

우리나라 도시지역의 SO₂ 건성침적 플럭스 산출

이 종 범·김 용 국·박 일 환
강원대학교 자연과학대학 환경학과
(2000년 6월 21일 접수)

Estimations of the SO₂ Dry Deposition Flux at Urban Areas in Korea

Chong Bum Lee, Yong Goog Kim and Il Hwan Park

Department of Environmental Science, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea
(Manuscript received 21 June, 2000)

This study was carried out estimating the dry deposition flux of SO₂ at eight urban areas in Korea during one year of 1996. To calculate the deposition flux, deposition velocities were calculated by turbulence parameters estimated from routine meteorological data. Also, hourly averaged SO₂ concentrations which calculated from air pollution monitoring data of each city were used. The dry deposition velocities were mostly higher in the coastal areas than the other areas, which would be caused by relatively strong wind. And, they were high in the daytime because of turbulence activities. The deposition flux of SO₂ is mainly related to the atmospheric concentration. The annual average SO₂ concentration and the deposition flux were 22.62ppb and 1510.52g/km²/hr at Pusan respectively. Also, the flux was higher in winter than other season, which was a significant contribution of exhausted fuel for heating. While the deposition velocity was high to 0.688cm/sec at Yosu in case of strong wind and small cloud cover, the deposition flux was high to 1597.4g/km²/hr at Pusan in case of weak wind and small cloud cover.

Key word : deposition flux ,deposition flux

1. 서 론

아황산가스(SO₂)의 주된 발생원인 연료에 대한 각종 규제 조치가 내려지고 있음에도 불구하고 산업활동, 인구 및 교통량의 증가로 인한 연료의 사용량이 증가하고 있기 때문에 일부도시 지역에서 SO₂농도의 감소가 뚜렷하게 나타나지 않고 있다.¹⁾ 특히 우리 나라 대도시를 중심으로 높은 오염농도가 나타나고 있으며 더욱이 에너지 소비량이 매년 증가율을 보이고 있어 아황산가스의 배출량도 점점 증가할 것으로 예상된다. 이는 산성비와 같은 오염에의 기여가 크므로 에너지의 효율화, 탈황시설의 설치, 연료 대체 등과 같은 중점적인 저감대책이 필요하다.

건성침적 플럭스를 직접 산출하는 것은 어려운 실정이며 이에 건성침적모델은 기상측정자료와 식물저항자료를 가지고 침적 플럭스를 산출하는 방법이 발전되어 왔다.^{2,3)} 이러한 모델들은 특정오염물질(e.g. O₃, SO₂, SO₄²⁻)의 건성침적속도에 대기 오염농도의 곱으로 건성침적 플럭스를 추정한다.⁴⁾

대기중의 SO₂는 광화학 반응에 의하여 SO₃로 산화되

거나 대기오염 물질의 제거기작인 습성침적(wet deposition)과 건성침적(dry deposition)에 의하여 대기 중에서 제거된다. 대기오염물질이 건조한 상태로 지상으로 강하하는 건성침적 플럭스는 산성우에 의한 습성침적 플럭스와 비슷하거나 더 많이 침적하는 것으로 알려져 있으나^{5,6)} 건성침적 플럭스는 대기의 난류 강도와 지표면 상태 등에 의존하므로 지역에 따라 매우 다른 특징을 나타낸다. 이 중 식물이 건성침적에 의한 SO₂의 주요 제거원인 것으로 알려져 있는데 우리 나라와 같이 지형이 복잡하고 계절변화가 뚜렷한 지역에서는 이러한 변화가 현저할 것으로 생각된다.

건성침적 속도의 크기는 건성침적 플럭스의 측정방법, 기상조건, 계절에 따른 지표면의 상태, 측정기간 등에 따라서 차이가 난다. SO₂의 건성침적속도는 대체로 약 0.19-0.2cm/sec크기를 나타내는데 이는 기상조건에 크게 영향을 받는다.⁷⁾ 또한 건성침적 속도는 식물의 광합성이 활발한 주간에 크고 야간에 작은 값을 나타내며 지표면이 이슬에 젖은 상태, 수분의 존재정도에 따라 건성침적

속도의 크기가 크게 좌우되는 것으로 알려졌다.⁸⁾

본 연구에서는 정규 기상 관측소에서 측정된 기상자료(풍향, 풍속, 일사량 등)와 지표면상태에 대한 자료로부터 접지층 난류 파라미터를 산출하여 침적 속도를 계산하고 여기에 오염물질 평균농도의 곱으로부터 우리나라 8개 도시지역에서의 건성침적 플럭스를 산출하였다. 또한 계절 및 기상 조건별로 분류하여 어느 조건하에서 건성침적 속도가 가장 크며, 건성침적 플럭스가 많이 이루어지는지 분석하였다.'

2. 연구방법

2.1. 대상기간 및 자료

본 연구는 서울, 인천, 대구, 대전, 포항, 광주, 부산, 여수 등 우리나라 8개 도시지역을 연구 대상 지역으로 하여 1996년 1년 동안 각 도시의 SO₂건성침적 플럭스를 매시간 산출하였다. 또한 1년을 계절 및 기상 상태에 따라 구분하고 각 사례별 특징을 분석하였다.

