

MA20) 우리 나라 청정지역에서의 황과 질소 농도 비의 특성 Characteristics of Concentration Ratio of Sulfur and Nitrogen at Background Areas in Korea

이중훈, 김용표, 문길주, 김희강¹⁾

한국과학기술연구원 지구환경연구센터, ¹⁾건국대학교 환경공학과

1. 서 론

우리 나라, 일본, 중국, 대만, 홍콩 등을 포함하는 동북아시아지역은 전세계 인구의 1/3 이상이 살고 있으며, 급속한 경제성장을 보이고 있다. 이에 따른 주민의 생활수준 향상과 생산활동의 증가에 따라 오염물질의 배출량도 급격한 증가추세를 보이고 있어, 이 지역 환경에 큰 영향을 미치고 있다.

동북아시아지역의 대기오염과 관련하여 주목할 것은 이 지역에서 SO₂나 NO_x 같은 인위적인 산성오염물질의 배출량이 급증하고 있는 것이다. 특히, 이들 오염물질의 배출량에 대한 중국의 영향은 매우 큰데, 중국 정부의 공식 자료인 중국환경연감에 따르면 1995년도 중국의 SO₂ 배출량은 S로서 연간 약 9,450 Gg으로, 같은 해 미국의 SO₂ 배출량 8,310 Gg (S로서)보다 더 크다. 이렇게 배출된 대기오염물질은 바람에 의해 장거리를 이동하게 되는데, 이 지역의 풍향이 대체로 서풍이기 때문에 우리 나라는 중국에서 배출된 대기오염물질의 장거리 이동에 의한 영향을 받게 될 가능성이 높다. 이에 따라 우리 나라 배경농도지역에서 대기오염물질을 측정하고, 장거리 이동을 입증하기 위한 노력들이 있어 왔다.

입자상 SO₄²⁻와 NO₃⁻ 농도의 비는 해당 지역에서 SO₂와 NO_x의 배출과 밀접한 관련이 있다고 생각되며, 대기오염물질의 배출지역을 추정하는데 적용할 수 있다. 그 예로서, Huebert et al. (1988)이 중국 북경에서 측정된 입자의 SO₄²⁻/NO₃⁻ 농도 비와 이 지역에서 배출되는 SO₂/NO_x 배출량 비를 구하여 그 값을 비교한 결과 두 값이 비슷하였는데, 이것으로부터 측정된 입자상 SO₄²⁻와 NO₃⁻가 중국에서 배출된 SO₂와 NO_x로부터 변환된 것으로 추정하였다. Arimoto et al. (1996)이 제주도에서 구한 SO₄²⁻/NO₃⁻ 농도 비는 약 1.7로 중국에서의 SO₂/NO_x 배출량 비 (3.0)보다 낮으며, 이것은 제주도의 SO₄²⁻와 NO₃⁻ 농도가 중국보다 낮은 SO₂/NO_x 배출량 비를 갖는 지역의 영향을 받고 있는 것으로 보였다.

이 연구에서는 우리 나라 배경농도지역인 제주도 고산과 인천광역시 강화에서 1996년과 1997년에 PM_{2.5}와 HNO₃를 측정하고, nss SO₄²⁻와 NO₃⁻의 농도 비와 우리 나라 및 중국에서의 SO₂와 NO_x의 배출량 비를 비교함으로써, 이 두 지역에서 측정된 대기오염물질이 중국으로부터 장거리 이동된 것임을 밝히고자 한다.

2. 측정 및 분석

대기오염물질의 측정은 제주도 고산측정소와 강화도 강화측정소에서 이루어졌다. 고산측정소는 제주도의 서쪽 지역에 있으며, 강화측정소는 강화도의 서남쪽 지역에 있다. 이 두 지역은 해안으로부터 가까이 있고, 도시지역에 비해 인위적인 국지 배출원의 영향을 별로 받지 않는 곳이다. 측정지역에 대한 자세한 설명은 이중훈 등 (1997)에 나와 있다. 측정기간은 1996년 2월 28일~3월 13일 (15일간), 12월 11일~17일 (7일간), 1997년 1월 9일~20일 (12일간), 9월 26일~10월 6일 (11일간), 12월 11일~21일 (11일간)으로, 다섯 번에 걸쳐 PM_{2.5} 입자와 기체상 오염물질인 HNO₃를 측정하였다. 측정은 이 기간 중에 매일 24시간씩 이루어졌다. 측정장치로는 저유량 PM_{2.5} 채취장치를 사용하였으며, 사이클론, 필터 팩, 오리피스 및 진공펌프로 구성되어 있다. 측정방법과 장치에 관한 설명은 이중훈 등 (1997)에 잘 나와 있다.

