

# 서울 지역 겨울철 SO<sub>2</sub> 농도를 지배하는 기상 인자

## The Meteorological Factors Governing SO<sub>2</sub> Concentrations During the Wintertime in Seoul Area

박 일 수 · 이 덕 길 · 강 인 구

국립환경연구원 대기연구부  
(원고접수: 1991. 4. 4)

Il-Soo Park, Deok-Gil Rhee, In-Goo Kang

Atmospheric Research Department, National Institute of Environmental Research  
(Received 4, April 1991)

### Abstract

An investigation is carried out for the roles of the synoptic meteorology in governing SO<sub>2</sub> concentrations in Seoul during the wintertime. This study has used the daily records of wind and temperature measured at the Korea Meteorological Administration in Seoul. A one-dimensional diffusion model has been used for investigating the influence of the mixing height on the diurnal variation of concentration.

The day to day variations of the concentration are well correlated with those of wind and temperature. The diurnal variation of the concentration is dictated by the variation of mixing height. It is also found that mesoscale wind field is required to explain the mesoscale distribution of the concentration.

### 1. 서 론

서울의 대기 오염은 산업 시설과 교통 수단 증가에 기인한 오염 배출량의 증가, 인구와 소비의 증가에 기인한 연료 사용량의 증가 등으로 날로 심화되고 있다. 가정과 사무실 등의 난방에서 배출되는 이황산 가스(SO<sub>2</sub>)는 겨울철에 특히 고농도 사례를 초래하는 대기 오염의 주범으로 알려져 있다.

대기 오염의 분포는 오염물의 배출량과 난류 확산 및 바람 수송으로 결정될 것이므로, 이들을 지배하는 기상인자는 대기 오염의 이해에 중요한 것이다.

통계적으로 볼 때, 기상과 대기 오염 농도 사이에는 상당한 관계가 있다(Fukuoko, 1973). 예를 들면, 1952년 런던에서 발생했던 스모그 사건은 수일간 계속된 무풍 상태가 큰 작용을 한 사건이다. 이 사건 당시 SO<sub>2</sub>의 최고 농도는 1.34 ppm이었으며 약

5일만에 4,000명의 사망자가 발생한 것으로 알려져 있다(조광명, 1978). 1930년 벨지움의 듀즈 계곡에서도 대기 오염으로 약 10일만에 63명의 사망자가 발생했으며, 이 사건에서는 계곡이라는 지형 특징도 무시될 수는 없었던 것으로 보고되었지만 역시 무풍 상태라는 기상 조건이 중요한 사고 원인으로 밝혀졌다(권숙표 등, 1985). 최근에 이태영 등(1990)은 서울 지역 겨울철 SO<sub>2</sub>의 고농도 발생의 경우 농도와 기상 요소들 사이의 상관 관계를 계산한 바 있다.

따라서 어느 지역의 오염물 농도의 예측, 고농도 오염 발생의 예보 그리고 대기 오염의 예방을 위해서는 오염물의 배출량을 줄일 노력과 함께 기상인자가 대기 오염에 미치는 영향을 분석함이 필요하다.

이 연구에서는 서울 지역 겨울철 SO<sub>2</sub> 농도에 영향을 미치는 기상 인자로 기온, 풍속, 강수량, 혼합고 그리고 기압 배치의 다섯가지를 설정하고 이들이 SO<sub>2</sub> 농도 분포에 어떠한 영향을 미치는지를 밝히고

자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 관측 자료의 통계 분석

서울 지역 겨울철 SO<sub>2</sub> 농도 분포를 지배하는 기상 인자로서 기온, 풍속, 강수량, 혼합고 그리고 기압 배치의 다섯가지를 서론에서 제시하였다. 이 장에서는 이 다섯가지 인자들이 어떻게 농도를 지배하는지를 밝히기 위한 분석 방법들을 기술한다.

### 자 료

이 연구를 위해 사용된 관측 자료는 표 1에 보인 바와 같다.

기상 자료는 표 1에 보여진 바와 같이 기상청(북위 37°34', 동경 126°58')에서 매시 관측된 기온, 바람 및 일 강수량 자료, 오산 공군 기상대(북위 37°06', 동경 127°02')에서 00Z에 관측된 850 mb 고도의 바람 자료 그리고 환경처 산하 20개 대기 오염 감시 관측점에서 매시 관측된 바람 자료들이다. 또한 일본 기상청에서 작성된 00Z의 극동 지역 지상 기압 배치 자료가 사용되었다. 연구에 사용된 모든 자료의 기간은 1987년 12월부터 1988년 2월까지이다.

**Table 1.** Summary of the data used in the study.

Classification	Element	Source
Meteorology	Wind speed at 20 monitoring stations in Seoul	Ministry of Environment
	The daily average precipitation, temperature and wind speed in Seoul	Korea Meteorological Administration
	Wind speed (850 mb) in Osan	Korea Meteorological Administration
Concentration	Surface pressure chart in the Far-East region	Japan Meteorological Administration
Concentration	SO <sub>2</sub> concentrations at 20 monitoring stations in Seoul	Ministry of Environment

농도 자료는 서울 지역에 설치된 20개의 대기 오염 감시 관측 지점에서 1987년 12월부터 1988년 2월 까지 매시 관측된 SO<sub>2</sub> 자료이다. 환경처는 관측 지점간 약 6.5 km의 평균 거리를 두고 20개의 대기 오염 감시 관측 지점을 서울 지역에 설치하여 매시 SO<sub>2</sub>,

CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, TSP, HC의 농도와 바람을 관측한다. 이 관측 자료의 신뢰성에 관한 논의가 제시된 바 있다(Ministry of Environment, 1983).

