

2D2) 2002년 11월 황사의 기상학적 특성 및 강도추정 Meteorological characteristics of Asian dust and estimation of its intensity in November, 2002

송상근·김유근
부산대학교 대기과학과

1. 서론

최근 중국에서 발생한 황사는 대기환경적 및 기후변화 측면에 이르기까지 심각한 피해를 주는 것으로 밝혀지고 있어 더 이상 황사는 동아시아에 국한된 문제가 아닌 전 세계의 환경이슈로 떠오르고 있다. 물론 과거에도 황사에 의한 피해는 계속되어 왔지만 중국 건조지대의 기온 증가, 강수량 감소로 인한 사막화 현상과 삼림감소 등의 영향으로 황사현상의 발생빈도는 증가하고 있으며, 특히 중국의 급속한 경제성장 및 산업화로 인해 배출된 다량의 오염물질이 황사와 섞여 함께 수송되므로 그 피해는 훨씬 심각하다. 황사의 주요 발원지는 높은 고산지대의 풍하측에 위치하고 있어 매우 건조하며 주위의 따뜻한 기압능(warm ridge)의 영향으로 열적 저기압이 자주 형성되어 발달하는 곳이다. 이 저기압은 동진 내지 남동진하여 몽고 남부, 만주지방, 한반도 등을 통과하게 된다. 저기압의 한랭전선 후면에 고기압이 확장하면서 돌풍과 강풍이 발생하고, 이때 건조한 황토는 대류권의 중·하층으로 상승하여 편서풍을 따라 풍하측에 위치한 우리나라와 일본(전종갑 등, 1999; Kim et al., 2001), 심지어 북태평양을 가로질러 북미까지 장거리 수송되기도 하며(Jaffe et al., 1999; Husar et al., 2001), 그 피해정도는 시·공간적으로 상당히 심각한 수준에 이르고 있다.

최근에는 이러한 황사의 발생원인뿐만 아니라 수송, 침적과정과 관련된 기상요소 및 종관기상학적 특성을 비교·분석하는 실질적인 연구방향과 이를 바탕으로 한 황사현상의 장거리수송모델 및 배출량 산정과 관련된 연구 또한 진행되고 있다. 황사는 전 세계적인 환경문제이지만 중국의 발원지와 가까우면서 풍하측에 위치한 우리나라와 일본을 비롯한 동아시아에 가장 큰 영향을 주고 있으므로 이 지역을 중심으로 황사에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 황사가 우리나라로 수송되어오는 기간은 건조기인 봄철(3, 4, 5월)에 주로 발생하나 2002년 11월 사례와 같이 가을에 발생하는 것은 매우 이례적인 현상으로서 황사보고 이래 1991년 11월 30일 서울에서 발생한 이후 두 번째로 기록되었다. 1991년의 경우 그 발생 일수는 4일에 걸쳐 발생하였으나 황사의 영향권이 서울을 포함한 수도권지역에 국한된 반면 2002년 11월 11~12일에 걸친 황사는 단기간이지만 전국적 규모로 넓게 발생하였다. 본 연구에서는 위의 2002년 11월 사례와 관련된 기상학적 특성 및 수송 메커니즘을 분석하고, 또한 중국 발원지 주변도시의 대기오염물질지수(API: Air Pollution Index) 자료와 한반도 주요대도시의 먼지농도자료를 이용하여 황사현상의 특성 및 강도를 추정하고자 한다.

2. 자료 및 방법

본 연구에서는 2002년 11월에 발생한 황사사례를 선택하여 기상학적 특성을 분석하기 위해 일본기상청에서 발행한 지상 및 상층의 인쇄일기도와 NOAA에서 관측한 인공위성 자료 등을 이용하였다. 또한 황사발원지의 대기질 특성을 알아보기 위한 API 자료와 우리나라의 지상부근 황사 영향을 쉽게 관측할 수 있는 PM₁₀ 농도, 운저고도 이상의 자유대기에서 황사의 분포특성을 알 수 있는 TOMS(Total Ozone Mapping Spectrometer) 에어로솔 지수자료를 이용하였다. PM₁₀ 자료는 한반도 주요대도시인 서울(27개 지점), 대전(10개 지점), 광주(4개 지점), 대구(6개 지점), 부산(9개 지점), 강릉(1개지점)의 환경부 산하 대기오염 측정소의 농도 자료를 평균하였으며, 에어로솔 지수는 EP(Earth Probe) 위성의 TOMS에서 관측된 에어로솔 지수값으로서, 먼지와 연기(dust and smoke)를 동시에 나타내는 +0.7 이상의 값을 적용하였다. 아울러 2002년 11월 황사사례시의 기상학적 특성을 보다 명확하게 이해하고 그 강도를 추정하기 위하여 주요대도시의 API, 먼지농도, 기상요소(수평풍속, 지위고도, 잠재와도 등) 등을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3. 1 발원지에서 관측된 황사현상

2002년 11월에 발생한 한반도 내 황사사례를 중심으로 NOAA-16에서 관측한 인공위성 자료를 이용하

여 황사의 이동경로 및 영향을 분석하였으며 중국 발원지 주변도시의 API를 이용하여 황사의 발생현황을 조사하였다.