오염물질 농도자료는 각 도시지역에 설치되어 있는 여러 대기오염 자동 측정망에서 측정된 자료를 각 지역별로 매시간 평균하여 사용하였으며 또한 기상자료는 각 도시지역에 위치한 기상대에서 측정된 풍속, 일사량, 운량, 기온 등의 매시간 자료를 이용하였다.

2.2. 기상 조건별 분류

기상 분류는 운량과 평균 풍속을 이용하여 표 1과 같이 4개의 type로 구분하였다. Type1은 구름이 많고 바람이 강한 날이고, Type2는 구름이 많고 바람이 약한 날, Type3은 구름이 적고 바람이 강한 날, Type4는 구름이 적고 바람이 약한 날이다.

Table 1. Classification of wind speed and total cloud cover.

Type	Wind speed (m/sec)	Total cloud cover (Tenth)
Type1	>2.5	>7.5
Type2	≤2.5	>7.5
Type3	>2.5	≤7.5
Type4	≤2.5	≤7.5

2.3. 건성침적속도

공기 중에서 오염물질이 지표에 침적되는 침적플럭스(F)는 건성침적속도(V_d)와 SO₂ 농도(C)의 곱으로 산출하였다.

$$F = V_d C \quad (1)$$

건성침적속도는 오염의 법칙에 의해서 오염물질이 지표면에 도달할 때까지 존재하는 각 저항 값들의 합을 역

수로 취해 나타낸다.

$$V_d = \frac{1}{R_a + R_b + R_c} \quad (2)$$

여기서, R_a는 공기역학적 저항(aerodynamic resistance), R_b는 점성층 저항(quasilaminar sublayer resistance), R_c는 지표면 또는 식물체 저항(surface or canopy resistance)이다.

공기역학적 저항, 점성층 저항, 지표면 저항 등을 계산하기 위한 파라미터 산출과정은 이종범 등(1998)의 연구에 잘 나타나있다.⁹⁾ 이들을 요약하면 다음과 같다.

2.3.1. 공기역학적 저항

공기역학적 저항(R_a)은 대기경계층의 상부에서 지표면까지 난류에 의한 물질의 수송저항으로 Wesely와 Hicks(1977)가 제시한 식 (3)을 이용하였다.¹⁰⁾

$$R_a = \frac{\ln(z/z_0) - \psi_h}{k u_*} \quad (3)$$

여기서, z₀는 지표면 거칠기 길이, u_{*}는 마찰속도, z는 고도, k는 Von-karman constant, ψ_h는 안정도 보정 함수로써 첨자 h는 열에 대한 값을 뜻한다.

2.3.2. 점성층 저항

점성층 저항(R_b)은 안정한 흐름인 층류(laminar flow)가 나타나는 대략 1mm내외의 층에서 발생하는 저항으로 Wesely와 Hicks(1977)가 제안한 다음 식 (4)를 이용하여 계산하였다.¹⁰⁾

$$R_b = \frac{2}{k u_*} \left(\frac{K}{D_g} \right)^{2/3} \quad (4)$$

여기서 D_g는 분자확산계수, K는 열확산계수로서 현열플럭스(H) 및 온도 경도로부터 구한다.

2.3.3. 지표면 저항

지표면 저항(R_c)은 지표면의 식생상태 즉, 토지이용도에 따라서 큰 차이가 있으며, Wesely (1989)는 여기에 관여하는 여러 저항들로부터 식 (5)와 같은 식을 제시하였다.¹¹⁾

$$R_c = \left[\frac{1}{R_{sx} + R_{mx}} + \frac{1}{R_{lux}} + \frac{1}{R_{dc} + R_{clx}} + \frac{1}{R_{ac} + R_{rsx}} \right]^{-1} \quad (5)$$

여기서 여러 가지 저항 값들 중 아래첨자 x는 임의의 물질을 나타내는 것으로 R_{sx}는 기공저항(stomatal resistance), R_{mx}는 식물 잎의 세포 저항(mesophyll resistance), R_{lux}는 식물 윗쪽면 저항, R_{dc}는 경사면이나 식물 잎 사이로 햇빛이 비쳤을 때 대류에 의한 혼합

효과에 의하여 발생하는 저항, R_{clx}는 식물체 잎군의 아래쪽 저항, R_{ac}는 식물체 잎들로 덮여있는 식물체 길이로 결정되는 저항, R_{gsx}는 지표면 상태 즉 토양, 물, 눈 등에서 흡착에 의한 저항이다.

수증기에 대한 기공저항 R_{sw}는 식(6)을 이용하여 구하였다.

$$R_{sw} = R_{min} \left[1 + \left(\frac{200}{0.1 + G} \right)^2 \right] \left[\frac{400}{T_c(40 - T_c)} \right] \quad (6)$$

여기서 R_{min}은 수증기에 대한 최소 기공저항이고 G는 일사량(W/m²), T_c는 지표부근의 대기중 온도(°C)로서 기상탑에서 측정한 일사량자료와 기온자료를 이용하였다. 일반적으로 기공저항은 일사량과 온도에 민감한 것으로 알려졌다.