### 분석 방법

SO<sub>2</sub> 농도와 기상과의 관계를 살펴보기 위해 각 자료의 일평균치 시계열 사이의 산포도와 상관 계수를 구하였고, SO<sub>2</sub> 농도의 일 변동에 대한 특징을 확인 하기 위하여 그 계절 평균을 분석하였다. 이 분석에서 중규모 분포를 대표할 수 있다고 보는 신설동, 광화문, 오류동, 불광동, 잠실동 및 쌍문동의 6개 지점 자료만이 사용되었다.

### 2.2 1차원 확산모형

혼합고의 일 변동과 관련시켜 SO<sub>2</sub> 농도의 일 변동에 대한 특징을 살펴본다. 이를 위해 사용될 1차원 확산모형을 기술한다.

#### 확산방정식과 경계조건

확산이 난류에 의해서만 이루어진다고 보고 연직 확산에 대한 1차원 방정식을 쓰면

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K \frac{\partial C}{\partial z} \right) + Q \quad (1)$$

여기서 C, K 그리고 Q는 각각 농도, 연직 난류 확산 계수 그리고 배출율을 나타낸다. 이 식에 대한 경계 조건은 밀면(z=0)과 윗면(z=H)에서

$$K \frac{\partial C}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

이고, 초기 조건은 t=0에서 C=0이다.

조건 (2)는 지표면에서 오염물이 흡수되지 않고 또한 오염물이 혼합고(H=1,000 m)를 침투할 수 없다는 것을 나타낸다.

#### 확산계수

이 모형은 혼합고의 일 변동과 농도의 일 변동이 어떻게 상관되는가를 역학적으로 이해하기 위해 사용되었다. 혼합고의 영향이 식 (1)의 확산계수를 통해 취급되어야 하므로, 확산계수와 혼합고 사이의 관계를 먼저 설정해야 된다. 이를 위해 Shir and Shieh(1974)의 경험식을 이용하여

$$K = k_0 u_* z \exp\left(-\frac{z}{h_{\max}}\right) \quad (3)$$

로 확산계수를 계산한다.

여기서 k<sub>0</sub>, u\* 그리고 h<sub>max</sub>는 각각 Von Karman 상수(≈0.4), 마찰 속도 그리고 길이 모수(parameter)이다. 고도 Z\*(≡z/h<sub>max</sub>)의 함수로 나타낸 확산

계수  $K^*$  ( $\equiv K/(k_0 u_* h_{\max})$ )를 그림 1에 제시하였다. 지표면 근처에서  $K^*$ 는 거의 선형적으로 증가하여  $Z^*=1$ 에서 극대값을 갖고 그 위에서는 계속 감소하므로  $h_{\max}$ 는  $K$ 가 최대값을 갖는 고도인데 이 연구에서는  $h_{\max}=H/4$ 로 가정하였다. 한편 마찰 속도는 Clarke(1970)의 경험식을 이용하여

$$u_* = \frac{H}{0.20} f \quad (4)$$

로 계산된다.

여기에서  $f$ 는 코리올리 모수 ( $\approx 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ )이고, 혼합고  $H$ 는 기상 조건과 시간에 따라 변할 수 있다.

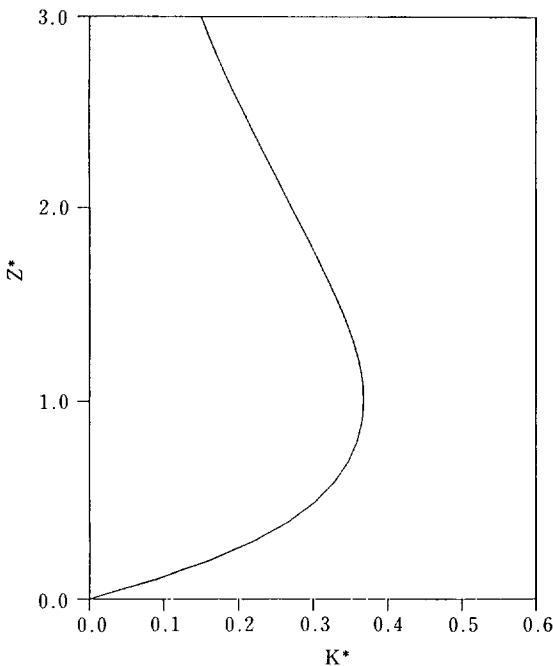


Fig. 1. Altitudinal variation of the vertical diffusivity ( $K^*$ ).

### 차분화

확산 방정식 (1)에 나타나는 매개변수  $K$ 와  $Q$ 가 어떤 특정한 모양새를 취할 때에는 간단한 해석해가 가능하겠지만,  $H$ 의 시간 변화가 복잡하고  $K$ 가 (4)와 (3)로 주어지는 경우 식 (1)의 해석해는 기대하기 어렵다. 따라서 우리는 수치해를 시도해야 되며, 이때 수치 계산을 위한 차분 방정식은 아래와 같다. 먼저 제일 밑층인  $i=1$ 에 대해,

$$C_{1,n+1} - C_{1,n} = \frac{K_{1+1/2}}{(\Delta z)^2/2} (C_{2,n} - C_{1,n}) \Delta t + Q_1 \Delta t \quad (5)$$

그 다음 윗층 이상,  $i \geq 2$ 에 대해

$$C_{i,n+1} - C_{i,n} = \frac{K_{i+1/2}}{(\Delta z)^2} (C_{i+1,n} - C_{i,n}) \Delta t - \frac{K_{i-1/2}}{(\Delta z)^2} (C_{i,n} - C_{i-1,n}) \Delta t + Q_i \Delta t \quad (6)$$

