

## 대기오염물질의 건성침적에 관한 연구

이치영 · 강동구  
광주보건대학 환경행정과

## A Study of Air Pollutants Dry Deposition

Chi-Young Lee · Dong-Ku Kang  
*Dept. of Environmental Administration, Gwangju Health College, Korea*

### Abstract

Measurement of dried deposition for air pollutant was investigated in Gwang-ju Health college area for a year. The average value of air pollutants was investigated three times a month. Measured heavy metals and concentration of mass are not corelated. Heavy metals were thrown up air as state of large particles and they were moved by wind.

Deposition of heavy metals and deposition velocities were high in the order of  $Fe > Zn > Cu > Pb > Cr$  and  $Pb > Fe > Cr > Zn > Cu$ , respectively.

The patterns of deposition velocity of heavy metals for a year were much the same as each other except that Pb is faster than others.

keywords : Particle, Dry deposition. Air pollutants. Heavy metals.

### I. 서론

대기중에 배출된 오염물질들은 반응, 확산, 이류 그리고 침적에 의하여 소멸되거나 다른 매체로 이동하게 된다. 침적은 대기중에 존재하는 대개오염물질이 자연계의 표면으로 이동되어 제거되는 과정을 말하는데 눈, 비 등과 함께 침적되는 습성침적과 강수와 관계없이 침적되는 건성침적으로 나눌수 있다. 이러한 침적은 토양오염, 수질오염, 식물의 성장 저해등 여러 가지로 생태계에 악영향을 미치고 있다.

건성침적에 관한 연구는 1980년대<sup>1)</sup>에 이르러서야 건성침적판을 이용한 연구가 시작되었고, 우리나라에서는 불과 몇 년 전인 1990년대 중반에서야

시작되어 아직도 건성침적에 관한 연구가 미진한 상태이다. 따라서 이에 대한 연구가 시급하다고 하겠다.

본 연구에서는 CPRI와 DDP를 이용하여 광주광역시 운암동 일대와 광주보건대의 시간적·공간적 비교를 통하여 여러 가지 이온들의 대기건성 침적량과 입경별 농도를 조사하였다.

### II. 실험방법

본 논문은 광주보건대학 3층건물 옥상에서 입경  $6.5 \mu m$  이상의 대기오염물질의 농도와 대기 건성침적량을 측정하였다.

대기건성침적량의 측정은 건성침적판(DDP)<sup>2)</sup>을

사용하였으며, 대기중에 있는 오염물질의 농도를 측정하고자 회전식 관성충돌 채취기(CPRI)를 사용하였다.

대기오염과 밀접한 관계가 있는 기상현황 역시 광주보건대 옥상에 기상시스템(Weather wise Inc., WS-2000)을 설치하여 풍향, 풍속, 기압, 습도, 온도 등을 측정하였다.<sup>7)</sup>

본 연구를 위해서 시료를 채취한 보건대학은 광주에서 장성으로 이어지는 1번 국도변에서 약 200m 정도 벗어나, 산에 자리잡고 있어 대기오염물질의 이동을 배제한다면 청정한 지역이라고 할 수 있다.

### 1. 시료채취장치

#### 1) DDP

대기오염물질의 건성 침적량을 측정하기 위해 사용한 건성침적판은 바람이 불어도 넘어지지 않도록 설계된 받침대와 대기 침적판(Plate) 그리고 대기침적판 3개를 올려놓을 수 있는 기둥(Pole)로 구성 되어있고, 실험적 오차를 최대한 줄일 수 있도록 설계·제작하였다.

대기 건성침적판은 받침대로부터 150 cm의 높이에 설치하였으며, 3개의 침적판은 기상따라 독립적으로 작용하며, 설치된 침적판들 끼리 충돌을 피하도록 제작하였다.

대기 건성침적판은 길이 21.6 cm, 폭 9.0 cm, 두께 0.65 cm이고, 바람의 방향에 민감하게 작용할 수 있도록 아크릴 소재로 하였다.

대기 건성침적판 위에 설치될 strip은 가로 2.5 cm, 세로 7.6 cm 로 표면에 그리스를 5.7 cm × 1.8

cm 얇게 코팅해 10.26 cm<sup>2</sup>의 면적에 대기 건성침적물이 침적 되도록 하였다.

#### 2) CPRI

CPRI는 DDP와 마찬가지로 바람이 불어도 넘어지지 않도록 지지해주는 받침대와 4개의 단단식 관성 충돌채취기, 충돌채취기의 회전속도를 조절해주는 RPM 조절기 그리고 풍향의 변화에 따라 충돌채취기의 방향을 바꿔주는 Wind vane 으로 구성 되어 있다.

