

PA14 2002년 3월 황사 사례시의 장거리수송 메카니즘과 지표 대기질 특성분석

김유근, 송상근, 우경은*, 정주희, 강태훈
부산대학교 대기과학과

1. 서 론

황사는 전 세계적인 환경문제이지만 중국의 발원지와 가까우면서 풍하층에 위치한 우리나라와 일본을 비롯한 동아시아에 가장 큰 영향을 주고 있으므로 이 지역을 중심으로 한 황사연구가 활발히 진행되고 있으며, 또한 중국의 북동부 공업지대에서 방출되는 중금속 오염물질까지 함께 섞여 수송되므로 그 피해정도는 과거보다 훨씬 심각하다. 따라서 지난 20년 동안 황사에 대한 많은 연구가 발원지의 기원, 수송 및 침적 메카니즘, 그리고 황사의 광학적 특성과 물리적 특성의 분석을 중심으로 이루어져 왔다. 이들 연구는 주로 위성, 라이다, 원격탐사, 그리고 기타 지표관측자료를 이용하여 황사의 광학적 두께 및 화학성분 분석과, 일기도를 이용한 기상장 분석, 그리고 중규모 기상 모델과 수송 모델을 이용한 황사의 장거리 수송과정에 집중되어 왔다(정관영과 박순웅, 1998; 전종갑 등, 1999; Chun et al., 2001; Kim et al., 2002; In and Park, 2002).

과거의 이러한 연구는 황사의 기원, 이동경로, 수송과정 등을 이해하고 또한 풍하층 지역의 오염도를 진단하는데 많은 도움을 주어 왔지만, 수십 년 동안 장기적인 황사의 특성연구보다는 대부분 특정사례를 중심으로 한 연구에 국한되어 있고 모델을 통한 수치모의 연구에 있어서도 배출량 및 입력자료의 한계로 많은 어려움을 안고 있다. 특히 우리나라는 중국 사막 및 고원지대의 기상 및 대기질 현황을 정확히 모르는 상태이므로 발원지로부터 유입되어 온 황사의 수송 및 침적량 등에 대한 정량적인 연구는 상당히 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 최근 한반도에 가장 극심했던 2002년 3월 21~23일 사례를 대상으로 황사의 기상학적 특성 및 장거리수송 메카니즘을 이해하고 이때 지표 대기질에 미치는 황사현상의 영향을 정량적으로 분석하고자 한다.

2. 자료 및 연구방법

본 연구에서는 2002년 3월 21~23일 사례시 황사의 장거리수송 메카니즘과 그 영향지역 대기 상·하층의 대기질 특성을 정량적으로 분석하기 위하여 지상 및 상층 일기도, 기상장 모델의 결과자료, GTS 기상전문 코드자료, PM10 농도 및 TOMS 에어로솔 지수 자료, 그리고 수송모델의 결과자료 등을 이용하였다. PM10 농도는 한반도 주요 대도시인 서울(27개 지점), 대전(3개 지점), 광주(4개 지점), 대구(6개 지점), 부산(9개 지점), 강릉(1개 지점)의 환경부 산하 대기질 측정소에서 수집된 자료이며, 각 도시에 따라 전 관측지점과 시간별 평균자료를 이용하였다. 아울러 기상장 모델의 초기 입력자료

는 NCEP에서 제공하는 대상일의 전지구 재분석자료(GDAS 자료)를 이용하였으며, 대상영역은 위도 20~60°N, 경도 80~150°E이고, 수평으로 202×135 격자로 30 km의 해상도와 연직으로 40개의 층을 가진다. 수치모의된 기상요소로는 수평 및 연직 풍속, 연직 기온과 온위, 그리고 등온위면 위치소용돌이도(IPV: Isentropic potential vorticity) 등이 다. 또한 수송모델은 먼지의 배출 및 수송, 난류 및 침적과정 등을 포함한 3차원 라그랑지안 모델로서 동아시아 황사의 장거리수송 메카니즘의 수치모의 및 정량분석을 위하여 수행하였다.

3. 연구 결과

3.1 기류분석에 의한 황사수송

본 사례시 후방궤적의 기류흐름을 통한 황사의 장거리수송 메카니즘을 분석한 결과, 발원지에서 부유된 황사는 편서풍을 타고 한반도 쪽으로 이동하다가 중국 동해안 부근에서 한반도 지상부근으로 수평 수송 및 하향수송이 동시에 나타난 것으로 분석된다. 이때 다량의 먼지입자가 이 기류를 따라 한반도로 유입되었음을 예상할 수 있다.