여기에서  $i$ 와  $n$ 은 각각 격자점 지수와 시간 지수이다. 시간 간격  $\Delta t$ 와 격자 간격  $\Delta z$ 는 각각 일정하게 10 s와 25 m로 잡았고, 배출율  $Q_i$ 는 유효 배출 고도가 50 m인 점원에서만 일정하게 100 g/s로 배출된다고 간주하였다. 따라서  $Q_2=100 \text{ g/s}$ 이고,  $i \neq 2$ 인 모든  $i$ 에 대해  $Q_i=0$ 이다. 계산 안정도를 위해서는 시간 간격이 다음의 조건

$$K \frac{\Delta t}{(\Delta z)^2} \leq \frac{1}{2} \quad (7)$$

을 만족하여야 한다. 앞에서 잡은  $\Delta t$ 와  $\Delta z$  그리고 계산 도중에 얻은  $K$ 의 값들은 언제나 식 (7)을 만족하였다.

## 3. 기상인자

### 3.1 기 온

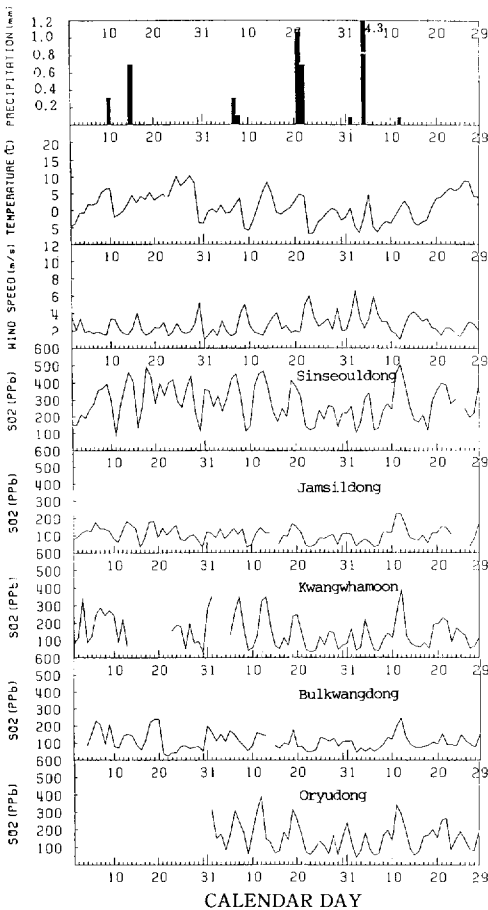
일 최저 기온은 일반적으로 이른 아침에 나타나므로 건물주가 그날의 난방 시스템을 얼마나 가동하느냐를 결정하는 요소로 사용되기 때문에 일 배출량과 깊은 관계를 갖게된다. 일반적으로 기온이 높으면 난방용 연료 사용량이 감소하여 농도는 낮을 것으로 예상되고, 반면 기온이 낮으면 난방용 연료의 사용량이 증가하여 농도가 높을 것으로 예상될 수 있다. 그러나 이 예상은 그림 2에서 보면 맞지 않음을 알 수 있다. 표 2에서 보듯이 모든 지점들에서 오히려 기온이 증가할 때 농도도 증가하는 경우가 다른 경우들과 비교해 많이 나타난다. 그림 3은 일평균 기온과  $\text{SO}_2$  농도의 일 변동 사이의 산포도이며 둘 사이의 상관계수가 0.26밖에 되지 않는다. 이와 같은 현상은 다음과 같이 해석될 수 있다. 기온이 증가하는 것은 시베리아 및 몽고 지역에서 형성된 한랭 고기압의 약화로 나타나며, 풍속 감소로 인한 환기 효과의 약화가 농도를 증가시킨다고 본다. 보다 자세한 종관 특징을 기압 배치와 관련하여 언급하겠다.

### 3.2 풍 속

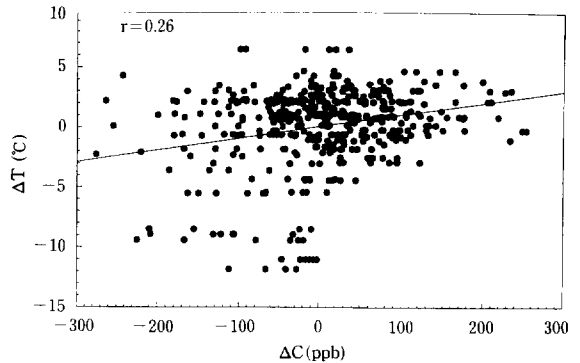
강한 풍속은 오염 물질의 급속한 수송과 더불어 강한 확산을 일으키므로 큰 환기 효과를 나타낸다. Garnett(1980)에 의하면 영국 Sheffield 지역에서 풍속이 1.5 m/s 보다 낮은 날에는  $\text{SO}_2$  농도가 0.07

**Table 2.** The four groups for diurnal variation of the daily average temperature (°C) and SO<sub>2</sub> concentration (ppb). The value in parenthesis is the number of days assorted in the given group.