서로 다른 크기의 채취단(stage)은 공기 중에서 회전시킴으로써 기존의 채취기에서 측정하지 못한 초대입자를 채취하는데 적합한 기기이다.

C.P.R.I는 높이 186 cm, 충돌채취기 Arm의 길이 30.48 cm로 4개의 충돌채취기는 면적이 서로 달라 와류 역시 다르게 작용하기 때문에 포집되는 입경도 다르다. D.D.P에 이용되는 Strip의 시료 포집 전·후의 무게차를 Strip의 면적(1.8 cm × 5.7 cm)과 대기중에 노출시간으로 나누어 단위시간과 단위면적에 대한 Flux량을 계산한다. 아래에 Flux 계산식을 나타내었다.

$$Flux = \frac{\Delta M}{A \times t}$$

여기서, Flux : 건성침적량 (mg/m<sup>2</sup> · day)

ΔM : 시료 포집 전·후의 질량변화(mg)

A : Strip의 시료 포집 면적(m<sup>2</sup>)

t : Strip의 노출시간 (day)

#### 3) 질량농도 계산

C.P.R.I의 질량농도 계산은 시료채취전의 무게차

Table. 1. Theoretical particle collection diameter according to CPRI collector RPM(Operation manual for noll rotary impactor)

| Width(cm) \ RPM | 0.20  | 0.64   | 2.54 | 5.80 |
|-----------------|-------|--------|------|------|
| 200             | 7.6μm | 13.4μm | 24μm | 34μm |
| 300             | 6.3μm | 11.2μm | 21μm | 30μm |
| 400             | 5.3μm | 9.4μm  | 18μm | 25μm |
| 500             | 5.1μm | 8.9μm  | 16μm | 23μm |
| Stage           | A     | B      | C    | D    |

를 strip의 면적, 층돌판 지지대의 길이, 층돌판의 회전속도와 시료채취 시간으로 나눈값이다. 층돌판의 지지대의 길이(0.3048m), 층돌판의 회전속도(R.P.M:320) 그리고 시료채취 시간(6hr)은 일정하게 유지하여 실험하였다.

아래에 질량농도의 계산식을 나타내었다.

$$Cm_i = \frac{M_i - B_i}{A_i \cdot 2 \cdot \pi \cdot L \cdot R.P.M \cdot t}$$

위의 식에서

- $Cm_i$  : 포집단 i 에서의 질량농도 ( mg/m<sup>3</sup> )
- $M_i$  : 포집단 i 에서 입자의 질량 ( mg )
- $B_i$  : 포집단 i 에서 blanc의 질량 ( mg )
- $A_i$  : 포집단 i 에서의 시료채취 면적 ( m<sup>2</sup> )
- $\pi$  : 원주율 ( = 3.14 )
- $L$  : 층돌판 지지대의 길이 ( = 0.3048 m )
- R.P.M : 층돌판의 분당 회전속도 ( = 320 회/분 )
- $t$  : 시료채취 시간 ( = min )

### III. 결과 및 고찰

지난 2000년 8월부터 2001년 7월까지 광주광역시 운암동과 광주보건대학에서 매일 측정 분석한 건성침적량을 낮시간대와 밤시간대로 나누어 평균값을 그래프로 나타내었다. 일반적으로 겨울에 대기오염이 심하므로 침적량 또한 겨울이 높게 분석되었는데, 이것은 운암동 지역의 대단위 아파트로 인한 가정난방에 의한 것으로 생각된다. 오전의 최고값은 1월 575 mg/m<sup>2</sup>·day 였고, 오후의 최고값은 2월로 541 mg/m<sup>2</sup>·day 로 나타났다.

#### 1) 중금속의 침적량

중금속의 건성침적량 측정은 Fe, Cu, Pb, Zn, Cr

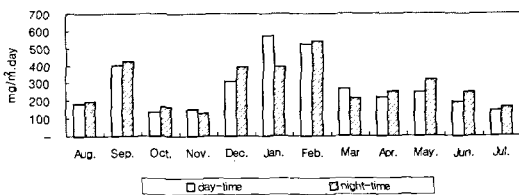


Fig. 1. Monthly variation of mass flux

을 선택하였으며, 8월에 그값이 최고인 것은 Cu와 Cr으로 조사되었고, 9월은 Pb, 3월에는 Fe, 4월에는 Zn이 각각 최고값을 나타내었다.

