2(1), 73-79.  
 정용승, 정재섭 (1991) 서울 수도권 지역의 광화학 오존에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 7(3), 169-179.  
 환경부 (1990) 한국환경연감, 제3호, 7.  
 환경부 (1995) 환경통계연감, 제8호, 40-85.  
 일본기상청 (1994) 천기도.  
 Altshuller, A.P. (1986) The role nitrogen oxides in non-urban ozone formation in the planetary boundary layer over N. America, W. Europe and adjacent areas of ocean, Atmos. Environ., 20, 245-268.  
 Chock, D.P., A.M. Dunker, S. Kumar, and C.S. Sloane (1981) Effect of NOx emission rates on smog formation in the California South Coast Air Basin, Environ. Sci. Technol., 15, 933-939.  
 Comrie, A.C. (1990) The climatology of surface ozone in rural areas : a conceptual model, Prof. Phys. Geog., 14, 295-316.  
 Flohn, H. (1954) Witterund Klima in Mitteleuropa hirzel, S. Stuttgart, 214.  
 Han, Y.-H., D.-I. Lee, F. Ishioka, T. Taniguchi, and K. Kikuchi (1989) Vertical distribution of aerosols concentrations in the boundary layer observed by a tethered balloon (part I : distributions of aerosol concentration in relation to atomospheric stability), J. Korean Meteor. Soc., 25(4), 261-268.  
 Lamb, H.H. (1965) Frequency of Weather types, Weather, 20, 9-12.  
 Lamb, H.H. (1972) British Isle weather types and aregister of the daily sequence of circulation patterns 1861 ~ 1971. Met. Offiee, Geophys, wem., 116, 1-85.  
 Lee, D.-I. and Y.-H. Han (1992) Vertical distribution of aerosols concentrations in the boundary layer observed by a tethered balloon (part II : distribution of aerosol concentration in relation to the sea breeze front), J. Korean Meteor. Soc., 28(4), 498-507.  
 Scinfeld, J.H. (1989) Urban air pollution: state of the science, Science, 243, 745-752.  
 Shreffler, J.K., and R.B. Evans (1982) The surface ozone record from the regional air pollution study, J. Atm. Env., 16, 1311-1321.  
 Spillane, K.T. (1978) Atmospheric characteristics on High oxidant dates in Melbourne, Clean Air, 12, 50-56.  
 Wark, K. and C.F. Warner (1976) Air pollution, its origin and control, chapter 5, 153-154.  
 Wilkins, E.T. (1954) Air Pollution in a London Smog, Mech-anical Engineering, May, 426-429.