

1E1) 종합산침착모델을 이용한 동북아시아지역의 현재 및 미래 산침착에 관한 수치 모사

A numerical simulation of present and future acid deposition in North East Asia

김재희 · 조석연

인하대학교 환경토목 공학부

1. 서론

과거 20여년간 아시아 지역의 경제성장이 활발하여 짐에 따라 아시아 지역에서 배출되는 대기오염물질이 지구환경에 지대한 영향을 미치게 되었다. 특히 1990년대부터는 중국의 산업화에 따른 대기오염문제가 부각되면서, 중국에서 배출된 오염물질이 한국 및 일본 등의 주변 국가의 산침착에 미치는 영향에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(Armdt et al., 1998).

장거리 이동에 의한 산침착은 장기간에 걸친 현상이므로 단기간에 대한 모사를 통하여서는 파악하기 어렵다. 그러므로 지금까지 산원인 물질의 장거리 이동에 관한 대부분의 연구는, 모사에 걸리는 시간 및 전산 요구량이 적은 Lagrangian Trajectory 모델을 이용하여 1980년대부터 1990년까지 아시아 지역의 SO₂ 배출량만을 이용하여 이루어졌다. 본 연구에서는 종합산침착 모형인 Multi-Scale STEM(Kim and Cho, 1998)을 이용하여 동북아시아지역의 1996년과 2020년 SO₂와 NO₂에 대한 모사를 수행함으로써, 본 지역에서의 미래 산침착 특성의 변화를 예측하려 한다.

2. 연구방법

본 연구에 이용된 Mutli-Scale STEM은 1996년을 대상으로 1년간의 장기 모사를 수행하고 모사 결과로 도출된 주요 가스상 물질의 농도와 액적 농도를 관측치와 비교하는 모형 검증은 완료한 모형이다(Kim et. al, 2002). 본 연구의 목적은 서론에서 밝힌 바와 같이 배출량 변화에 따른 미래의 산침착 특성의 변화를 살펴보고자 하는 것인데, 현재의 기준연도는 상세한 검증을 수행한 1996년으로 선정하였고, 미래는 다양한 배출량자료가 도출된 2020년을 선정하였다.

배출량은 배출 사업소별로 배출량을 산출하는 상향식(bottom-up) 방법과 대상지역의 연료사용량과 산업활동을 지표로 산출하는 하향식(top-down) 방법이 있다. 현재 배출량은 상향식과 하향식에 의한 자료가 모두 있으나, 미래 배출량은 하향식에 의한 자료만 있다. 본 연구가 현재 산침착 특성과 비교한 미래 산침착 특성의 변화를 진단하는 것이므로, 현재의 배출량과 미래 배출량의 도출방법을 일치시킬 필요가 있다. 따라서, 현재와 미래 침착량이 모두 있는 하향식 배출량 산출방법으로 산출된 자료를 현재와 미래에 모두 사용하였다.

본 연구에 사용된 1996년과 2020년 배출량은 중국은 SO₂와 NO₂ 모두 China-Map의 격자별 자료를 이용하였고, 한국, 북한, 일본은 China-Map의 격자별 자료와 Rains-Asia의 총량 자료를 이용하여 모델의 입력자료로 이용하였다. Multi-Scale STEM에 입력된 국가별 배출량 자료는 표 1과 같다.

Table 1. Emissions used for the Multi-scale STEM input.

Unit:Mton/yr

	1996		2020	
	SO ₂	NO _x	SO ₂	NO _x
China	27.3	12.28	31.8	26.5
North Korea	0.26	0.74	1.35	2.6
South Korea	1.20	1.58	1.44	4.6
Japan	1.09	2.8	0.99	4.48

3. 결과 및 고찰

그림 1에서는 1996년과 2020년 모사를 통하여 2020년의 SO₂, sulfate, NO_x 와 HNO₃ 그리고 오존의 지면 농도 변화비를 나타낸다. 2020년에 북한과 중국 북동지역에서 SO₂ 농도가 50% 이상 증가하였고, 한국과 나머지 중국의 일부지역에서는 20-50%정도 농도가 증가하였다. 이러한 증가비는 배출량의 증가비와 거의 유사한데, 이는 SO₂가 일차 오염물질이기 때문이다. 배출량의 증가량이 많은 NO_x에서 이러한 경향은 보다 명확히 나타난다. 반면 sulfate는 한국과 중국의 일부 지역에서 2020년에 약간 감소하는데 이유는 오존의 농도가 2020년에 감소하였기 때문이다. 오존은, 2020년에 NO_x의 배출량이 크게 증가하여 오존 생성의 한계물질이 VOC인 지역들에서 농도가 크게 감소하였다. HNO₃도 이차오염물질로 산화제의 농도에 영향을 받지만 sulfate보다는 덜 민감함을 알 수 있다.