Fe의 경우, 황사의 영향을 상당히 많이 받는 것으로 사료되며<sup>9)</sup>, Zn의 경우 여름에는 침적량이 증

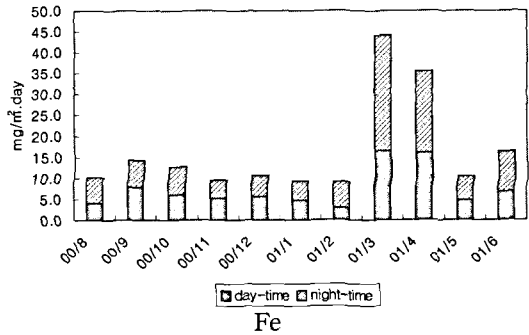


Fig. 2. - (a). Comparison of heavy metal flux measured by DDP

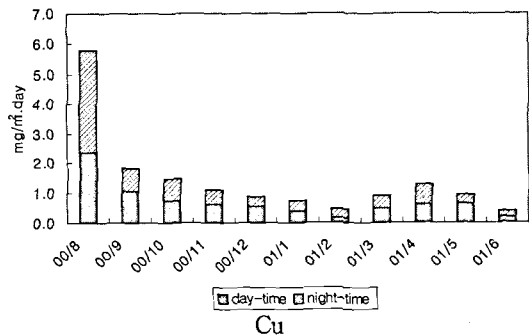


Fig. 2. - (b). Comparison of heavy metal flux measured by DDP

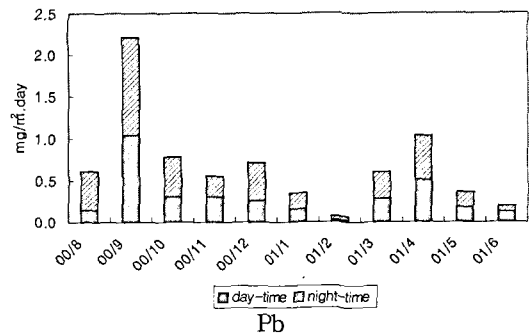


Fig. 2. - (c). Comparison of heavy metal flux measured by DDP

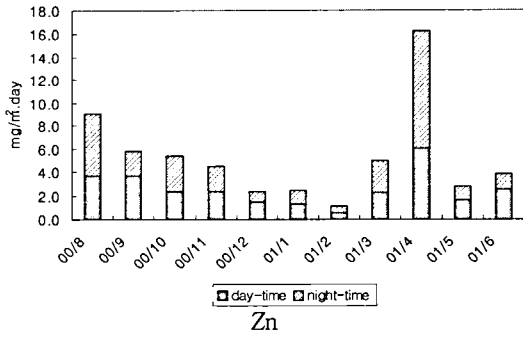


Fig. 2. - (d). Comparison of heavy metal flux measured by DDP

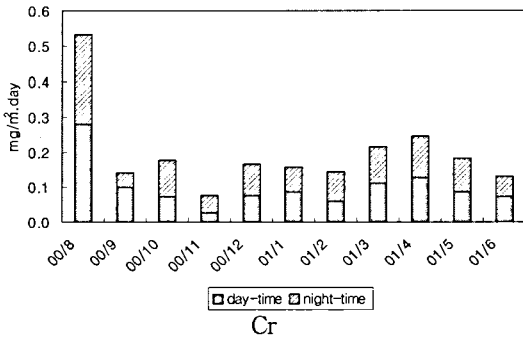


Fig. 2. - (e). Comparison of heavy metal flux measured by DDP

가하고, 겨울에는 감소추세를 나타내었다가 3월과 4월에 황사의 영향으로 비정상적으로 침적량이 급증하고 있다. Cu와 Cr은 8월에 최고값을 나타내고 있는데, Cu의 경우 장마철에 산화구리를 형성했던것들이 우기가 끝나면서 재비산함에 따라 침적량의 증가로 나타난 것으로 추측된다.

년간 측정된 중금속의 침적량에 대한 편차는 Cr이 최소(day-time : 0.063 mg/m<sup>2</sup>·day, night-time

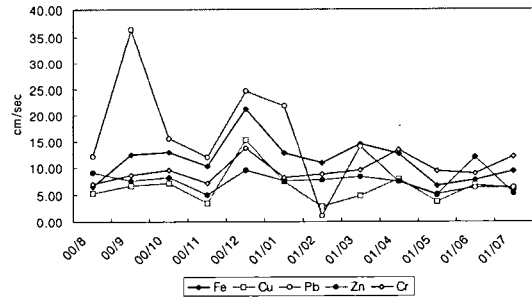


Fig. 3. Estimation of deposition velocity

: 0.055 mg/m<sup>2</sup>·day)였으며, 최고의 편차는 Fe로 day-time : 4.615 mg/m<sup>2</sup>·day, night-time : 7.120 mg/m<sup>2</sup>·day 으로 나타났다.

