

### 3D2)

## 황사 발생 시 강수와 PM<sub>10</sub>의 화학적 특성 고찰

### Study of the Chemical Characteristics for Precipitation and PM<sub>10</sub> for the Asian Dust Periods

김상백 · 조천호 · 김명수

국립기상연구소 지구대기감시센터

#### 1. 서 론

최근 중국 중·북부 내륙지역의 사막화 진행과 함께 우리나라 황사 발생 빈도는 2000년도 이후 증가하는 추세이다. 특히, 2002년 3월에는 매우 강한 황사가 발생하여 초등학교 휴교, 호흡기 질환환자의 급증, 반도체 등 정밀산업 업체의 일시적 공장 가동 중지 등 황사로 인한 피해가 증가되고 있다. 또한, 기후변화의 영향으로 겨울철 강설현상 감소와 겨울철 고온 형상에 의한 토양 수분 감소는 황사 발생 시기의 불규칙성을 초래하여 황사 이동 경로, 황사 강도에 대한 예측을 더욱 어렵게 하고 있다.

현재, 기상청에서는 황사 관측망 확충계획에 따라 2000년부터 안면도, 백령도, 강화, 군산 등 서해안 지역을 중심으로 PM<sub>10</sub> 질량농도 관측망을 확대하여 현재 전국에 27소를 운영하고 있다. 또한, 한반도에 영향을 미치는 황사 발원지와 경유지에도 총 18소를 운영하여 실시간으로 지상 PM<sub>10</sub> 질량농도를 모니터링하고 있다. 그러나, PM<sub>10</sub> 질량농도만으로는 황사 판별에 어려움이 있기 때문에 황사 입자의 크기 특성, 입자크기별 수 농도 특성 등과 같은 물리적 특성, 황사 입자의 산란 및 흡수 특성과 같은 광학적 특성, 그리고 화학적 특성을 종합적으로 고려하는 것이 중요하다.

본 연구는 한반도 서쪽 해안가에 위치하고 있는 안면도에서 관측한 강수와 PM<sub>10</sub> 화학분석 자료를 이용하여 황사 발생 시 강수와 PM<sub>10</sub>의 화학적 특성을 규명함으로써, 황사 판별과 예보의 정확도 향상에 활용될 수 있는 유용한 정보를 제공하는 것을 목적으로 한다. 특히, 황사는 저기압 후면에 강한 북서풍과 함께 유입되며 강수가 동반되는 경우가 많으므로 황사 영향을 받은 강수의 화학 특성 파악도 유용한 정보로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

#### 2. 자료 및 연구방법

본 연구를 위해서, 안면도 지구대기감시센터(3632'N, 12619'E)에서 관측한 강수 및 PM<sub>10</sub> 화학 분석 자료를 활용하였다. 강수 화학분석 자료에는 2004년부터 2006년까지 3년간 발생한 일일강수(당일 9시부터 익일 9시까지의 강수) 시료에 대해서 pH, 전기전도도(EC: Electric Conductivity) 측정 자료와 9개 이온성분 분석 자료(Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, F<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)가 포함되어 있다. PM<sub>10</sub> 샘플은 당일 10시부터 익일 10시까지 24시간 High Volume Sampler를 이용하여 채취되었고, 샘플링 전후의 필터 무게차이를 이용하여 PM<sub>10</sub> 질량농도를 산출하였다. 또한, 이온크로마토그래프(ICS-2000, Dionex사)를 사용하여 강수 화학분석 자료와 같은 9개 이온성분을 분석하였다. 본 연구에서는 2005년부터 2006년까지 2년간의 PM<sub>10</sub> 화학분석 자료를 활용하였다.

황사의 영향을 받은 강수화학 자료의 특성은 황사에 의해 강수의 산성도가 중화되는 점이다. 이는 토양기원 이온성분인 Ca<sup>2+</sup>이 황사 시에 다량 포함되어 있기 때문이다. 따라서, 3년간의 강수화학 자료 중 pH가 일반적인 상황에 비하여 높게 나타난 경우, 이 자료는 황사의 영향을 받은 가능성이 높은 강수로 판단할 수 있고, 이들 자료를 비교분석함으로써 황사에 의한 강수 산성도의 중화능과 Ca<sup>2+</sup>의 역할을 정량적으로 제시하고자 한다. PM<sub>10</sub> 화학분석자료는 2년간의 질량농도 분포를 파악하여 고농도가 발생한 경우와 저농도가 발생한 경우를 비교하여 고농도 발생시 화학특성을 파악하고자 한다.