물질 x에 대한 기공저항 R_{sx}는 식(7)에 의하여 계산하였다.

$$R_{sx} = R_{sw} \frac{D_{H2O}}{D_x} \quad (7)$$

여기서 D_x는 공기중에서 물질 x에 대한 분자확산계수이며 D_{H2O}는 수증기에 대한 분자확산계수이다.

물질 x에 대한 식물 잎의 세포 저항 R_{mx}는 식(8)을 이용하여 구하였다.

$$R_{mx} = \frac{1}{\frac{H_x^*}{3000} + 100f_{ox}} \quad (8)$$

여기서 H_x^{*}는 물질 x에 대한 헨리상수이며 f_{ox}는 반응계수이다. 식물 잎의 세포 저항은 식물의 기공의 위치에 따라 값이 달라진다.

물질 x에 대한 식물 윗쪽면 저항 R_{lux}는 식(9)를 이용하였다.

$$R_{lux} = \frac{R_{lu}}{\frac{H_x^*}{10^5} + f_{ox}} \quad (9)$$

대류에 의한 혼합 효과에 의하여 발생하는 저항 R_{dc}는 식(10)과 같고 여기에서 S_{ter}은 대상지역의 지표면 기울기로서 본 연구에서는 평탄지역으로 0으로 하였다.

$$R_{dc} = \frac{100 \left(1 + \frac{1000}{G + 10} \right)}{1 + 1000S_{ter}} \quad (10)$$

물질 x에 대한 식물체 잎군의 아래쪽 저항 R_{clx}는 식(11)과 같고

$$R_{clx} = \frac{1}{\frac{H_x^*}{10^5 R_{cls}} + \frac{f_{ox}}{R_{clo}}} \quad (11)$$

여기서 R_{cls}와 R_{clo}는 각각 SO₂와 O₃에 대한 R_{cl} 값이다. 물질 x에 대한 지표면에서의 흡수저항 R_{gsx}는 식(12)를 이용하여 계산하였다.

$$R_{gsx} = \frac{1}{\frac{H_x^*}{10^5 R_{gss}} + \frac{f_{ox}}{R_{gso}}} \quad (12)$$

여기서 R_{gss}와 R_{gso}는 각각 SO₂와 O₃에 대한 값이다. 본 연구에서는 대상물질 x를 SO₂로 하였으며 D_x, D_{H2O}, H_x^{*}, f_{ox}의 값은 Wesely(1989)를 참고하였다.¹¹⁾

2.4. 난류파라미터의 산출

위에서 제시한 각 저항치의 산출을 위하여 필요한 난류 파라미터로는 H, u, 및 안정도 보정함수인 ψ_h 등이다. 오염 물질의 건성침적속도는 대기의 난류 및 지표면의 상태에 따라 다르게 나타나는데 본 연구에서는 난류 파라미터를 다음과 같이 구하였다.

일반적으로 Monin-Obukhov length(L), u*, H등은 정규 관측소에서 측정하지 않기 때문에 본 연구에서는 정규 관측소의 기상 관측자료를 사용하여 난류 파라미터를 추정하였다. 난류 파라미터를 산출하기 위하여 먼저 기상자료(풍속, 운량, 일사량)를 이용하여 Pasquill stability class(PSC)를 구하였는데 이 PSC산출은 이종범과 김용국(1990)의 방법을 이용하였다.¹²⁾ 다음으로 Golder(1972)가 제시한 L과 PSC의 관계로부터 L을 구하였다.¹³⁾ z₀는 난류 층에서의 공기역학적 저항에 관여하는 요소로서 본 논문의 대상지역은 도시지역이므로 z₀를 50cm로 가정하여 동일하게 입력하였다.

H는 다음의 식 (13)을 이용하여 구하였다.

$$H = \frac{u_*^3 \theta}{kgL} \quad (13)$$

여기서 θ는 온위 g는 중력가속도 이다. u*는 식 (14)를 이용하여 구하였다.

$$u_* = \frac{ku}{\ln(z/z_0) - \psi_m} \quad (14)$$

여기서 u는 풍속, ψ_m은 운동량에 대한 안정도 보정함수이다.

식 (14)에서 u*를 산출하기 위한 ψ_m과 식 (3)에서 R_s를 산출하기 위한 ψ_h는 대기가 불안정한 (z/L < 0) 경

우 각각 식 (15a)와 식 (15b)를 이용하였다.¹⁴⁾

$$\psi_h = 2 \ln[(1 + X_h^2)/2] \quad (15a)$$

$$\psi_m = z \ln[(1 + X_m^2)/2] + \ln[(1 + X_m^2)/2] - 2 \tan^{-1}(X_m) + \pi/2 \quad (15b)$$

X_h 와 X_m 은 각각 식 (16a)와 식 (16b)에서 구하였다.

$$X_h = (1 - \gamma_h z/L)^{0.25} \quad (16a)$$

$$X_m = (1 - \gamma_m z/L)^{0.25} \quad (16b)$$

여기서 γ_h 와 γ_m 은 각각 11.6, 19.3이다.

