

## 4C3) 대체표면법을 이용한 건성침적량의 평가방법론의 개선 Improvement of Dry Deposition Flux Estimation Methodologies Using Surrogate Surface

절장표 · 장영환 · 조효정 · 이승목<sup>1)</sup>

경성대학교 환경공학과, <sup>1)</sup>서울대학교 보건대학원

### 1. 서론

대기침적은 대기중으로 방출된 오염물질의 이동과 그 영향을 조절하는 중요한 기작으로서, 현상론적인 형태에 따라 습성침착 및 건성침착으로 구분된다. 이러한 대기침착 현상은 수질의 악화, 건강 및 생태학적 약영향을 초래하는 중요한 요소로 작용할 뿐만 아니라, 최근 우리나라를 비롯한 동북아시아지역에서의 대기오염물질의 장거리 이동현상의 정확한 규명을 위한 노력의 일환으로 그 관심이 모아지고 있다

따라서 건성침착현상에 의한 환경적인 약영향을 줄이기 위한 대처방안을 효과적으로 수립·시행하기 위해서는 먼저 그 영향 정도를 규명해 낼 수 있는 측정장치의 개발 및 분석평가 방법의 정립이 필수적이다. 이러한 취지에서 본 연구는 우리나라 실정에 적합한 대기오염물질(특히 입자상 물질) 건성침적량의 측정 및 평가방법을 정립하기 위한 기초조사로써, 대기자동측정망이 설치·운영되고 있는 경기도 장호원에서 DDP, WSS, CPRI, Cascade Impactor 및 ADS를 이용하여 대기중의 산성물질 농도와 함께 nitrate, sulfate의 대기건성침적량을 실측하였다. 또한 실측된 mass 농도 및 성분농도, mass 침적량, 성분 침적량 등을 다양한 방법을 통해 분석·추정하여 대기건성침적량의 산정에 있어서 적절한 방법론을 제시하였다.

### 2. 연구 방법

본 연구에서는 직접 측정된 입자상 산성물질의 침적량과 모델에 의해 침적속도를 산정하여 침적량을 간접적으로 추정된 값들과 비교·고찰하기 위해 다음과 같은 원칙으로 8개의 각 방법을 적용시켰다. 먼저, Weibull 확률분포함수를 이용하여 일반화를 시킨 방법과 CPRI 실측치만으로 계산된 침적량을 비교하였고, 세분화와 그렇지 않은 경우를 알아 보기 위해 R50%에 해당하는 단일 입경에 대한 침적량, CPRI 입경영역의 4부분을 8부분으로 세분하여 추정된 침적량, 흔히 구분하는 PM2.5, PM10, TSP의 3개 영역으로 구분하여 추정된 침적량 등의 다양한 추정방법을 이용하여 산정된 침적량을 비교 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

8가지 방법으로 입자상물질의 질량 침적량을 계산하여 Table 1에 정리하였다. 다양한 침적량 산정방법 중 CPRI의 4단의 평균입경에 대한 농도와 모델에 의해 추정된 Vd를 이용하여 침적량을 산정하는 방법(이하 CPRI방법)과 Weibull 확률분포함수로 일반화하여 산정된 CPRI의 4단 평균입경에 대한 농도를 이용하는 방법으로 실측치에 가장 근접하는 결과를 보이고 있다. 평균 침적량을 살펴볼 때 두 방법중 전자(102%)가 후자(80%)에 비해 더욱 근접된 값을 보이고 있으나 침적량 범위로 볼때는 전자(31~26%)가 후자(35~242%)에 비해 접근성이 다소 떨어지고 있다.

Weibull 확률분포함수로 일반화를 하면 다양한 방법으로 침적량 추정을 할 수 있는데, PM2.5, PM10, TSP의 3개 영역으로 하여 추정하여 침적량을 계산해 보았다. 그러나 PM10과 TSP 사이의 입경차가 너무 크고, PM10 이상 ~ TSP의 농도가 다소 높게 나타나 추정된 침적량 값전부가 실제 침적량 보다 높은 값으로 나타났다.

또한 미세입자영역에 상대적으로 높은 농도가 분포될 것으로 추정되는 Nitrate와 Sulfate 성분에 대한 Weibull 확률분포함수를 추정하여 상기의 여러 방법으로 추정하여 보았다. Table 2에서 나타난 바와 같이 CPRI 방법의 경우 nitrate와 sulfate에 대한 예측율이 실측치에 대비하여 각각 27.48±8.15%, 63.64±8.98%로 추정된 반면, Weibull 확률분포함수를 이용하여 미세입자영역을 포함하여 산정된 방법의 경우, 각각 40.25±16.01%, 74.85±5.13%로 추정되어 미세입자 영역의 영향을 무시할 수 없음을 알 수 있다.

