

EA2) 황사시의 먼지특징 및 먼지와 오존과의 관계

The Characteristics of Dust and its relationship with O₃ during the Yellow Sand period

김병곤, 김록호, 유철, 이종철, 김정수, 김상균, 박일수, 정일록, 최덕일
 국립환경연구원 대기물리과

1. 서론

중국이나 몽고에서 발생한 황사는 수천 km를 이동하여 한국, 일본 그리고 멀리 태평양 건너 북미대륙까지 수송될 수 있는 것으로 보고되고 있다. 우리나라에서 관측되는 황사는 주로 고비사막이나 중국 황하유역의 건조지대에서 발생한 먼지바람의 영향을 받는 것으로 파악된다. 황사는 장거리수송되는 과정에 대류권 화학 메카니즘을 변화시키고, 광범위한 영역에 걸쳐 복사체계를 변화시키며 또한 시정장애 등의 불편을 초래하고 있다 (Gao et al., 1992). 특히 황사와 같은 먼지성분은 SO₂나 NO_x와 같은 산성 물질을 흡수하여 황산염이나 질산염으로 산화시킬 수 있는 등 대류권 화학변화에 영향을 주고 있다 (Dentener et al., 1996; Kim and Park, 2001). 그러나 이러한 효과들에 대하여 아직 정량화된 자료와 종합적인 조사결과가 미흡한 실정이다. 고로 본 연구에서는 1999년과 2000년에 관측된 황사사례기간중에 먼지농도의 특징과 먼지와 오존과의 관계 등을 살펴보고자 한다.

2. 연구방법

본 연구는 황사의 전반적인 특징을 살펴보기 위하여 1999년과 2000년에 관측된 뚜렷한 황사사례를 선정하였으며, 먼지와 오존농도자료는 환경부 정규 관측소자료중 황사의 이동방향에 따라서 강화, 서울, 원주, 울릉도의 4개 측정소 자료를 이용하였다. 선정된 각각의 황사사례에 대한 간단한 설명을 표 1에 제시하였다.

Table 1. Brief descriptions of the chosen Yellow Sand episodes.

Given name	Period	Max PM10 concentration ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Dust plume type and shape	Persistence
JS_YS	25-27 Jan. 1999	908 (Seoul) ¹⁾	Distinctive bimodal shape in strong intensity	Almost 3 days
MS_YS	23-24 Mar. 2000	941 (Ulleng)	Bimodal shape in strong intensity	About 1 day
MW_YS	27-28 Mar. 2000	233 (Ulleng)	Bimodal shape in weak intensity	About 1 day
AS_YS	7-8 Apr. 2000	822 (Wonju)	Unimodal shape with a sharp peak	Half a day

¹⁾ Parenthesis represents the site where the maximum hourly concentration of PM10 was observed.

3. 결과 및 고찰

1999년 1월과 2000년 3월과 4월에 관측된 황사시와 비황사시(2000년 3월과 4월의 평상시)의 먼지 농도의 percentile 분포를 그림 1에 제시하였다. 자료의 통일성을 위하여 황사 전후일을 포함하여 사례별로 4일간의 자료를 이용하였다. 먼지농도의 분위수가 50% 이하에서는 황사시와 비황사시에 뚜렷한 차이를 보이지 않았으나, 80% 이상부터 먼지농도가 급격하게 증가하는 것을 알 수 있었다. JS_YS, MS_YS, MW_YS 그리고 AS_YS 사례의 먼지농도의 중간값은 각각 108.5, 54.5, 71.0, 90.5 $\mu\text{g m}^{-3}$ 이었으며, 최대값은 각각 908.0, 696.0, 225.0, 750.0 $\mu\text{g m}^{-3}$ 이었다. 이는 황사기간중에 먼지농도가 상당히 증가하고 있음을 잘 보여주고 있다. 그리고 같은 황사 사례에 대해서도 각 측정소에 따라 먼지농도가 약 10~30%정도의 차이를 보이는 것으로 나타났다.

2000년 3월 23~24일에 관측된 황사기간 (MS_YS)중에 강화와 울릉도 측정소에서 먼지와 오존농도의

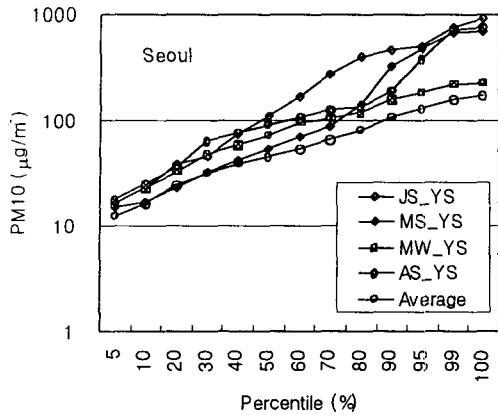


Fig. 1. Percentile distributions of PM10 for each $\mu\text{g m}^{-3}$ in Seoul during the MS_YS episode and that of spring Non-Yellow Sand period.

