

## PS2 (SM27) 에어로솔의 해염성분에 의한 물성변화

### Property changes of aerosol due to sea-salts

김용표

한국과학기술연구원 지구환경연구센터

#### 1. 서론

대기오염물질의 침적에 의해 호소나 연안해수의 조성이 변화하여 수서 생태계에 영향을 미칠 가능성에 대해서는 여러 논의가 있었다. 특히 질소화합물의 대기로부터의 유입에 의한 부영양화는 적조 등의 현상을 일으켜, 연안 생태계에 큰 영향을 미칠 수 있다. 따라서, 연안에서 침적되는 대기오염물질의 양을 추산하기 위해 에어로솔상의 이온성분을 측정하는 것은 침적 현상이해에 매우 중요하다.

해안지역에서 에어로솔을 측정하는 경우 해염성분에 의해 그 특징이 변화할 수 있다. 해안에서 에어로솔을 측정하는 경우 일반적으로 측정 결과에서 해염성분을 뺀 결과를 비해염에어로솔 성분 (non sea-salt fraction)이라고 표시하여 발표한다. 그러나 에어로솔의 비해염성분 자체가 이미 해염에어로솔에 의해 영향을 받아 변화하였을 가능성이 크다.

해염성분의 대기 중 에어로솔 특성에 대한 영향을 직접적으로 보기 위한 방법은 에어로솔내의 해염성분의 농도를 변화시켜 가면서 다른 오염물질의 기체, 에어로솔에서의 농도 변화와 에어로솔의 여러 특성의 변화를 측정하는 방법이 있다. 그러나 이 방법을 실험적으로 수행하기는 매우 힘들다. 따라서 모사에 의해 에어로솔내의 해염성분의 농도를 변화시켜 가면서 연구하는 방법이 유력한 방법이다. 이 연구에서는 기체/에어로솔 평형모델의 하나인 SCAPE (Simulating Composition of Atmospheric Particles at Equilibrium)를 이용하여 1994년 여름 제주도 고산에서 측정된 결과를 대상으로 해염성분이 측정된 미세에어로솔 (PM2.5)과 총부유분진 (TSP)의 특성에 어떤 영향을 미쳤는지를 정량화하였다.

#### 2. 측정 결과

해석 대상으로 삼은 측정 결과는 제주도 고산에서 1994년 7월 19일부터 8월 10일 동안 측정된 것이다. 측정소의 위치 정보는 김용표 등 (1996a)에 실려 있다. 측정 기간에 TSP와 PM2.5 이온 성분과 기체성분의 21일간의 일평균 결과를 얻었다. 자세한 측정, 분석 방법과 결과는 김용표 등 (1996b)에 나와 있다.

#### 3. 모델

모사에 사용한 모델은 SCAPE로 기체상과 에어로솔상의  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , 탄산염농도의 합과 그 때의 온도, 상대습도 자료로부터, 이들 물질이 평형상태에 있을 경우의 기체/에어로솔상의 이들 물질의 분배정도 및 에어로솔상의 상(고체, 수용액)을 예측하며, 이에 수반하여 에어로솔상의 수분함량과 에어로솔산성도를 예측하는 모델이다 (Kim and Seinfeld, 1995; Kim et al., 1993ab). 이 모델은 각종 문헌에 나와 있는 평형상수, 이온의 activity coefficient 자료, 조해점 (deliquescent point) 자료, water activity 자료들로부터 평형 농도 계산을 하게 된다.

에어로솔과 기체상의 모사는 분석한 이온 농도와 24시간 평균 온도, 습도를 기본 자료로 하여, 수행하였다. 모사는 우선 측정 결과를 바탕으로 평형 농도를 계산하여 모델의 예측 농도와 실측치를 비교하여, 모델의 유효성을 검증하였다. 또한, 측정 결과를 이용하여 에어로솔상의 암모니움 농도의 변환과정을 정량화하여, 해염 성분이 에어로솔의 휘발성 성분에 미치는 영향을 파악하였다. 그 다음으로는 측정된 에어로솔 농도에서 해염 성분을 제거한 에어로솔 농도에 대한 평형 농도를 계산하였다. 해염 성분은  $\text{Na}^+$ 를 기준으로 한 해염 성분의 질량농도의 비로 산출하였다. 해염 성분을 제거하였을 때 농도가 음수가 나올 경우에는 이온성분의 농도를 0으로 간주하고 평형 계산을 수행하였다.