안정한 상태($z/L > 0$)인 경우에는 식 (17a), 식 (17b)를 이용하는데 β_h 와 β_m 의 값은 각각 8.21, 6.0으로 하였다.¹⁵⁾

$$\psi_h = -\beta_h z/L \quad (17a)$$

$$\psi_m = -\beta_m z/L \quad (17b)$$

한편, z/L 이 1 이상으로 강안정한 대기 상태일 경우에는 Webb(1970)이 제시한 식 (18)을 이용하였다.¹⁶⁾

$$\psi_m = \psi_h = -5z/L \quad (18)$$

2.5. 토지이용도

Wesely(1988)가 제시한 11가지 형태의 토지이용과 5가지로 계절을 분류한 지표면저항 계수표를 이용하여 건성침적속도를 계산했다. 5개의 계절은 식물성장이 활발한 여름, 추수전의 초가을, 눈이 없고 서리가 내린 후의 늦가을, 항상 지면이 얼어있고 눈이 존재하는 겨울, 부분적으로 풀이 자라는 과도기적인 봄으로 분류하여 계절별로 토지 이용도에 따른 여러 가지 저항값이 제시되었다. 그러나 본 논문에서는 5가지로 분류된 계절 중 항상 지면이 얼어있고 눈이 존재하는 겨울은 우리나라의 일반적인 겨울철과 부적합하여 제외시켰고 대신 눈이 없고 서리가 내린 후의 늦가을을 겨울철로 간주하여 이용하였다.

Walmsley와 Wesely(1996)는 낙엽수림에 대한 지표저항 값의 문제점을 지적하여 새로운 저항값을 제시하였으나 본 연구의 대상이 되는 도시지역에 대해서는 구체적인 제시가 없다.¹⁷⁾ 따라서 본 논문에서는 Wesely(1989)가 제시한 저항값을 표 2에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 건성침적속도의 산출

1996년 1년동안 기상 자료로부터 각 도시별 계절별 건성침적 속도를 산출하여 그림 1에 나타내었다. 건성침적 속도는 부산에서 여름철에 0.7940cm/sec로 가장 높게 나타났으며 대전에서 0.3995cm/sec로 가장 낮게 나타났

Table 2. Input resistance(sec/m) suggested by Wesely(1988)for calculation of surface resistance. Entries of 9999 indicate that there is no air-surface exchange via that resistance pathway

Season	Resistance						
	R_{min}	R_{lu}	R_{clS}	R_{clO}	R_{ac}	R_{gsS}	R_{gsO}
Spring	9999	9999	9999	9999	100	500	300
Summer	9999	9999	9999	9999	100	400	300
Autumn	9999	9999	9999	9999	100	400	300
Winter	9999	9999	9999	9999	100	400	300

다. 또한 내륙지역(대전, 대구)보다 해안지역(여수, 부산)에서 높게 나타나는데 이는 바람이 강하게 나타나는 해안지역의 특징 때문으로 사료된다.

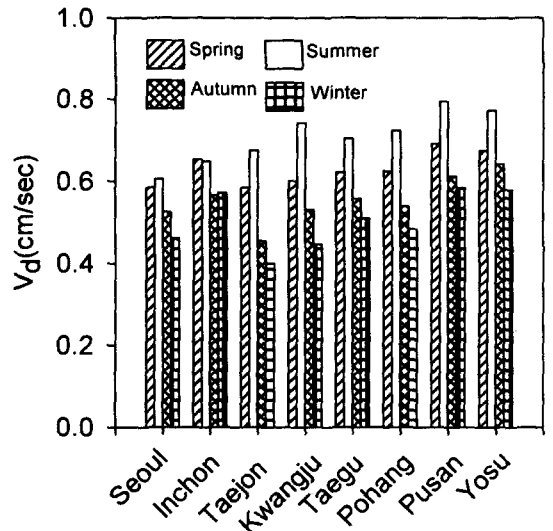


Fig. 1. Seasonal mean dry deposition velocities(Vd) at urban areas.

기상 조건별 매시간 건성침적 속도의 일변화 경향을 그림 2에 나타내었다. 건성침적속도는 해가 뜨기 시작하여 난류 활동이 활발한 주간에 높게 나타났으며 야간과 새벽에 낮게 나타났다. 각 조건별로 살펴보면 모든 도시지역에서 Type1, Type3의 경우에 전반적으로 값이 높게 나타나고 있는데 이 두 경우는 바람이 강한 경우이다.