3. 2 사례일의 종관기상 패턴분석

사례일의 일기도를 분석한 결과, 2002년 11월 사례는 기존의 봄철사례와 상당히 유사한 패턴이었다. 즉 한반도의 상층에 강한 제트류와 함께 기압골이 위치하고 점차 발달된 기압골의 좌측부분으로 한랭이류(cold advection)에 의한 하강기류가 발생하며, 지표 부근에서는 한반도 우측의 저기압 세력을 따라 대륙성 고기압이 한반도를 향하여 확장되는 종관기상 패턴을 나타낸다. 이러한 기압골의 발달 및 이동경로에 따라 한반도 지상에서의 황사강도는 크게 차이를 알 수 있다.

3. 3 사례일의 먼지농도분석

Fig. 1a는 2002년 11월 가을황사 사례일의 한반도 주요대도시(서울, 부산, 대전, 광주, 대구, 강릉)에서 관측된 시간별 PM₁₀ 농도의 평균값과 시정을 나타낸다. 11일 오후부터 증가하고 있는 PM₁₀ 농도는 11일 밤과 12일 새벽에 가장 높은 농도(약 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)를 나타내고 있는데 이러한 야간의 고농도 현상은 기존의 황사사례와는 다른 특성을 나타낸다. 이는 그때의 풍속을 포함한 기상조건에 따른 원인으로 예상할 수 있다. 그리고 12일 저녁부터는 황사의 소멸로 인한 농도감소로서 약 100~150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도의 일정한 농도값을 유지하고 있다. Fig. 2b는 11월 사례시 한반도 주요대도시에서 황사시/비황사시의 비를 나타낸 것으로, 황사시의 농도값을 비황사시의 농도값으로 나눈 값이다. 대부분 도시에서 높은 황사강도를 보이고 있으며 특히 서울과 대전에서 가장 높은 황사강도를 나타내음을 알 수 있다.

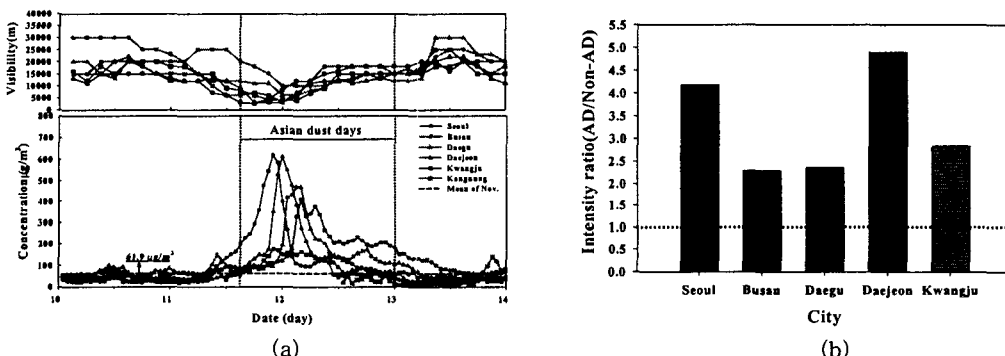


Fig. 1. Hourly surface concentration of particulate matter (PM₁₀) and visibility(a), intensity ratio(b) observed at monitoring sites in major cities on 10-13 November 2002.

감사의 글

이 연구는 한국과학재단이 지원하는 SRC 기후환경시스템연구센터의 지원으로 이루어졌다.

참고 문헌

- 전종갑, 예상욱, 권민호, 정용승, 1999 : 황사의 장거리 수송과 관련된 대기 순환 유형의 분류, 한국기상학회지, 35(4), 575-586.
- Husar, R.B., D.M. Tratt, B.A. Schichtel, S.R. Falke, F. Li, D. Jaffe, S. Gasso, T. Gill, N.S. Laulainen, F. Lu, M.C. Reheis, Y. Chun, D. Westphal, B.N. Holben, C. Gueymard, I. McKendry, N. Kuring, G.C. Feldman, C. McClain, R.J. Frouin, J. Merrill, D. DuBois, F. Vignola, T. Murayama, S. Nickovic, W.E. Wilson, K. Sassen, N. Sugimoto, and W.C. Malm, 2001, Asian dust events of April 1998. *J. Geophys. Res.*, 106(D16), 18137-18330.
- Jaffe, D.A., and Coauthors, 1999, Transport of Asian air pollution to North America. *Geophys. Res. Lett.*, 26, 711-714.
- Kim, Y.K., H.W. Lee, Y.S. Moon, S.K. Song, 2001, Long-range transport mechanisms of Asian dust associated with the synoptic weather system. *Environmental Sciences*, 10(S-4), 197-206.