Station	Classification			
	I	II	III	IV
	$\Delta T (^{\circ}C)/\Delta C (ppb)$	$\Delta T (^{\circ}C)/\Delta C (ppb)$	$\Delta T (^{\circ}C)/\Delta C (ppb)$	$\Delta T (^{\circ}C)/\Delta C (ppb)$
Sinseouldong	2.1/85.9(34)	1.8/-69.6(20)	-1.4/89.6(14)	-4.4/-129.2(19)
Kwangwhamoon	2.1/82.1(30)	2.0/-82.9(18)	-1.4/66.9(10)	-4.6/-71.2(17)
Oryudong	1.8/83.5(18)	2.4/-84.9(18)	-1.7/64.0(11)	-4.3/-67.2(12)
Bulkwangdong	2.0/38.4(27)	2.0/-45.4(26)	-1.4/47.5(14)	-4.5/-23.4(17)
Jamsildong	1.9/38.4(26)	2.1/-24.3(28)	-1.4/49.7(13)	-4.6/-46.4(16)
Ssangmundong	2.4/83.1(21)	1.6/-71.8(15)	-1.9/58.5(10)	-3.9/-99.6(13)



**Fig. 2.** The time-series of the daily average precipitation, temperature and wind speed at the Korea Meteorological Administration, the daily average SO<sub>2</sub> concentrations at Sinseoul, Jamsil, Kwangwhamoon, Bulkwang and Oryu stations during the wintertime are shown from the above.



**Fig. 3.** Scatter diagram of diurnal variation between the daily average temperature and SO<sub>2</sub> concentration during the wintertime. The number of samples, correlation coefficient are 438, 0.26, respectively. The solid line indicates the linear regression line.

ppm을 초과하였고, Shir and Shieh(1974)에 의하면 St. Louis 지역에서는 풍속이 2배가 되면 지표 농도는 약 반으로 줄었다. 권숙표 등(1985)에 의하면 신촌 구역에서 농도가 0.30 ppm을 초과하는 모든 경우에 풍속은 1.0 m/s 미만의 약풍이 나타났다. 또한 이태영 등(1990)에 의하면 서울 지역에서 농도가 0.6 ppm을 초과할 때 풍속은 1.8 m/s 미만의 약풍이 나타난다. 표 3에 제시된 바와 같이 모든 지점에서 오염 농도는 다른 기상 요소에 비해 기상청 풍속과 더 높은 역 상관관을 보였다.

풍속의 변화와 농도의 변화 사이에도 상당한 상관이 있는데, 표 4에 따르면 풍속이 감소할 때 농도가 증가, 풍속이 증가할 때 농도가 감소하는 경우가 많다. 이는 그림 2를 보아도 명백하다. 그림 4는 풍속과 SO<sub>2</sub> 농도의 일 변동(일 평균값과 다음 날의 일 평균값 사이의 차) 사이의 산포도를 보이며 둘 사이의

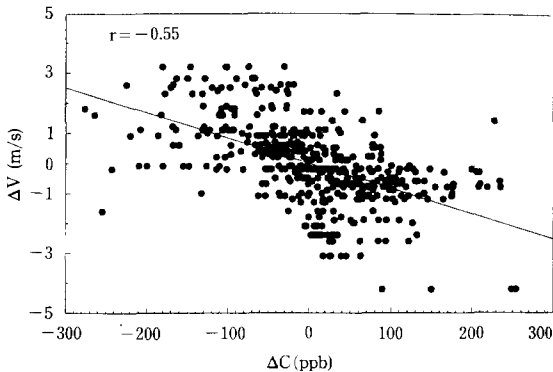
**Table 3.** Correlation coefficients between the daily average SO<sub>2</sub> concentration of various stations and meteorological elements. The numbers of in parenthesis are the numbers of pairs utilized for correlation.

Station	Element				
	Wind speed	Wind speed(850 mb)	Min. temp.	Ave. temp.	Previous day's conc.
Sinseouldong	-0.73(91)	-0.49(91)	0.49(91)	0.52(91)	0.45(90)
Kwangwhamoon	-0.59(79)	-0.41(79)	0.28(79)	0.29(79)	0.35(78)
Oryudong	-0.72(60)	-0.38(60)	0.10(60)	0.13(60)	0.38(59)
Bulkwangdong	-0.58(87)	-0.46(87)	0.03(87)	0.05(87)	0.44(86)
Jamsildong	-0.73(87)	-0.51(87)	0.25(87)	0.28(87)	0.42(86)
Ssangmundong	-0.72(60)	-0.41(60)	0.38(60)	0.39(60)	0.45(59)

\*There are two wind speeds in element, First, second one is wind speed measured at Korea Meteorological Administration, at Osan Air Force Meteorological Service respectively.

**Table 4.** As in table 2 except for wind speed (m/s).

Station	Classification			
	I	II	III	IV
	$\Delta U$ (m/s)/ $\Delta C$ (ppb)	$\Delta U$ (m/s)/ $\Delta C$ (ppb)	$\Delta U$ (m/s)/ $\Delta C$ (ppb)	$\Delta U$ (m/s)/ $\Delta C$ (ppb)
Sinseouldong	1.2/-105.6(32)	-1.1/96.0(38)	0.6/52.7(10)	-0.7/-61.7( 8)
Kwangwhamoon	1.3/- 79.3(24)	-1.1/85.5(28)	0.6/61.3(12)	-0.8/-87.7(12)
Oryudong	1.3/- 72.0(23)	-1.2/85.8(24)	0.4/29.7( 5)	-0.4/-96.9( 7)
Bulkwangdong	1.2/- 40.0(28)	-1.3/49.6(30)	0.6/19.6(11)	-0.4/-30.6(15)
Jamsildong	1.1/- 39.1(32)	-1.2/46.4(33)	0.8/17.8( 7)	-0.4/-14.4(12)
Ssangmundong	1.3/- 97.7(21)	-1.1/86.9(24)	0.7/35.0( 7)	-0.7/-45.9( 7)



**Fig. 4.** Scatter diagram of diurnal variation between the daily average wind speed and SO<sub>2</sub> concentration during the wintertime. The number of samples, correlation coefficient are 438, -0.55, respectively. The solid line indicates the linear regression line.

상관계수가 -0.55이다.