3.2 대기 연직구조에 따른 황사수송

대기 상·하층의 연직구조와 관련된 황사의 수송 및 침적 메카니즘을 이해하기 위해 지상 및 상층 일기도를 이용한 종관기상장 분석과 모델을 이용한 기상요소의 수치모의를 수행하였다. 대기하층에서는 한반도 동쪽의 저기압 세력을 따라 대륙성 고기압이 확장하거나 이동성 고기압의 영향을 받을 때, 대기 상층에서는 강한 제트류와 함께 기압골이 위치하고, 이러한 상층 기압골의 남하와 한랭이류(cold advection)로 인한 하강기류가 존재할 때 황사의 발생 및 수송이 가장 빈번한 것으로 나타났다. 아울러 수치모의된 지위고도와 등온위면 위치소용돌이도 등의 분석을 통해 발원지에서의 발생, 한반도로의 수송, 한반도 대기 상층에서 하층으로의 침적과정을 재확인할 수 있었다.

3.3 황사발생시 대기질 특성

Fig. 1은 2002년 3월 황사 사례일의 한반도 주요 대도시(서울, 부산, 대전, 광주, 대구, 강릉)에서 관측된 시간별 PM10 농도의 평균값과 시정을 나타낸다. 21일 오전부터 증가하고 있는 PM10 농도는 21일 정오에서 23일 오전까지 가장 높은 농도(실제 약 2700 $\mu\text{g m}^{-3}$ 인데 기기의 한계로 인해 약 1000 $\mu\text{g m}^{-3}$ 정도로 기록)를 나타내고 있는데, 이러한 야간의 고농도 현상은 기존의 황사사례와는 다소 다른 특성을 나타내며, 그때의 풍속을 포함한 기상조건에 따른 원인으로 예상할 수 있다. 그리고 23일 오후부터는 황사의 소멸로 인한 농도감소로서 약 100~150 $\mu\text{g m}^{-3}$ 정도의 일정한 농도값을 대부분 유지하고 있다. 아울러 황사 사례일의 높은 PM10 농도와 시정거리와의 관계는 대부분 음의 상관관계를 나타내고 있는데, 특히 3월 21일 늦은 오후를 기점으로 다음 날 오후까지 약 1000 $\mu\text{g m}^{-3}$ 이상의 높은 농도에서의 시정거리는 5 km 미만으로 상당히 혼탁한 대기상태를 나타낸다.

한편, TOMS 에어로솔 지수의 공간분포의 분석을 통하여 타클라마칸 사막보다는 고비사막이나 황토고원에서 황사가 기원되었음을 알 수 있었고, 발생당일인 3월 21일에는

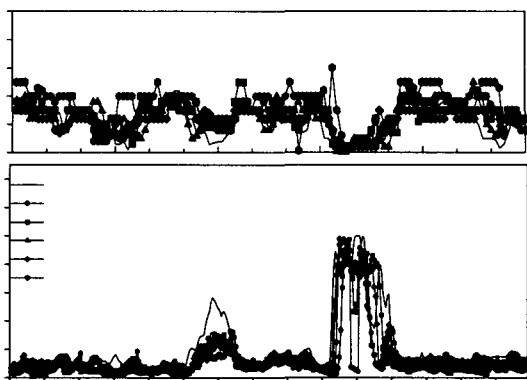


Fig. 1. Hourly surface PM₁₀ concentrations and visibility observed at monitoring sites in major six cities in Korea for 12-26 March 2002.

중국 동해안을 중심으로 한반도까지 폭넓게 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 2002년 가장 극심했던 사례를 중심으로 황사의 장거리수송의 메카니즘과 그 영향을 중관기상장 분석 및 수치모의 수행을 통해 진단하였다. 즉 지상부근의 저기압 세력의 후면을 따라 확장하는 찬 대륙성 고기압과 상층의 강한 기압골영향, 한랭이류로 인한 하강기류의 존재가 황사수송에 중요한 인자임을 알 수 있었다. 또한 황사의 수송 및 침적과정에 따른 그 영향은 위성자료인 TOMS 에어로솔 지수와 실제 지상에서 관측되고 있는 PM₁₀ 농도(최고농도는 환경기준치의 18배인 약 2700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도)의 공간분포 및 시간변화 분석을 통해 확인되었다.

감사의 글

이 연구는 한국과학재단이 지원하는 SRC 기후환경시스템연구센터의 지원으로 이루어졌다.

참 고 문 헌

- 전종갑, 예상욱, 권민호, 정용승, 1999: 황사의 장거리 수송과 관련된 대기 순환 유형의 분류, 한국기상학회지, 35(4), 575-586.
- 정관영, 박순용, 1998: 황사의 크기 및 침착량에 대한 수치모의, 한국대기보전학회지, 14(3), 191-208.
- Chun, Y., K.O. Boo, J. Kim, S.U. Park, M. Lee, 2001: Synopsis, transport, and

- physical characteristics of Asian dust in Korea. *J. Geophys. Res.*, 106, 18461-18469.
- In, H.J., and S.U. Park, 2002: A simulation of long-range transport of Yellow Sand observed in April 1998 in Korea, *Atmos. Environ.*, 36, 4173-4187.
- Kim, Y.K., H.W. Lee, J.K. Park, and Moon, Y.S., 2002: The stratosphere-troposphere exchange of ozone and aerosols over Korea, *Atmos. Environ.*, 36, 449-463.