Table 1. The summary of dry deposition fluxes estimated by various methodologies

(unit : mg/m<sup>2</sup> · day)

| Sample date | CPRI   | < 4.5 $\mu$ m | CPRI-1 | S-CPRI | PM     | Conc. flux | R50  | Conc. flux (10%) | DDP    |
|-------------|--------|---------------|--------|--------|--------|------------|------|------------------|--------|
| Mar. 21     | 94.92  | 7.73          | 53.51  | 48.43  | 154.06 | 122.45     | 2.72 | 106.06           | 152.16 |
| Apr. 18     | 90.62  | 2.06          | 59.91  | 250.35 | 195.43 | 21.03      | 0.68 | 17.93            | 76.37  |
| Apr. 19     | 42.79  | 2.06          | 39.50  | 226.64 | 164.23 | 17.05      | 0.49 | 14.39            | 57.30  |
| Apr. 23     | 121.70 | 4.46          | 65.90  | 142.79 | 190.32 | 65.22      | 1.46 | 56.08            | 171.85 |
| Apr. 24     | 92.19  | 4.46          | 79.44  | 119.44 | 205.20 | 102.38     | 2.24 | 88.74            | 65.94  |
| Apr. 25     | 131.16 | 4.46          | 96.01  | 121.01 | 221.00 | 119.05     | 2.53 | 103.41           |        |
| Apr. 30     | 51.62  | 1.45          | 65.14  | 282.11 | 218.84 | 20.02      | 0.49 | 17.04            | 165.29 |
| May 1       | 83.25  | 1.45          | 60.89  | 288.91 | 210.83 | 17.07      | 0.55 | 14.58            |        |
| May 24      | 75.89  | 1.34          | 49.74  | 279.4  | 192.02 | 14.13      | 0.49 | 12.04            | 97.58  |
| May 25      | 58.06  | 1.34          | 36.24  | 262.97 | 167.23 | 11.29      | 0.37 | 9.54             | 79.52  |
| May 31      | 209.55 | 1.57          | 191.08 | 371.19 | 300.19 | 44.39      | 0.98 | 38.34            | 78.82  |
| Jun. 1      | 98.05  | 1.57          | 77.06  | 295.85 | 221.04 | 19.33      | 0.55 | 16.47            |        |
| average     | 95.82  | 2.83          | 72.87  | 224.17 | 203.36 | 47.78      | 1.13 | 41.22            | 104.98 |
| stdev       | 44.36  | 2.01          | 40.85  | 94.63  | 38.08  | 43.27      | 0.88 | 37.64            | 45.19  |

Table 2. The summary of dry deposition fluxes for nitrate and sulfate estimated by various methodologies.

(unit : mg/m<sup>2</sup> · day)

| Pollutant                     | Sample date | CPRI | < 4.5 $\mu$ m | CPRI-1 | Weibull | R50  | DDP  |
|-------------------------------|-------------|------|---------------|--------|---------|------|------|
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | Mar. 21     | 1.37 | 0.41          | 1.02   | 1.22    | 0.61 | 5.60 |
|                               | Apr. 19     | 0.42 | 0.39          | 0.67   | 0.98    | 0.46 | 1.96 |
|                               | Apr. 23     | 0.69 | 0.20          | 0.72   | 0.92    | 0.22 | 1.88 |
|                               | average     | 0.82 | 0.33          | 0.80   | 1.04    | 0.43 | 3.15 |
|                               | stdev       | 0.49 | 0.11          | 0.19   | 0.16    | 0.20 | 2.13 |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Mar. 21     | 1.48 | 0.36          | 1.22   | 1.58    | 0.79 | 2.01 |
|                               | Apr. 19     | 1.09 | 0.41          | 1.11   | 1.47    | 0.71 | 1.91 |
|                               | Apr. 23     | 1.46 | 0.37          | 1.34   | 1.68    | 0.73 | 2.43 |
|                               | average     | 1.34 | 0.38          | 1.23   | 1.58    | 0.74 | 2.12 |
|                               | stdev       | 0.22 | 0.03          | 0.12   | 0.10    | 0.04 | 0.28 |

이상과 같은 결과를 종합해 볼 때, 입자상 물질의 경우 실측치에 근접된 침착량을 추정하기 위해서는 먼저 Cascade와 CPRI로부터 구해지는 Weibull 확률분포함수로 일반화 하고, 전체 입경분포의 특성과 입경에 따른 침착속도의 변화 패턴을 동시에 고려하여 적절한 입경 구간을 설정하여 침착량을 추정하는 방법이 합리적이라 판단된다

#### 참고 문헌

- 정장표, 이승훈, 차명수, 신찬기, 통계적 방법에 의한 부산시 부유분진의 기준치 달성확률산정, 대한환경 공학회 추계학술발표대회, 1995.
- Cheong J. P., Yi S. M., and Lee E. Y., "A Study on the Characterization of Size Distributions and Atmospheric Dry Deposition of Heavy Metals", Department of Environmental Science and Engineering, Ewha Womons University, 1999.
- Yi. S. M., Development and Evaluation of a Water Surface to Measure Dry Deposition, Ph.D. diss., Illinios Institute of Technology, Chicago 1995.