입자상 SO₄²⁻, NO₃⁻ 및 기체상 HNO₃ (NO₃⁻으로서)의 분석은 I.C. (Dionex사, 2000i/sp)로 하였다. 분석방법에 관하여는 역시 이중훈 등 (1997)에 잘 설명되어 있다.

3. 결과 및 고찰

고산과 강화측정소에서 측정된 PM_{2.5}의 nss SO₄²⁻와 NO₃⁻의 질량농도를 S (황)와 N (질소)의 몰농도로 바꾸고, 그 비 (이하 S/N 농도 비로 표기)를 구하여 표 1에 나타내었다. 여기서, NO₃⁻는 HNO₃와

NO₃⁻를 합한 총 NO₃⁻인데, NO_x가 대기 중에서 HNO₃와 NO₃⁻로 변환되기 때문이다.

Table 1. Molar ratios of nss SO₄²⁻/NO₃⁻ at Kosan and Kangwha.

	Molar S/N ratio	
	Kosan	Kangwha
Mar. 1996	2.30	1.12
Dec. 1996	1.37	0.77
Jan. 1997	4.47	0.96
Sept. 1997	2.02	1.58
Dec. 1997	3.71	1.36
Overall Mean	2.77	1.16

1997년에 한반도에서 배출된 SO₂와 NO_x의 배출량은 각각 1,356,395 톤과 1,278,348 톤인데, 이것을 S와 N의 몰 비 (이하 S/N 배출 비로 표기)로서 구하면 약 0.5이다 (NO_x는 NO로서 배출된다고 가정하였다). Nss SO₄²⁻와 NO₃⁻가 인위적으로 배출된 SO₂나 NO_x로부터 변환되어 생성되기 때문에, SO₂와 NO_x가 정량적으로 nss SO₄²⁻와 NO₃⁻로 변환되고, 변환속도가 동일하다고 가정하면, S/N 농도 비는 S/N 배출 비와 같게 될 것이다 (Huebert et al., 1988). 우리 나라에서 S/N 배출 비는 표 1에 나타난 고산이나 강화의 S/N 농도 비보다 작다. 이것은 배출 강도가 높은 지역에서 배출된 SO₂와 NO_x가 고산과 강화지역에 강하게 영향을 주고 있음을 시사한다. 물론, 강화의 1996년 12월에 S/N 농도 비는 한반도에서의 S/N 배출 비와 가까우며, 따라서 1996년 12월에는 한반도에서 배출된 SO₂와 NO_x의 영향을 비교적 많이 받았다고 보여진다. 그러나, 전반적으로 볼 때 강화의 S/N 농도 비는 1보다 크고, 한반도 이외의 다른 지역에 의해 영향을 많이 받고 있음을 알 수 있다. 1987년 중국의 SO₂와 NO_x의 배출량으로 구한 S/N 배출 비는 약 1.95이다 (Arimoto and Narita, 1994). 이 값은 강화의 S/N 농도 비 보다 크고, 고산의 S/N 농도 비 보다 작다. 비록 10여년 전의 자료이긴 하지만, 중국의 S/N 배출 비는 한반도의 S/N 배출 비보다는 크고, 고산이나 강화의 S/N 농도 비와 가까운 수준이다. 이것으로 볼 때 고산과 강화에서 측정된 nss SO₄²⁻와 NO₃⁻는 중국에서 배출된 SO₂와 NO_x가 한반도로 장거리 이동되면서 생성된 것이라고 판단된다. 배출원 지역의 S/N 배출 비와 측정지역의 S/N 농도 비간의 관계에 영향을 미치는 요인은 SO₂와 NO_x의 산화속도, 산화조건 및 침착에 의한 제거속도 등 다양하다. 강화와 고산의 S/N 농도 비가 서로 다르고, 중국의 S/N 배출 비와 다소 다르게 나타나는 것은 이러한 원인에 기인한다고 생각된다.

참고문헌

- 이종훈, 김용표, 문길주, 김희강, 정용승, 이종범 (1997) 우리 나라 청정지역에서 측정된 PM_{2.5} 입자의 특성, 한국대기보전학회지, 13(6), 439-450.
- Akimoto, H. and H. Narita (1994) Distribution of SO₂, NO_x and CO₂ emissions from fossil fuel combustion and industrial activities in Asia with 1°×1° resolution, Atmos. Environ., 28, 213-225.
- Arimoto, R., R.A. Duce, D.L. Savoie, J.M. Prospero, R. Talbot, J.D. Cullen, U. Tomza, N.F. Lewis and B.J. Ray (1996) Relationships among aerosol constituents from Asia and the North pacific during PEM-West A, J. of Geophys. Res., 101, 2011-2023.
- Huebert, B.J., M.-X. Wang and W.-X. Lü (1988) Atmospheric nitrate, sulfate, ammonium and calcium concentrations in China, Tellus, 40B, 260-269.