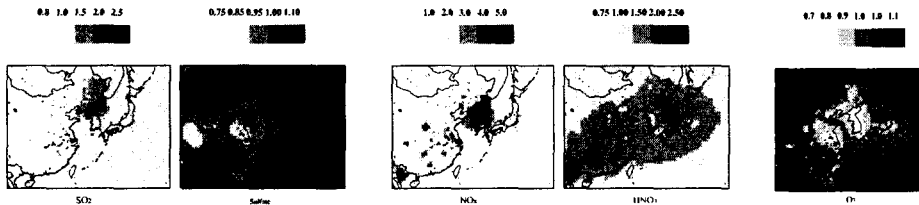


Fig. 1. The concentration ratio of SO₂, sulfate, NO_x and HNO₃ between 1996 and 2020.

중장거리 이동의 영향으로 대상지역의 산성 침착량은 지역내의 대기오염물질 배출량의 변화뿐 만 아니라, 풍상방향 지역에서 대기오염물질 배출량의 변화에 의하여 결정된다. 이러한, 중장거리 이동이 미래 산침착량에 미치는 영향을 조사하기 위해서 아래와 같이 산침착량 순증가비($\hat{\gamma}$)를 정의하였다.

$$\hat{\gamma} = \gamma \times \frac{\text{the amount of emission on the region for the year 1996}}{\text{the amount of emission on the region for the year 2020}} - 1$$

$$\gamma = \frac{\text{the amount of deposition on the region for the year 2020}}{\text{the amount of deposition on the region for the year 1996}}$$

모형 결과 산출된 황산화물(Sulfuric oxides)의 건성 침착에 대한 순증가비 평균치는 0.03으로 양의 값을 보이는 반면 황산화물의 습성 침착에 대한 순증가비는 -0.07로 음의 값을 보인다. 이와 더불어서, HNO₃는 배출원에서 배출된 NO가 다단계 비선형 화학반응을 거쳐서 생성되므로 순증가비는 음의 값을 갖는다. HNO₃ 건성 침착 속도와 습성 침착 속도의 연평균 순증가비는 각각 -0.15와 -0.06이다. HNO₃의 배출량 변화가 50%인 점을 고려할 때에 이러한 순증가비는 sulfate의 습성 침착 경우보다 오히려 작다고 평가된다.

계수증법을 이용하여 중국으로부터 이동하여오는 대기오염물질이 한국의 산침착에 미치는 영향을 산출하였다. 2020년도 한국의 황산화물 건성 침착량에 대한 중국의 기여도는 3% 감소하였고, 반면 습성 침착량에 대한 기여도는 2% 증가하였다. 그리고 총 침착량에 대한 기여도는 2% 감소하였다. 질소산화물 경우에 중국으로부터의 기여도는 크게 증가하였는데, 총 침착량에 대한 중국의 기여도는 14% 증가하였고, 건성 침착량과 습성 침착량에 대한 중국으로부터의 기여도는 각각 25%와 10% 증가하는 등 황산화물 경우 보다 큰 증가율을 보였다.

참고 문헌

- Arndt, R. L., Carmichael, G. R. and Roorda, J. M. R.(1998) Seasonal source-receptor relationships in Asia, *Atmospheric Environment*, 32, 1397-1406.
- Kim, J. and Cho, S. Y. (1998) Application of the nested grid STEM to an early summer acid rain in South Korea. *Atmospheric Environment* 33, 3167-3181.
- Kim, J. H., Han, B., and Cho, S. Y. (2002) A numerical simulation of annual acid deposition amount in Korea. *Atmospheric Environment* submitted.