#### 3. 결과 및 고찰

2004년부터 2006년까지 3년간 발생한 일일강수에 대한 pH percentile분석으로부터 pH 수치의 상위 10%(pH 6.01 이상), 하위 10%(pH 4.02 이하), 중간 30-70%(4.52-5.04)의 범위를 분류하였다. 각각의 범위에 대한 샘플 수는 총 163개의 샘플 중 상위와 하위의 범위는 각각 17개, 중간범위는 64개로 분류되었다. pH 6.01 이상의 범위로 분류된 17개의 샘플은 3, 4, 5월에 10개, 11월에 2개, 6, 9, 12월에 1개가

나타나서 대부분이 봄철에 나타났다. 그림 1은 pH와 잠재적 산성도(pAi: Potential Acidity Index)를 비교하고 있다. pAi는 산성원인물질인  $\text{NO}_3^-$ 와  $\text{nss-SO}_4^{2-}$ 가 중화이온에 의해 중화되지 않고 모두 산성화로 작용했을 때의 수치로  $\text{pAi} = \log_{10}(\text{NO}_3^- + \text{nss-SO}_4^{2-})$ 에 의해 산출된다. pH와 pAi의 차이가 클수록 산성 중화물질에 의한 중화작용이 크게 작용한 것으로 판단할 수 있다. 그 결과 pH 4.02 이하 구간의 샘플의 중화효과가 거의 적용되지 않았음을 알 수 있고, pH 6.01이상의 구간은 pH와 pAi의 수치가 큰 차이를 보이고 있어  $\text{NH}_4^+$ 와  $\text{nss-Ca}^{2+}$ 에 의한 중화효과가 크게 작용한 것으로 판단할 수 있다. 그림 2는  $\text{NH}_4^+$ 와  $\text{nss-Ca}^{2+}$ 에 의한 중화능을 비교하고 있다.  $\text{NH}_4^+$ 와  $\text{nss-Ca}^{2+}$  이온의 중화능(NF: Neutralizing Factor)은 산성원인물질에 대한 각각의 이온농도비로 산출하였다. pH 4.02 이하 구간의 샘플은  $\text{NF}_{\text{NH}_4^+}$ 가 0.6 이하이고  $\text{NF}_{\text{nss-Ca}^{2+}}$ 는 0.4 이하로 비교적 중화능이 낮게 나타났다. 이에 반해 pH 6.01 이상의 샘플은 일부 시료를 제외하면,  $\text{NF}_{\text{NH}_4^+}$ 에 의한 중화능은 pH 4.02이하의 샘플과 유사하지만  $\text{NF}_{\text{nss-Ca}^{2+}}$ 에 의한 중화능이 0.6 이상으로 증가하는 것을 알 수 있다. 지점에 따라서 이러한 수치는 달라 질 수 있지만, 안면도에서  $\text{NF}_{\text{nss-Ca}^{2+}}$ 에 의한 중화능이 0.6 이상이라는 것은 황사 판별에 중요한 정보가 될 수 있을 것으로 생각된다. 그림 3은 2005년부터 2006년까지 2년간의  $\text{PM}_{10}$  화학분석 자료에 대해서 질량농도를  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상(High Mass)과  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하(Low Mass)로 구분하여 High Mass가 발생하였을 때 이온성분농도와 질량농도가 Low Mass의 평균값에 비해 얼마나 증가하였는지를 보여주는 그림이다. 여기서, Low Mass는 어떠한 이벤트도 나타나지 않은 안면도의 배경값으로 판단할 수 있다. 그 결과 질량농도가 급격히 증가하였을 때에는  $\text{Ca}^{2+}$ 이온이 함께 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 경우가 황사의 영향을 받은 날로 판단할 수 있다.  $\text{Ca}^{2+}$ 이온이 아닌,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온이 증가한 경우는 황사 보다는 오염의 영향으로 질량농도가 고농도로 발생한 것으로 판단된다.

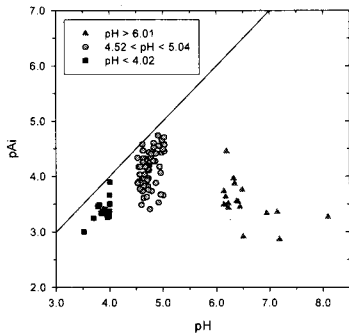


Fig. 1. Comparison pH with pAi.

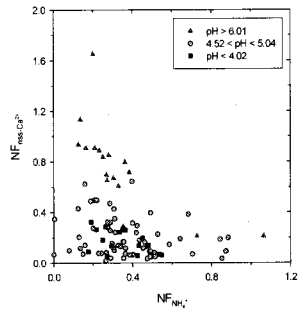


Fig. 2. Comparison  $\text{NF}_{\text{NH}_4^+}$  with  $\text{NF}_{\text{nss-Ca}^{2+}}$ .

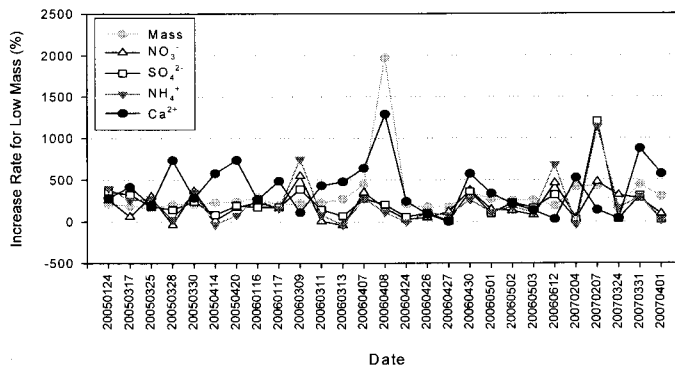


Fig. 3. For concentration of ion and mass, ratio high mass to low mass.