

4A2) 한반도에 유입된 황사의 강도 및 통과량 추정에 관한 연구 A Study on the Estimation of the Intensity and Total Mass of Asian Dust Passed through Korea

송상근 · 김유근 · 정주희
부산대학교 대기과학과

1. 서 론

최근 동아시아의 발원지에서부터 편서풍을 따라 이동해 오는 황사는 중국의 북동부 공업지대에서 방출되는 중금속 오염물질까지 함께 섞여 수송되므로 그 피해는 훨씬 심각하다. 지난 20년 동안 황사에 대한 많은 연구가 발원지의 기원, 수송 및 침적 메카니즘, 그리고 황사의 광학적 특성과 물리적 특성의 정성분석을 중심으로 이루어져 왔다. 이들 연구는 주로 위성, 라이더, 원격탐사 그리고 기타 지표관측 자료를 이용하여 황사의 광학적 두께 및 화학성분 분석, 일기도를 이용한 기상장 분석, 그리고 중규모 기상 모델과 황사 수송 모델을 이용한 황사의 장거리 수송에 집중되어 있었다(정관영과 박순웅, 1997; Murayama et al., 2001). 이러한 황사의 정성분석 이외에도 Arai(1986)는 1981~1983년 동안 일본에서 발생한 황사사례시 대기혼탁도를 이용하여 고도별 황사의 부피 및 그 양을 계산하였다. Chung and Yoon(1996)은 GMS-4 및 NOAA의 위성사진, 조종사보고(PIREP), 대기부유분진량(TSP) 등을 이용하여 1993년 황사사례시 한반도에 유입된 황사의 양을 계산하였으며, 정관영과 박순웅(1998)은 에어로솔 모델을 이용한 한반도 내 황사의 침착량 추정과 모의된 황사의 크기별 분포를 이용하여 발원지에서 먼지보라가 발생할 때 먼지입자의 분포를 논의하였다. 또한 정용승 등(2000)의 연구에 따르면 1997~2000년에 관측된 황사사례시 대기 중 먼지입자의 농도 및 부하량을 계산하였으며, 그 때의 위성과 기상자료, 항공기와 lidar 관측자료 등을 분석하여 황사 주의보와 경보 발령의 필요성을 부각시켰다.

한편 발원지로부터 유입되는 황사의 영향에 있어 적절한 기상조건이 구비되지 않는다면 한반도 상공으로 수송되어 온 먼지입자 역시 하층으로 침적되지 않고 바로 상층을 통과하여 이동하게되므로 지상에서의 먼지농도는 뚜렷한 증가현상을 보기 어렵다. 즉 발원지와 풍하측에서의 종관기상장 패턴과 기상조건에 따라 유입된 황사의 이동경로나 황사강도 및 통과량 등은 선행연구에서 제시된 방법으로 산정된 황사 유입량과는 다소 다르게 나타날 수 있으며, 풍하측에 미치는 영향 또한 서로 다른 특성을 가질 수 있다. 특히 우리나라는 중국 사막 및 고원지대의 배출원 현황을 정확히 모르는 상태이므로 발원지로부터 유입되어 온 황사의 통과량과 수송 및 침적량 등에 대한 정량적인 연구는 상당히 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 중국 발원지에서 한반도로 유입된 황사사례 중 2002년 봄철 및 가을철에 발생한 두 사례에 대해 TOMS 에어로솔 지수 및 대기질 PM₁₀ 농도를 이용하여 황사강도를 추정하고자 하며, 실제 한반도에서의 황사 통과량을 계산하여 수송 모델의 결과와 비교·분석하고자 한다.

2. 자료 및 방법

본 연구에서는 중국 발원지에서 한반도로 유입된 황사의 강도와 통과량을 추정하기 위해 지상 대기질 자료인 PM₁₀ 농도와 주로 운저고도 이상의 자유대기에서 에어로솔(혹은 먼지)의 분포를 알 수 있는 TOMS 에어로솔 지수자료를 이용하였다. PM₁₀ 자료는 한반도 주요대도시인 서울(27개 지점), 대전(10개 지점), 광주(4개 지점), 대구(6개 지점), 부산(9개 지점)의 환경부 산하 대기오염 측정소의 농도 자료를 평균하였으며, 에어로솔 지수는 EP(Earth Probe) 위성의 TOMS에서 관측된 에어로솔 지수값으로서, 먼지와 연기를 동시에 나타내는 +0.7 이상의 값을 적용하였다. 추가로 대기질 농도를 이용하여 나타낸 황사강도를 보다 정확하게 분석하고 이해를 돕기 위해 일본기상청에서 발행한 지상 및 상층의 인쇄일기도를 통한 종관패턴 분석과 NOAA나 SeaWiFS에서 관측한 인공위성 자료 등을 통한 황사의 영향 정도를 살펴보았다.