#### 4. 결과 및 검토

그림 1에 PM2.5 와 TSP의 암모니움 예측 농도와 측정에 대하여 나타냈다. 모델로 예측한 암모니움 농

도가 측정 결과와 잘 맞는 것을 알 수 있다. 그림 1에서 TSP의 암모늄 농도가 PM2.5의 암모늄 농도보다 낮다는 점이다. TSP가 PM2.5를 포함한 개념임을 상기하면, 이와 같은 결과는 상식적으로는 납득할 수 없는 결과이며, 측정 오차로 생각하기 쉽다. 그러나 바닷가에서 에어로솔을 측정할 경우, 미세입자의 암모늄 농도와 TSP의 암모늄 농도가 비슷한 정도라는 측정 결과가 보고되었으며, 이런 결과는 기체/에어로솔의 평형에 따른 이동으로 정량적으로 설명할 수 있다.

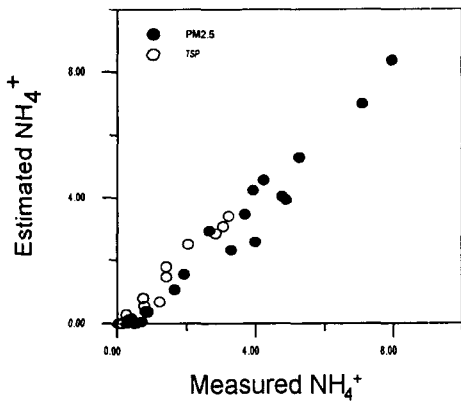


Fig. 1. Scattergram between the estimated and measured ammonium concentrations

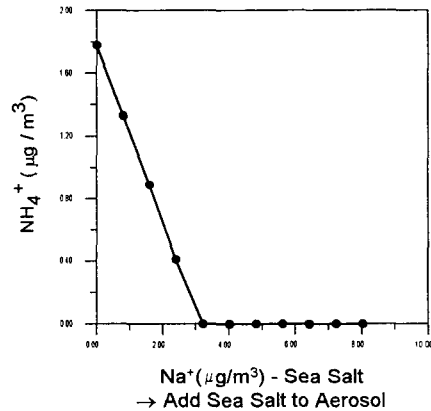


Fig. 2. Effect of sea salt on the ammonium level in TSP (Aug. 1, 1994, Kosan)

즉, 이동된 에어로솔이 조대 크기의 해염 에어로솔과 결합 (대기 중에서나 거름종이 위에서)하게 되면, 이동된 에어로솔에 있는 암모늄 이온이 염기성인 해염성분에 의해 휘발하게 된다. 한편 PM2.5에는 해염 에어로솔의 농도가 조대 에어로솔에 비해 상대적으로 낮기 때문에, 해염 에어로솔의 영향을 적게 받아 암모늄 이온의 휘발도가 낮다. 측정 기간 중 PM2.5와 TSP의 해염에어로솔의 농도의 기준이 되는 나트륨 이온의 평균 농도는 각각 0.5와 5.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 PM2.5에의 해염성분의 영향이 TSP에 비해 매우 낮은 것을 확인할 수 있다.

이를 정량적으로 확인하기 위해 측정된 TSP 농도와 기체 농도에서 나트륨 이온을 기준으로 해염성분의 농도를 점차 줄여 나가며, 평형 농도를 계산한 결과를 그림 2에 실었다. 이 때, 해염에어로솔과 상호 작용을 하기 전의 TSP의 암모늄 이온 농도는 앞에서 설명한대로 PM2.5의 암모늄 농도와 같다고 가정하여 그 값을 사용하였다.

그리 2에서 보듯이 TSP의 해염성분을 조금씩 제거하면, 기체와 평형을 이루고 있는 TSP의 암모늄 이온 농도가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 해염성분을 완전히 제거하였을 때의 TSP의 암모늄 농도는 1.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 PM2.5의 농도와 거의 같은 것을 알 수 있다.

## 사사

이 논문은 한국과학기술연구원의 K-2000 후속연구사업의 지원으로 작성되었습니다. 측정을 해주신 제주대학교, 한국과학기술연구원 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

- 김용표 등 (1996a) 한국대기보전학회지, 12, 79-90.
- 김용표 등 (1996b) 한국대기보전학회지, 12, 91-100.
- Kim, Y. P. and J. H. Seinfeld (1995) Aerosol Sci. Technol., 22, 93-110.
- Kim, Y. P., J. H. Seinfeld, and P. Saxena (1993a) Aerosol Sci. Technol., 19, 157-181.
- Kim, Y. P., J. H. Seinfeld, and P. Saxena (1993b) Aerosol Sci. Technol., 19, 182-198.