농도와 기상청 풍속 간의 상관계수가 비교적 낮은 지점, 예를 들면 불광동 지점에서는 그림 5에 보인

바와 같이 북풍 계열의 바람이 불 때 보다 남풍 계열의 바람이 불 때 높은 농도가 나타나고 있어 이류의 영향이 명백한데, 이 경우 기상청 풍속의 증가는 오히려 농도의 증가를 동반한다.

Lalas *et al.*(1982)의 연구는 중관 기상 상태가 급변하지 않고 풍속이 약해 환기 효과가 약한 기상 조건 하에서는 전날 농도로 부터 다음날 농도를 예측할 수 있음을 밝혔다. 그러나 표 3에서 보면 전날 농도와 상관 계수들이 높지 않은데, 이는 앞에 언급된 기상 조건만을 선별적으로 계산에 포함시키지 않았기 때문이라고 생각된다.

### 3.3 강수량

그림 2를 보면 극소 농도 발생일의 하루 전에 강수가 나타났는데, 이는 강수로 인해 대기중 오염물이 제거(washout)된 것으로 풀이된다. 지표면 농도의 강수량에 대한 감도 연구(예를 들면, 문종이, 1988)에 의하면 세척 효과는 강수량, 오염 농도 그리고 수집 효율의 함수로서 강수 전후의 오염 농도의 시간 변화의 설명에 중요하다.

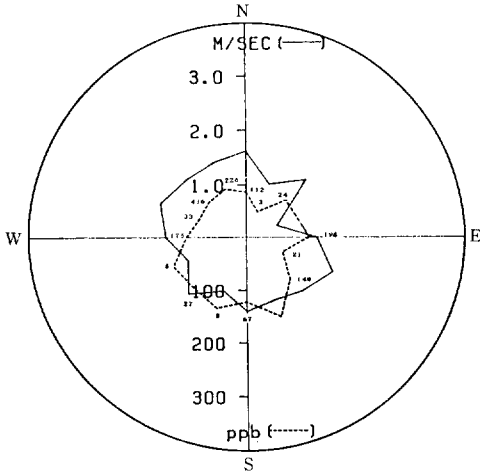


Fig. 5. Wind rose (solid line) and SO<sub>2</sub> concentration rose (dotted line) at Bulkwang station during the wintertime. Numbers are occurrence those per wind direction. Unit of wind speed and SO<sub>2</sub> concentration are shown in the vertical axis as a reference.

3.4 혼합고

그림 6은 대치동 지점 SO<sub>2</sub> 농도의 1988년 계절 평균 일 변동을 보인다. 그림에서 알 수 있듯이 일출 약 2, 3시간 후에 극대값이 나타나며 농도는 급감소 후 16시경 부터 다시 증가하여 일몰 약 2, 3시간 후

에 두번째의 극대값이 나타나는 일 변동을 보인다. 대치동 지점과 유사한 SO<sub>2</sub> 농도의 일 변동이 일본의 Sapporo (Tsuyoshi, 1970)와 Onahama (Fukuoko, 1973), 소련의 Tbilisi (Lomaya, 1974) 그리고 독일의 Berlin (Riehl *et al.*, 1974) 지역들에서 나타났다. 이와 같이 일출, 일몰 약 2, 3시간 후에 각각 극대값을 현저하게 보이는 일 변동이 기상 변동에 기인한 것인지 혹은 배출 변동에 기인한 것인지 관심의 대상이 된다. 계절에 따라 배출량과 배출량의 시간분포 차이가 현저함을 고려할 때 모든 계절에 두번의 극대값을 갖는 일 변동은 배출량의 변동에 기인하기 보다는 기상 변동에 기인한 것임을 시사해 준다. 미국 St. Louis 지역에서도 나타나는 이러한 현상을 Ku *et al.* (1987a)는 다음과 같이 해석하였다. 오염원으로부터 배출된 오염물질은 야간에 안정한 대기로 인해 연직으로 높은 농도 경도를 유지하다가 일출 후 활발한 열적 대류로 접지 역전층이 파괴되면서 지표면으로 재확산되어 지표 농도를 급증 시킨다. 한편 일몰 전 난류의 약화로 연직 혼합이 둔화되면서 지표 농도의 재상승이 있다가 일몰 후 역학적 혼합층의 발달로 인해 오염 물질의 연직 확산이 일어나면서 농도의 하강이 일어나 두번째 극대값을 갖는다.

SO<sub>2</sub> 농도의 일 변동에 대한 혼합고의 역할을 구체적으로 살펴보기 위해 1차원 확산모형으로 수치 모사 실험을 수행하였다. 먼저 혼합고를 1,000 m에 고정시키고 농도가 준정상 상태에 도달하는 4일까지

