

MA3) 서울·수도권 지역의 질소화합물 및 황화합물에 대한 건식 침적량 추정

Estimation of Dry Deposition of Nitrogen and Sulfur Compounds over the Greater Seoul Area

김진영·김영성·김용표
한국과학기술연구원 지구환경연구센터

1. 서론

건식 침적은 강수가 없는 경우에 대기중의 오염물질이 식생, 토양, 수면 등의 지표면으로 직접 이동되는 과정을 일컫는 것으로서, 다음 식 (1)과 같이 대기중 오염물질의 농도와 건식 침적속도의 곱으로서 건식 침적속을 구할 수 있다.

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

이 때, F 는 건식 침적속 ($\text{g}/\text{m}^2/\text{sec}$), V_d 는 건식 침적속도 (m/sec), C 는 대기중의 오염물질 농도 (g/m^3)이다.

본 연구에서는 1997년 중 각 계절별로 3일간의 대표일을 선정하고 서울·수도권 지역을 대상으로 3차원 대기질 모델을 이용함으로써, 질소화합물 및 황화합물의 건식침적량에 대한 각 계절별 특성을 알아보고자 하였다.

2. 자료

CIT (California Institute of Technology) 모델을 이용하였으며 대상영역은 수도권 지역 $60 \text{ km} \times 60 \text{ km}$ 로서 격자 크기는 $2 \text{ km} \times 2 \text{ km}$ 이다. 침적 모델은 resistance model이다 (Harley and Cass, 1995). 바람장은 기상청의 정규관측, 자동관측 기상자료 및 고층관측 자료와 CIT 진단모델을 이용하여 구성하였으며, 혼합고는 수도권 지역에 대한 대표값으로 오산 고층관측소의 계절별 대표적인 혼합고 자료를 이용하였다 (Chang et al., 1997). 배출량 자료는 국립환경연구원에서 산정한 자료를 이용하되 (최덕일 등, 1994) EKMA 모델로 보정하였고 토지이용도는 입업연구원의 자료를 이용하였다. 김진영과 김영성 (1999)에 따라 측정치에 기초한 경계조건을 적용하였으며 환경부 측정자료와 KIST의 VOC 측정자료를 이용하여 초기조건을 구성하였다.

3. 결과

모사기간 3일동안 질소의 총 침적량은 여름이 115 ton으로 가장 많았으며, 가을과 봄은 비슷하였고 겨울이 68 ton으로 가장 적었다 (Table 1). 한편 각 물질별로는 HNO_3 와 NO_2 중 질소의 침적량이 전체의 90% 이상을 차지하는데 이는 HNO_3 의 경우는 침적속도가 크고 NO_2 의 경우는 농도가 높아서 앞의 식 (1)에서 알 수 있듯이 각 물질들의 침적속이 커지기 때문이다. 여름에는 HNO_3 중 질소의 침적량이 총 질소 침적량의 65%를 차지하였고 겨울에는 NO_2 중 질소의 침적량이 80% 이상을 차지하였다. 이는 여름에는 광화학 반응이 활발하여 HNO_3 의 농도가 높은 반면 겨울에는 NO_2 의 농도가 높기 때문이다.

황의 총 침적량은 겨울이 64 ton으로 가장 많았으며, 가을, 봄, 여름의 순으로 낮아졌다. 물질별로는 입자상 SO_4^{2-} 의 침적량은 미미하며 SO_2 가 거의 100%를 차지하는데, 이는 현재 모든 황화합물이 SO_2 의 형태로 배출되어서 SO_4^{2-} 의 농도가 매우 낮기 때문이다. 황화합물은 질소산화물에 비하여 반응성이 낮은 물질로서, 침적량의 계절 변화가 나타나는 원인은 혼합고의 영향에 의해 겨울에 SO_2 의 농도가 높고 여름에 낮기 때문으로 설명할 수 있다.