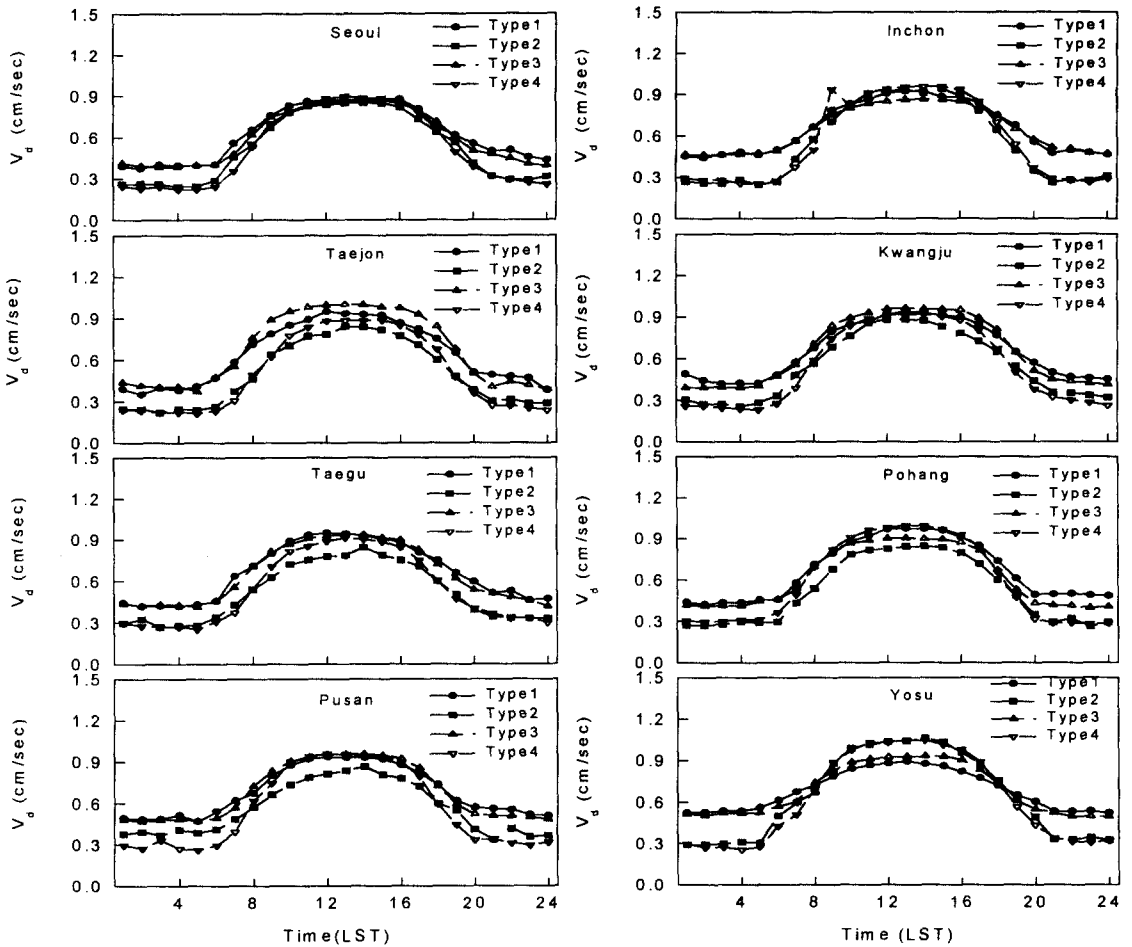


Fig. 2. Mean diurnal variations of SO₂ dry deposition velocities (V_d) at eight urban areas.

3.2. 오염물질농도의 시간별 산출

각 지역별 SO₂ 평균농도의 일변화 경향을 그림 3에 나타내었다. 그림 4에서 보면 07 LST와 10 LST 사이에 농도가 높아지는데 이는 일상생활이 시작되면서 오염물질의 배출량이 늘어난 것으로 생각된다. 서울 지역은 12.87ppb로 측정되었고, 특이한 현상으로 여수 지역에서 SO₂ 농도가 05 LST부터 07 LST 사이에 높은 수치가 나타나고 있다. 이러한 현상이 1996년 일부 기간의 현상 일수도 있으나 그림 4에 제시한 바와 같이 3년간의 평균 일변화 농도에서도 같은 현상이 나타나고 있다.

3.3. 기상 조건별 SO₂ 건성침적속도

각 도시지역 기상 조건별 발생 빈도 수를 그림 5에 나타내었다. 대체적으로 Type3, Type4에 해당하는 날의 빈도수가 높으며 대전과 광주에서는 Type4에 해당하는 날이 각각 236일, 205일로 많으며 부산, 여수지역은

Type3 해당하는 날의 빈도수가 각각 244일, 185일로 비교적 많은 날이 포함되었다.

각 지역별 기상을 4가지로 분류하여 SO₂ 매시간 건성 침적속도를 산출하여 특징을 고찰하였다. 표 3에 제시한 바와 같이 기상 조건별 SO₂ 건성침적속도는 여수에서 Type3(구름이 적고 바람이 강한 날) 경우에 0.688cm/sec로 가장 컸고 대전에서는 Type2(구름이 많고 바람이 약한 날) 경우에 0.492cm/sec로 가장 작았다. 8개 도시지역 중 기상별 건성침적속도는 Type1에서 높게 나타났으나 대전과 여수 지역에서는 Type3 경우에 높게 나타났다. 변이계수를 살펴보면 Type2, Type4의 경우에 큰 값의 변동이 나타나고 있다.