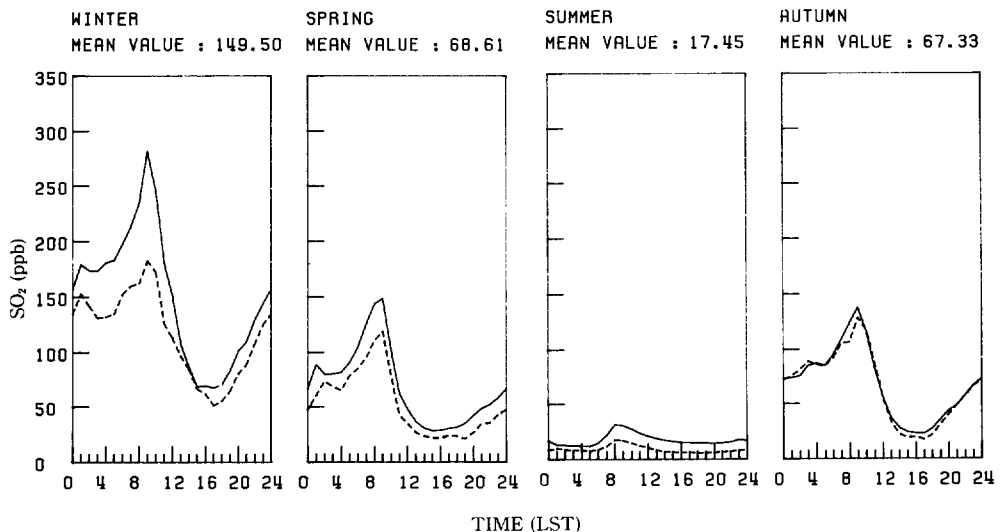


Fig. 6. Diurnal variation of the seasonal average SO<sub>2</sub> concentrations at Taechi station. Solid and dotted line indicate the SO<sub>2</sub> concentration and standard deviation, respectively.

모형을 가동시킨 다음, 혼합고의 일 변동을 허락하면서 농도의 일 변동을 모사하였고 그 결과를 그림 7에 보였다.

실험에서 보면, 혼합고가 급상승하기 시작하는 8시에 농도의 첫번째 극대값이 나타나고, 그후 농도는 급감소하다 18시경부터 다시 증가하여 약 20시에 두번째 극대값을 보인다. 야간에는 오염 물질의 난류 확산이 저지된 채 오염물 자체가 안정한 접지층 안에 갇혀 있다가 일출 후 지표가 태양열을 받고 가

열된 다음 불안정층이 높이 형성되면 그 층 안에 갇혀 있던 오염물질의 확산, 침적이 왕성해져 지표의 오염 농도는 극대에 달하게 된다. 그후 혼합고가 계속 증가하고 난류 운동이 왕성함에 따라 하층에 갇혀 있었던 오염 물질이 위로 확산되어 약 14~15시경에 일사량의 감소로 확산이 둔화되기 시작할 즈음에 지표면 농도는 최소치에 이른다. 실험으로부터 얻은 그림 7의 시간-고도 단면에서도 난류운동이 왕성한 오후에 오염 물질이 높은 고도까지 침투할 수

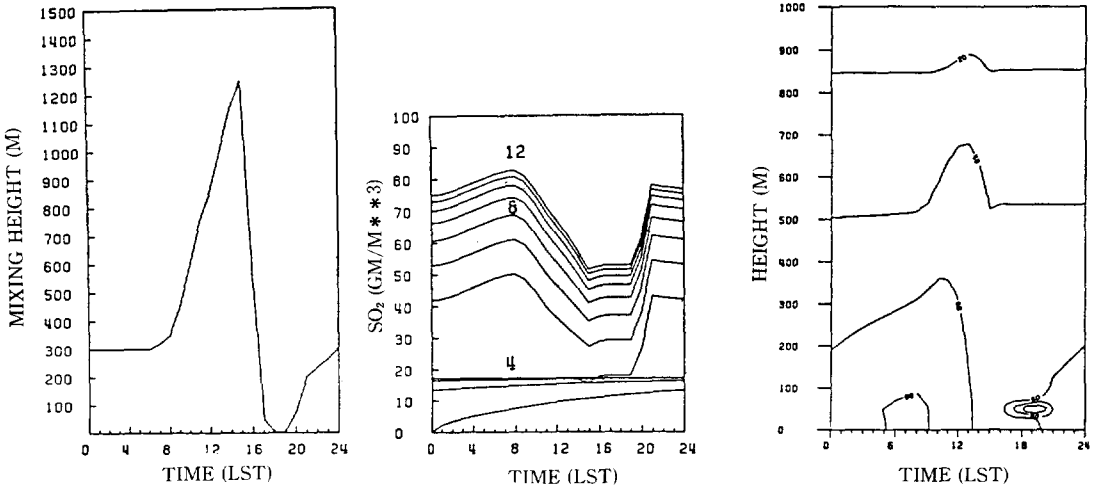


Fig. 7. Diurnal variation of the mixing height, SO<sub>2</sub> surface concentration computed as the effective stack height (ESH) is 50 meter (the number above the curve is the computed time as a measure unit of day) and the time-height cross-section of SO<sub>2</sub> concentration are shown from left, respectively.

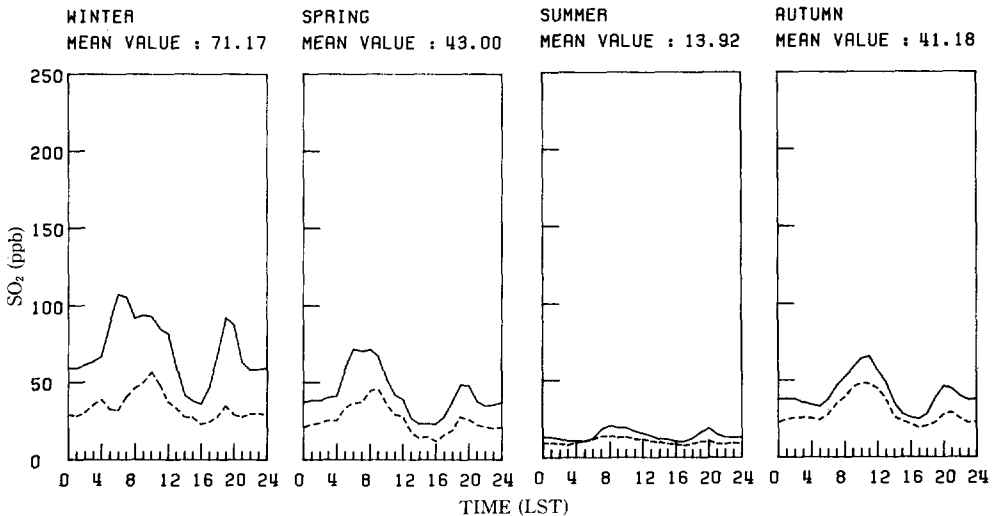


Fig. 8. As in fig. 6. except for Kwangwhamoon station.