침적량의 공간 변화를 살펴보면, 질소화합물의 총 침적량은 서울의 중심부에서 가장 높았으며 외곽으

로 갈수록 적어지는 경향을 보인다. 한편 황화합물은 서울과 인천 등 오염물질의 배출이 많은 지역에서 침적량이 높게 나타나는 것은 동일하였으나, 침적량이 높은 영역이 동서 방향으로 길게 나타나 질소화합물에 비해 바람의 영향을 직접적으로 받는 것을 알 수 있었다.

침적속도는 대기가 불안정해지고 난류가 발달하는 오후 15시를 전후하여 가장 크게 나타나는데 이로 부터 공기역학적 저항, 준층류 하층 저항, 지표면 저항 중 난류확산에 의한 공기역학적 저항이 대기오염 물질의 건식침적 속도를 결정하는 주인자임을 짐작할 수 있다. 주요 침적물질인 NO₂, HNO₃, SO₂의 침적속은 침적속도의 변화에 따라 오후 시간대에 대체로 크게 나타났으나, 여름철 NO₃의 경우는 반응에 의해 농도가 급격히 높아지는 야간시간대의 침적속이 가장 크다.

본 연구에서 추정한 침적량을 토대로 1997년 서울, 수도권 지역 3600 km² 영역에 대한 연간 총 침적량을 구해보면, 질소화합물은 42,206 ton, 황화합물은 13,474 ton으로서 질소화합물이 황화합물보다 약 3 배 가량 많았다. 한편 질소화합물 중 질소의 총 침적량은 연간 11,300 ton, 황화합물 중 황의 총 침적량은 6,740 ton으로서 질소의 총 침적량이 약 2배 많았다.

사 사

이 연구는 한국과학기술연구원의 '금수강산' 과제 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 김진영, 김영성 (1999) 자동차상관측소 (AWS) 바람자료를 이용한 서울·수도권 지역의 광화학 모델링, 한국대기환경학회 춘계학술대회, 5월 14-15일, 한국외국어대학교, 논문 번호 DR4.
- Chang, Y.-S., D. F. Brown and Y. S. Ghim (1997) Estimation of Mixing Heights Using the Holzworth Method in Korea, *J. Korea Air Pollution Res. Assoc.*, 13(E), 35-46.
- Harley, R. A. and G. R. Cass (1995) Modeling the atmospheric concentrations of individual volatile organic compounds, *Atmospheric Environment*, 29, 905-922.
- 최덕일 등 (1994), 수도권지역의 시정장애현상 규명을 위한 조사 연구(I): 시정감소 원인물질 및 메커니즘 규명, 국립환경연구원.

Table 1. Deposition amount of total-N based of nitrogen and that of total-S based of sulfur during the modeling period for 3 days in each season. Numbers in parentheses represent deposition amount of total nitrogen compounds and sulfur compounds, respectively.

	Deposition amount (ton)				Fraction (%)			
	Spring	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer	Autumn	Winter
NO	2.6 (5.6)	1.5 (3.3)	4.3 (9.3)	5.4 (11.6)	2.8	1.3	4.6	7.9
NO ₂	56.9 (186.8)	37.8 (124.3)	52.6 (172.7)	55.3 (181.6)	61.0	32.9	55.8	80.9
HONO	0.4 (1.5)	1.0 (3.4)	1.0 (3.5)	0.3 (1.1)	0.4	0.9	1.0	0.4
HNO ₃	32.3 (145.4)	74.4 (334.7)	36.2 (163.0)	5.9 (26.6)	34.6	64.6	38.4	8.6
N ₂ O ₅	1.1 (3.8)	0.3 (0.9)	0.2 (0.6)	1.5 (5.3)	1.2	0.3	0.2	2.2
Total	93.3 (343.1)	115.0 (466.6)	94.3 (349.1)	68.4 (226.2)	100.0	100.0	100.0	100.0
SO ₂	50.9 (101.7)	48.8 (97.5)	58.0 (115.9)	64.0 (127.9)	100.0	99.8	100.0	100.0
SO ₄	0.0 (0.1)	0.1 (0.2)	0.0 (0.1)	0.0 (0.0)	0.0	0.2	0.0	0.0
Total	50.9 (101.8)	48.9 (97.7)	58.0 (116.0)	64.0 (127.9)	100.0	100.0	100.0	100.0