3.4. 계절별 SO₂ 건성침적플럭스

각 도시지역을 대상으로 계절별 SO₂ 건성침적플럭스를 산출한 결과를 그림 6에 나타내었다. 건성침적플럭스는 겨울철에 비교적 많이 침적되는 것으로 나타났고 예

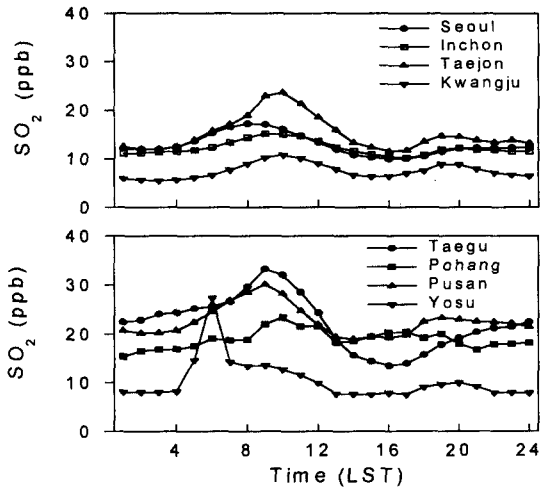


Fig. 3. Mean diurnal variation of SO₂(ppb) concentration at eight urban areas.

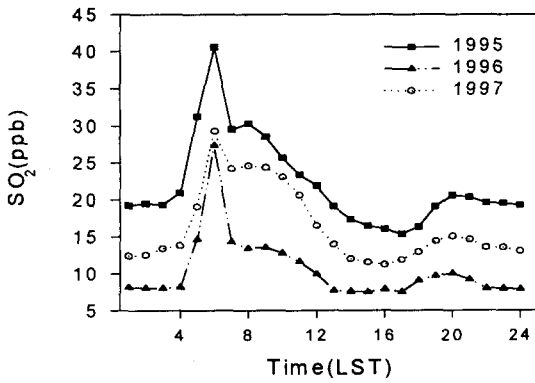


Fig. 4. Mean diurnal variation of SO₂(ppb) for 1995-1997 at Yosu

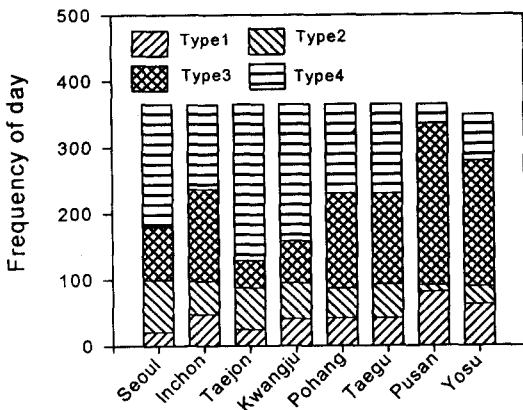


Fig. 5. Frequency of days for each synoptic types.

Table 3. Mean diurnal dry deposition velocity at eight urban cities by type and () is Coefficients of variation.

City	Dry deposition velocities (cm/sec)			
	Type1	Type2	Type3	Type4
Seoul	0.623 (31.3)	0.525 (46.4)	0.604 (32.6)	0.519 (52.4)
Incheon	0.659 (28.2)	0.542 (51.8)	0.645 (25.4)	0.552 (30.6)
Taejon	0.640 (33.9)	0.492 (47.3)	0.675 (38.2)	0.504 (54.7)
Kwangju	0.656 (30.3)	0.544 (43.0)	0.655 (36.3)	0.542 (51.6)
Taegu	0.653 (31.0)	0.515 (40.0)	0.652 (31.9)	0.540 (47.0)
Pohang	0.666 (32.1)	0.517 (45.6)	0.622 (34.0)	0.580 (51.2)
Pusan	0.683 (25.9)	0.561 (33.3)	0.679 (29.7)	0.561 (50.4)
Yosu	0.684 (20.6)	0.641 (47.5)	0.688 (26.1)	0.623 (50.8)

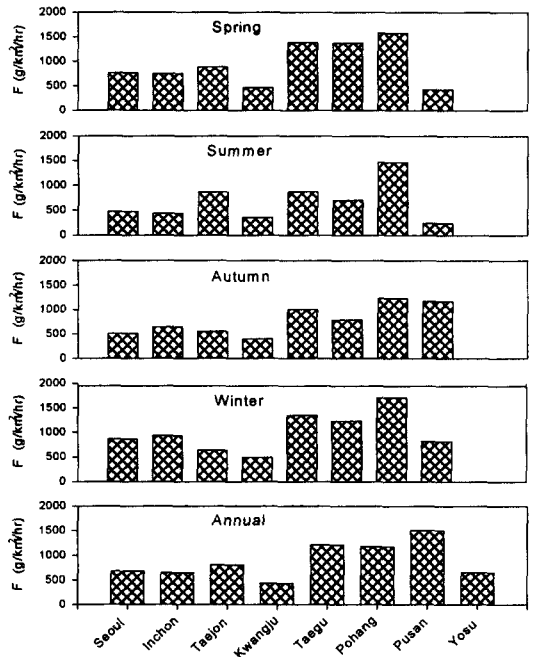


Fig. 6. Comparison of the SO₂ dry deposition flux(F) at eight urban areas.