한편 사례기간 중 한반도로 유입된 황사의 통과량을 추정하기 위해 먼저 한반도 주요도시의 황사 에어로솔 농도, 배경지역 에어로솔 농도, 황사의 공기덩이 두께, 황사 출현기간 등을 구하고 이를 이용하여 발원지에서 풍하측으로 유입되는 황사의 이동거리마다 통과량을 계산한다. 또한 본 연구에서 추정된 결과를 비교·검증하기 위해서 HYPACT(Hybrid Particle And Concentration Transport Model) 모델로부터 얻어진 먼지농도의 분석결과를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3. 1 위성 및 일기도를 통한 황사관측

2002년 3월의 가장 심한 황사와 11월에 발생한 한반도 내 황사사례를 중심으로 SeaWiFS나 NOAA-16에서 관측한 인공위성 자료를 이용하여 황사의 이동경로 및 영향을 분석하였으며, 지상 및 상층 일기도를 이용하여 발원지에서 한반도로 유입되는 황사현상의 종관패턴이나 대기 상층에서 지상부근으로 하향하는 황사의 침적정도를 진단하였다.

3. 2 사례일의 황사강도 추정

Fig. 1은 2002년 3월과 11월 사례의 한반도 주요대도시(서울, 부산, 대구, 대전, 광주)에서 관측된 시간별 PM₁₀ 농도를 황사시와 비황사시에 대해 그 비를 구한 것으로, 이는 황사시의 농도값을 비황사시의 농도값으로 나눈 것이다. 최근 가장 심한 황사사례인 2002년 3월에는 도시별 모두 약 3배 이상의 높은 황사강도를 일정하게 유지하고 있으며, 11월 사례는 대부분 높은 황사강도를 보이지만 특히 서울과 대전에서 약 4~5배로 상당히 높은 황사강도를 나타내었다.

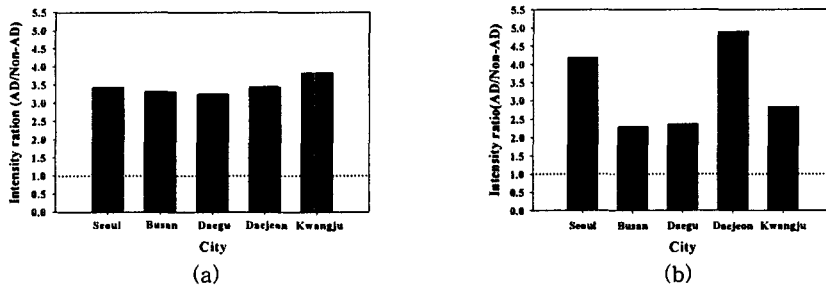


Fig. 1. Intensity ratio of PM₁₀ concentration observed at monitoring sites of major cities on (a) March and (b) November 2002.

3. 3 사례일의 황사통과량 추정

사례기간 중 한반도로 유입된 황사의 통과량을 추정한 결과, 한반도 서쪽지역에 위치한 도시 즉 서울과 대전에서 높은 통과량을 보였으며 황사의 지속시간이 긴 부산지역 역시 높은 값을 나타내었다. 또한 여기서 추정된 계산결과를 검증하기 위해 3차원 수송모델인 HYPACT 모델을 수행하여 각 도시별 먼지 농도를 분석하였다.

사 사

이 연구는 한국과학재단이 지원하는 SRC 기후환경시스템연구센터의 지원으로 이루어졌다.

참고 문헌

- 정관영, 박순웅, 1997, 한반도에서 관측된 황사의 수치모의: I. 분진모델 개발과 기초 수치 실험 결과, 한국기상학회지, 33, 179-198.
- 정관영, 박순웅, 1998, 황사의 크기 및 침착량에 대한 수치 모의, 한국대기보전학회지, 14(3), 191-208.
- 정용승, 김학성, 박기현, 전종갑, 채 수젠, 2000, 1997~2000년에 관측된 황사의 농도와 부하량 및 시정: 위성과 기상 분석, 한국기상학회지, 36(5), 583-600.
- Arao, K., 1986, Volume and mass of yellow sand dust in the air over Japan as estimated from atmospheric turbidity, J. the Meteorol. Soc. of Japan, 64(1), 79-94.
- Chung, Y.S. and M.B. Yoon, 1996, On the occurrence of yellow sand and atmospheric loadings, Atmospheric Environment, 30(13), 2387-2397.
- Murayama, T., N. Sugimoto, I. Uno, K. Kinoshita, K. Aoki, N. Hagiwara, Z. Liu, I. Matsui, T. Sakai, T. Shibata, K. Aro, B.J. Sohn, J.G. Won, S.C. Yoon, T. Li, J. Zhou, H. Hu, M. Abo, K. Iokibe, R. Koga, and Iwasaka, Y., 2001 : Ground-based network observation of Asian dust events of April 1998 in east Asia, J. Geophys. Res., 106(D16), 18345-18359.