간에도 오존농도가 감소하였다 ($r_{\text{O}_3\text{-dust}} = -0.64$). 2000년 3월 27~28일에 관측된 상대적으로 강도가 약한 황사기간 (MW_YS)중에 강화와 울릉도 측정소에서의 먼지와 오존농도의 시간변화를 살펴보면 강화의 경우 먼지농도가 크지 않고 오존과의 뚜렷한 상관성도 찾아보기 어려웠다. 반면에 울릉도에서는 먼지와 오존농도가 거의 같은 변화 패턴을 보이고 있음을 알 수 있었다 ($r_{\text{O}_3\text{-dust}} = 0.84$). 2000년 4월 7~8일에 관측된 황사기간 (AS_YS)중에 마찬가지로 강화와 울릉도 측정소에서의 먼지농도변화 경향은 MS_YS와 비슷한 양상을 보였다.

서울의 경우 황사가 통과하면서 먼지농도가 전일에 비해 7배 가량 증가한 반면에 오존과 일사량은 각각 10%와 20%씩 감소하였으며 원주의 경우도 먼지가 10배 가량 증가한 반면에 오존과 일사량이 약 30% 감소하였다. Dentener et al. (1996)은 모델링을 통하여 먼지에 의한 오존의 직접 흡착 (direct uptake)을 조사한 바 있는 데 그 결과 미네랄 에어로졸이 풍부한 경계층 내에서 오존이 약 10%가량 감소할 수 있음을 보인 바 있다.

먼지농도 증가에 따른 오존농도의 변화는 두가지 요인으로 요약될 수 있는데 먼지 부하량의 증가에 따른 일사량 감소로 오존농도가 감소할 수 있으며 오존전구물질이나 오존자체가 먼지에 흡착되어 감소하는 경우를 들 수 있다. 일사가 없는 야간에 먼지 부하량이 증가할 때 오존농도가 역으로 감소하는 것은 먼지표면에 오존과 전구물질들이 흡착되는 증거라 생각된다.

시간변화를 그림 2에 제시하였다. 강화에서는 3월 23일 15시부터 먼지농도가 증가하기 시작하여 20시에 최고치 ($904 \mu\text{g m}^{-3}$)에 이르렀다가 다음날 1시까지 지속된 후 강도가 약해졌으며 다시 4시간 후에 두 번째 먼지 plume이 통과하면서 약 6시간 정도 지속되었다. 이러한 쌍봉형의 먼지 시간변화는 1999년 1월 황사시 먼지농도 시간변화에서도 잘 나타나고 있었다 (Kim and Park, 2001). 반면에 오존농도는 먼지농도 증가시 현저하게 감소하고 있는 것을 알 수 있었다. 첫 번째 plume이 오후시간에 통과했음에도 불구하고 약 20ppb 정도 감소하였으며 두 번째 plume이 통과하는 이른 아침에도 약간 감소하였다 ($r_{\text{O}_3\text{-dust}} = -0.38$). 그리고

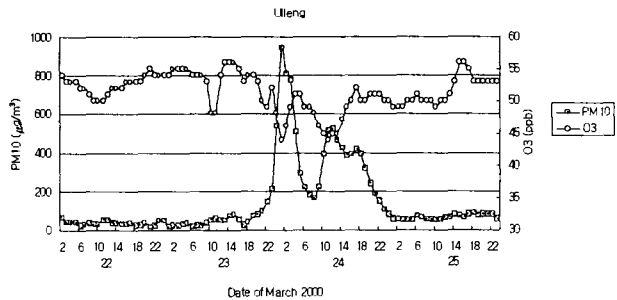


Fig. 2. PM10 and O₃ relationship for the MS_YS episode at Ulleng site.

참고문헌

Dentener, F.G., et al. (1996) Journal of Geophysical Research 101, 22869-22889.
 Gao, Y., et al. (1992) Journal of Geophysical Research 97, 3767-3777.
 Kim, B.-G., and S.-U., Park (2001) Atmospheric Environment 35(18), 3191-3201.