를철에 적은 양이 침적되는 것으로 나타났다. 이는 오염 물질 농도의 변화와 유사한데 겨울철에 높게 나타나는 이유는 가정난방 등 연료 사용이 많기 때문으로 사료된다. 서울지역을 대표적으로 살펴보면 건설침적 플럭스는 오염농도가 높은 겨울철에 시간당 859.79g/km²로 가장 많이 침적하였으며 여름철에 시간당 480.73g/km²로 제일 적게 침적하였다. 서울 지역에서는 연평균 681.20g/km²이 침적하였다.

3.5. 기상 조건별 SO₂ 건성침적플럭스

각 지역별 기상 조건을 4가지로 분류하여 매시간 SO₂ 건성침적 플럭스를 산출하여 특징을 고찰하였다. 부산에서 Type4인 경우에 시간당 1597.00g/km²로 가장 많은 양이 침적하였고 광주에서 Type3인 경우에 시간당 375.00g/km²로 가장 적게 침적하였다.

그림 7은 건성침적 플럭스의 기상 조건별 평균 일변화를 나타낸 것이다. 대부분의 지역에서 낮 시간동안 많은 양의 건성침적이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 대부분 도시지역에서 SO₂ 건성침적플럭스는 Type4 경우에 많이 이루어졌다. 한편, 포항에서는 Type3의 경우에도 건성침적 플럭스가 많이 이루어졌다

4. 결 론

본 연구에서는 서울, 인천, 대구, 대전, 포항, 광주, 부산, 여수 등 우리 나라 8개 도시지역의 SO₂ 건성침적량을 산출하였으며 계절 및 기상 조건별로 분류하여 그 특징을 비교 분석하였다. 건성침적속도는 내륙지방보다 해

안지방에서 비교적 높게 나타났는데 이는 지형의 효과로 해안지역에서 바람이 강하게 분 것으로 사료된다.

여수 지역의 SO₂는 3년간 일평균 자료를 살펴보면 1995과 1997년이 1996년보다 오염물질 농도가 높게 나타나고 있으며 특히 새벽에서 오전 시간대에 높게 나타나고 있다.

1년 동안 SO₂는 부산에서 시간당 1510.52g/km²로 가장 많이 침적하였고, 광주에서 시간당 가장 적은 437.31g/km²이 침적하였다. 계절별 SO₂건성침적 플럭스를 살펴보면 대부분의 지역에서 겨울철에 비교적 많은 SO₂가 침적되는 것으로 나타났고 봄, 가을, 여름순으로 여름철에 적은 양이 침적되는 것으로 나타났다.

겨울철에 침적플럭스가 많은 이유는 겨울철 난방용 연료의 사용으로 추정된다. SO₂ 건성 침적 플럭스의 기상 조건별 특징을 살펴보면 부산에서 구름이 적고 바람이 약한 경우에 시간당 1597.00g/km²로 가장 많은 양이 침적하였으며 광주에서 구름이 적고 바람이 강한 경우에 시간당 375.00g/km²로 가장 적게 침적하였다.