### 2) 중금속의 침적속도

위에서 측정된 중금속들의 침적량과 농도값을 환산하여 계산한 침적속도를 fig. 3에 나타내었는데 Pb의 경우 9월에는 약 36cm/sec 로 최고값을 나타내었지만 2월에는 약 1 cm/sec 로 최소값을 나타내어 계절별 편차(약 10 cm/sec)가 상당히 큰 것으로 조사되었다. 반면, 최소의 편차를 보인 것은 Zn(약 2 cm/sec)으로 최고값은 약 12 cm/sec, 최소값은 약 5 cm/sec 로 조사되었다. 그리고 Zn을 제외한 다른 금속들은 침적속도의 연간 변화에서 유사한 패턴을 보여주고 있다.

### 3) 중금속의 상관관계 분석

중금속의 상관관계 분석은 질량농도 값을 포함한 중금속들의 침적량을 가지고 분석한 것인데 약 50%에 해당하는 것이 Fe과 Zn, Cr과 Zn 이었고, Cr과 Cu는 91%로 상당히 높은 상관관계를 나타내

Table. 2. Correlation analysis flux

|           | Mass Flux | Fe    | Cu   | Pb   | Zn   | Cr   |
|-----------|-----------|-------|------|------|------|------|
| Mass Flux | 1.00      |       |      |      |      |      |
| Fe        | -0.17     | 1.00  |      |      |      |      |
| Cu        | -0.26     | -0.10 | 1.00 |      |      |      |
| Pb        | 0.06      | 0.18  | 0.22 | 1.00 |      |      |
| Zn        | -0.36     | 0.54  | 0.42 | 0.40 | 1.00 |      |
| Cr        | -0.18     | 0.13  | 0.91 | 0.03 | 0.49 | 1.00 |

고 있다. 반면, 질량농도 값과 중금속들의 상관관계에서는 거의 관계가 없거나 오히려 반비례에 해당하는 것으로 조사되었다.

이는 각 Stage에서 측정된 PM<sub>10</sub> 이하의 농도가 높게 나타난 반면, 조대 입자의 농도는 낮게 측정된 것과 상당한 연관성이 있는 것으로 생각된다.

## V. 결 론

측정분석에 선택된 중금속들은 Fe을 제외하고는 모두가 인위적 지각 기원원소들이었는데 이들은 질량농도와의 상관관계가 거의 없는 것으로 보아 대부분이 조대 입자로 대기 중에 방출되며 바람에 의한 이동(장거리이동 포함)을 하는 것으로 보인다.

측정분석에 의한 결과와 같이 침적량은 Fe > Zn > Cu > Pb > Cr 순으로 조사되었고, Fe 은 하루평균 약 7.9 mg/m<sup>2</sup>·day 조사되었고, Cr 은 하루평균 값이 약 0.095 mg/m<sup>2</sup>·day 로 조사되었다.

각 중금속들의 질량농도에 대한 침적량의 침적속도에서는 Pb > Fe > Cr > Zn > Cu 순으로 조사되었고, 침적속도가 최고로 나타난 Pb을 제외한 다른 중금속들은 연간 침적속도의 패턴과 유사하게 나타났다.

## 감사의 글

본 연구는 2003년도 광주보건대학 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

## V. 참고문헌

1. Noll, K.E., Fang, K.Y. and Watkins, L.A., "Characterization of the Deposition of Particles from the Atmosphere to a Flat Plate", Atmos. Environ., 22, 1461-1468, 1988.
2. 노기환, 전의찬, 사재환, 대기오염물질 건성침적의 시·공간적 특성평가, 한국환경관리학회, 7(1), 23~29, 2001.
3. 김성천, 군산지역의 강하분진 및 금속원소의 침착속도 추정, 한국대기환경학회지, 16(5), 431~443, 2000.
4. Zang De'er, Analysis of dust rain in the historic times of China, Kexue Tonggao, 27(5), 294~297, 1982.
5. Charlson, R. J., J. Lagner, H. Rodhe, C. B. Leovy, and S. G. Warren, Perturbation of the northern hemisphere radiative balance by backscattering from anthropogenic aerosols, Tellus 43AB, 152~163, 1991.
6. 전창재, 김태형, 정장표, 이영형, 창원대학교 환경연구논문집, 6, 161~175, 1997.
7. 노기환, 대기오염물질의 건성침적 및 낙하세균의 시·공간적 특성 연구, 박사학위논문, 2002.
8. 장남익, 수변구역의 대기건성침적특성 및 평가 방법 개발, 박사학위논문, 2000.
9. 노기환의 6인, 광주보건대학 논문집, 27, 151~163, 2002.
10. Operation manual for Noll Rotary Impactor