있음을 볼 수 있다. 일몰 후 새로운 접지 경계층이 발달하기까지는 난괴(eddy) 확산은 더욱 둔화되어 지표면 오염 농도는 증가하게 된다. 이 경계층이 충분히 자라면 지표 농도는 두번째 극대값을 보이고 서서히 떨어진다. 일찌기 Munn and Katz(1959)은 상층으로 침투되어 적체되어 있다가 하층으로 재확산되는 과정을 가리켜 일출 직후의 것을 아침 훈증(morning fumigation), 일몰 직후의 것을 저녁 훈증(evening fumigation)이라 불렀다.

하루 두번의 극대값을 보이는 일 변동이 모든 지점에서 나타나는 것은 아니다. 예를 들어 그림 8에서 볼 수 있듯이 광화문에서는 뚜렷한 극대값이 아침에만 나타나고 있다. 여러 서울 지점들에서 나타나는 농도의 저녁 극대값이 야간 훈증에 있는 것인지(예를 들면, Mann and Katz, 1959 또는 Ku *et al.*, 1987a) 또는 배출물의 저녁 극대값에 의한 것인지(Shir and Shieh, 1974)를 이 논문에서는 연구하지 않았으므로, 저녁 극대값이 나타나지 않는 이유는 현재로서는 불확실하다. 다만 일차원 확산모형을 이용하여 야간 경계층(nocturnal boundary layer)의 발달과 관련된 저녁 훈증이 모사되므로(그림 7) 농도의 저녁 극대값의 존재 여부가 이 경계층의 두께나 그 발달 특징에 민감할 수 있다고 생각된다.

### 3.5 기압배치

중관 기상의 특징은 주로 지상기압배치에 의하여 결정된다. 기압 배치에 따라 결정되는 지균풍계는 실제 바람에 대한 어림으로 활용되기도 하나, 실제 바람은 지형, 마찰, 구름 집합과 같은 중규모 순환계 등의 영향을 받아 지균풍으로부터 상당한 차이를 보일 수 있다. 기상청이나 오염 관측 지점들에서의 바람들은 모두 지균풍들과는 다를 수 있으며, 이른바 중규모 요소를 포함하고 있다. 그럼에도 불구하고 이 실제 바람들은 기압 배치와 전혀 무관하지는 않은 것으로 알려져 있다(예를 들면, Ekman, 1905).

서울 지역에서 1987년 12월에 최소 농도가 나타난 날(11일) 아침 9시 지상 일기도를 그림 9에 보였는데, 이날 기상청 바람은 아주 세고 기온은 아주 낮았다. 이는 화북에 중심을 둔 고기압 연변에 놓인 우리나라에 차고 강한 북서풍이 불었기 때문이다. 같은 달 최대 농도가 나타난 날(18일) 아침 9시 지상 일기도(역시 그림 9)는 변질된 이동성 고기압 사이에 우리나라가 놓인 것을 보이며, 이때 바람은 미약하고 기온은 비교적 높은 편이었다. 이 두 사례만으로 말할 수는 없지만, 대체로 겨울철 서울에서의 기

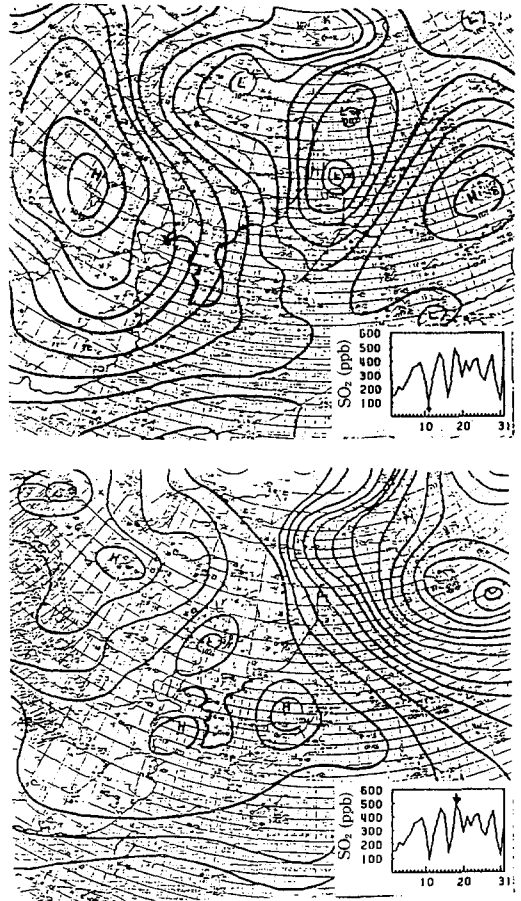


Fig. 9. Surface pressure charts for 00 GMT 11 December 1987 when the lowest SO<sub>2</sub> concentration occurred, and 00 GMT 18 December 1987 when the highest concentration occurred. The time series of the daily average SO<sub>2</sub> concentration at Sinseol-dong station are shown as a reference.

온과 바람은(서울 지역 어느 지점에서 측정하느냐에 따라 다소간 다른 값을 얻겠지만) 기압 배치와 상당한 상관을 보이는 것으로 알려져 있다. 이를 기초로 우리는 기압 배치를 포함한 중관 자료로부터 서울 지역 중규모 바람 분포를 얻을 수 있다고 본다.