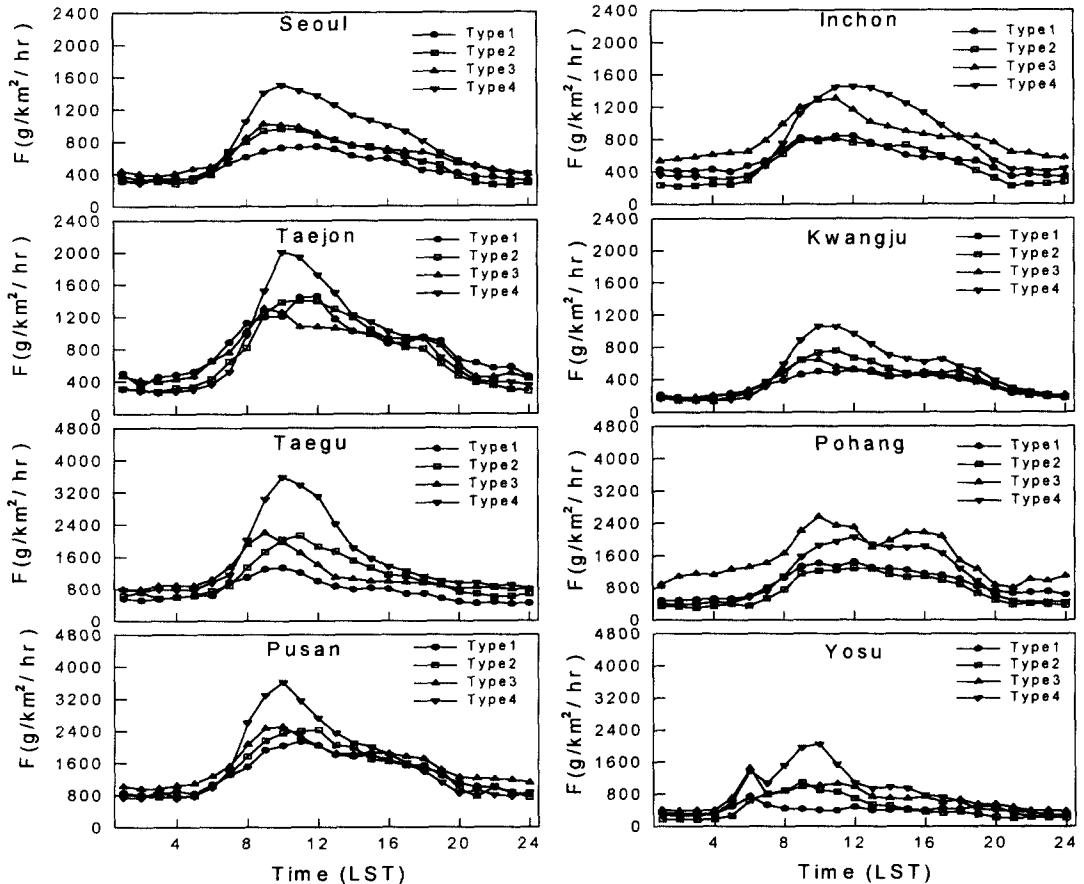


Fig. 7. Mean diurnal variations of SO₂ dry deposition flux(F) at eight urban areas.

건성침적 속도의 일변화 경향을 살펴보면 야간보다 주간 및 오후에 크게 나타났는데 이는 일출과 함께 난류의 활동으로 크게 나타난 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) 김희강 외 13인 (1996) 대기오염개론, 동화기술, pp. 28~34.
- 2) Hicks, B. B., R. P. Hosker, T. P. Meyer and J. D. Wornak, 1991. Dry deposition inferential measurement technique-I design and tests of a prototype meteorological and chemical system for determining dry deposition. *Atmospheric Environment*, 25A 2345-2359.
- 3) Meyer, T. P., P. Finklestein., J. Clarke., T. Ellestad and P. F. Williams, 1996. Description and evaluation of Multi-layer model for inferring dry deposition using standard meteorological measurement. *Journal of geophysical research*(submitted).
- 4) Brook, J. F., F. Giovanni, S. Cakmak and T. P. Meyer, 1997. Estimation of dry deposition velocity using inferential models and site-specific meteorological- uncertainty siting of meteorological towers. *Atmospheric Environment*, Vol. 31 No. 23, pp.3911-3919.
- 5) Mitssuhrio, M., and M. Kentaro, 1998. Estimation of dry deposition to trees etc. by inferential method and a discussion for forest damage. *Nippon kagaku kaishi*, No.7,
- 6) Rosner, G., H. Hotzl and R. Winkler, 1996. Continuous wet-only and dry-only deposition measurement of ¹³⁷Cs and ⁷Be; and indicator of their organ . *Appl. Radiat. Sot.*, Vol., 47, No. 9 pp.1135-1139.
- 7) Horvath, L. N. Z., and T. Weidinger, 1998. Estimation of dry deposition velocities of nitric oxide, sulfur dioxide, and ozone by the gradient above short vegetation during the trace campaign, *Atmospheric Environment*, Vol. 32, No. 7.
- 8) Wesely, M. L., 1988. Improved parameterization for surface resistance to gaseous dry deposition in regional-scale numerical model, EPA/600/3-88/025, U.S. Environmental Protection Agency.
- 9) 이종범, 김용국, 조창래, 박세영 (1998) 초음파풍속은 도계를 이용한 SO₂건성침착속도의 계절변화, 대기보전학회, 14(5), pp.465~478.
- 10) Wesely, M. L. and B. B. Hicks, 1977. Some factors that affect the deposition rates of sulfur dioxide and similar gases on vegetation, *J. Air Pollut. Control Assoc.*, 27, 1110-1116.
- 11) Wesely, M. L., 1989. Parameterization of surface resistances to gaseous dry deposition in regional-scale numerical models, *Atmospheric Environment*, 23(6), 1293-1304.
- 12) 이종범, 김용국 (1990) Pasquill 안정도계급의 평가와 안정도 Parameter 추정방법의 개발, 한국대기보전학회지, 6(2), 169-171.
- 13) Golder, D., 1972. Relations among stability parameter in the surface layer, *Boundary-layer Meteorology*, 3, 47-58.
- 14) Paulson, C. A., 1970. The mathematical representation of wind speed and temperature profile in the unstable atmospheric surface layer. *J. App. Meteor.*, 9, pp.857-861.
- 15) Hogstrom, U., 1987. Non-dimensional wind and temperature profile in the atmospheric surface layer; A re-evaluation, *Boundary-Layer Meteorological* 42, pp.55-78.
- 16) Webb, E. K., 1970. Profile relationships the log-liner range, and extension to strong stability. *Q. JIR. met Soc.* 96. 67-90.
- 17) Walmsley, J.L. and M.L. Wesely, 1996. Modification of coded parameterization of surface resistances to gaseous dry deposition. *Atmospheric Environment*, Vol. 30, No. 7, pp.1181-1188.