### 4. 결 론

서울 지역 겨울철 SO<sub>2</sub> 농도는 오산 상층 바람(850 mb 풍속)보다 기상청 풍속과 훨씬 높은 상관을 보인다. 우리에게 주어진 기상자료가 대체로 중관 자료라는 점과 기상청 바람이 중규모 성분을 포함한다



는 점을 함께 감안할 때 이 사실은 서울 지역 SO<sub>2</sub> 농도 분포를 예측하기 위해서 중규모 기상 상태를 밝힐 필요가 있음을 보이는 것이다. 겨울철 서울에서의 기온과 바람은 기압 배치와 상당한 상관성을 보이는 것으로 나타나 우리는 기압 배치를 포함한 종관 자료로부터 확산문제에 필요한 서울 지역 중규모 바람 분포를 얻을 수 있다고 본다.

겨울철 기압배치를 통해 기온과 풍속은 상당한 상관성을 보이는 것을 알 수 있었다. 기온이 낮으면 배출량이 증가하여 농도가 높은 것으로 예상되나 오히려 낮게 나타났다. 이는 기온이 낮을 때 풍속 증가로 인한 환기효과의 강화로 농도를 감소시키는 것으로 판단된다. 이로부터 겨울철 아황산가스 농도는 배출량보다 기상요소에 더 지배됨을 알 수 있다.

아황산가스 농도의 일 변동은 혼합층의 일 변동으로 상당히 설명될 수 있었다. 일출, 일몰 약 2~3시간 후에 두 개의 극대값을 나타내는 일 변동의 특징은 도시지역에서 나타날 수 있는 혼합층의 두께나 그 발달 과정의 특징과 상당히 일치된다. 그러나 농도의 저녁 극대값은 혼합층의 두께나 그 발달 과정에 의한 영향보다 배출량의 저녁 극대값에 의해 더 많은 영향을 받아 나타나는지에 대한 여부는 이 연구에서 불확실하다.

겨울철 동안 저농도 발생은 강수날보다 그 다음날에 나타났다. 이는 강수로 인해 대기중 오염물질이 제거된 것으로 풀이되며 또한 비교적 강수량이 적은 겨울철 동안에는 강수일에 오염제거로 배경농도가 낮아진 후 강수 다음날 풍속증가 등의 기상조건에 의한 확산조건이 주요인이 아닌가 생각된다. 그러므로 강수현상은 강수 전후 오염농도의 시간 변동을 설명하는데 중요하다고 본다.

## 참 고 문 헌

권숙표, 정용, 장재연, 박영미(1985) 대기 오염도에 영향을 미치는 기후 요소 분석. J. Kor. Env. Preserv. Assoc., 6, 1 - 10.

문종이(1988) 방사성 물질의 대기 분산에 관한 Lagrangian puff 모형의 실험적 연구. 연세대학교 대학원 석사논문, 56 pp.

이태영, 김정우, 박순웅(1990) 대기 오염 예보 체제 개발 연구. 한국환경과학연구협의회, 186 pp.

조광명(1978) 대기오염. 청문각, 301 pp.

Clarke, R.H. (1970) Observational studies in the atmospheric boundary layer. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 96, 91 - 114.

Ekman, V.W. (1905) On the influence of the earth's rotation on ocean-currents. Ark. Mat. Astr. Fys., 2, 1 - 52.

Fukuoko, Y. (1973) Meteorological study of air pollution. Faculty of Education. Fukushima Univ. Sci. Rep., 23, 51 - 61.

Garnett, A. (1980) Recent trends in sulphurdioxide air pollution in the Sheffield urban region. Atmos. Environ, 14, 787 - 796.

Japan Meteorological Administration (1988) Surface pressure chart; 1987. 12~1988. 2.

Korea Meteorological Administration (1988a) Monthly Weather Report; 1987. 12~1988. 2, 38 pp.

Korea Meteorological Administration (1988b) Monthly Upper Weather Report; 1987. 12~1988. 2, 88 pp.

Ku, J.Y., Rao, S.T. and Rao, K.S. (1987) Numerical simulation of air pollution in urban areas: Model development. Atmos. Environ, 21, 201 - 212.

Lalas, D.P., Veirs, V.R., Karras, G. and Kallos, G. (1982) An analysis of the SO<sub>2</sub> concentration levels in Athens, Greece. Atmos. Environ, 16, 531 - 544.

Lomaya, O.V. (1974) An attempt at using the statistical method of meteorological forecasting of urban air pollution. Soobsch. Akad. Nauk Gruz. SSR., 75, 81 - 84.

Ministry of Environment (1989) SO<sub>2</sub> concentrations and wind speed data at air quality monitoring stations (data recorded in magnetic tape). 1987. 1~1988. 12.

Ministry of Environment (1983) Han River Basin Environmental Master Plan. Air Quality Report (IV), 255 pp.

Munn, R.E. and Katz, M. (1959) Daily and seasonal pollution cycles in the Detroit-Windsor area. Int. J. Air Pollut, 2, 51 - 76.

Riehl, H., Frattesi, G. and Haug, H. (1974) Particulate pollution in Berlin during stagnant weather situations in summer. Beitr. Phys. Atmos., 47, 248 - 260.

Shir, C.C. and Shieh, L.J. (1974) A generalized urban air pollution model and its application to the study of SO<sub>2</sub> distributions in the St. Louis metropolitan area. J. Appl. Meteor., 13, 185 - 204.

Tsuyoshi, Y. (1970) The diurnal variation of the pollutant concentration in an urban area. J. Japan. Soc. Air Pollut., 5, 113 - 125.