

3D1) 동북아시아 황사발생시 배출량 산정방법 연구 및 수치모의 Methods of emission estimation of Asian dust and its numerical simulation in East Asia

김유근 · 송상근 · 문윤섭¹⁾ · 정주희
 부산대학교 대기과학과, ¹⁾기상연구소 국가지정연구소

1. 서 론

황사는 중국의 발원지와 가까우면서 풍하측에 위치한 우리나라와 일본을 비롯한 동북아시아에 가장 큰 영향을 주고 있으므로 이 지역을 중심으로 황사에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근 중국 건조지대의 기온 증가, 강수량 감소로 인한 사막화 현상과 삼림감소 등의 영향으로 황사현상의 발생빈도는 계속 증가하고 있으며, 특히 중국의 급속한 경제성장 및 산업화로 인해 배출된 다량의 오염물질이 황사와 섞여 함께 수송되므로 그 피해는 훨씬 심각하다. 현재 이러한 황사의 발생원인뿐만 아니라 수송 및 침적과정과 관련된 기상요소 및 중관기상학적 특성을 비교·분석하는 실질적인 연구방향과 이를 바탕으로 한 황사현상의 장거리수송모델 및 배출량 산정과 관련된 연구 또한 활발히 진행되고 있다.

황사 배출량과 관련된 선행연구로, Tegen and Fung(1994)은 식생 분포 정도, 토양 수분 함유, 그리고 지상 풍속의 함수를 모델에 적용하여 배출량 산정에 기여한 바 있으며, 또한 토양 내 입자의 크기, 지표 거칠기, 지표 습도 등을 임계마찰속도의 함수로 선정하여 이를 수치모델에 적용시켜 배출량을 산정하기도 하였다(Chang et al., 1996; Wang et al., 2000; Ginoux et al., 2001). Yaping(2000, 2001)은 발원지의 정확한 입자분포를 계산하여 최종 먼지량을 산정하는 것이 보다 정확한 황사 발생량을 예측하기 위한 중요한 요소라고 밝힌 반면, In and Park(2002)은 식생분포가 배출량 산정에 보다 중요한 영향을 준다고 발표했다. 즉 황사의 발생, 수송, 침적과정 등을 규명하기 위한 기존의 연구와 병행하여 발원지의 배출량 산정에 대한 정확한 분석 또한 중요하게 인식되고 있음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 선행연구에서 제시된 배출량 산정식을 이용하여 황사의 발원지에서의 배출량을 직접 산정해보고 각각의 결과를 인공위성 영상 및 원격탐사 자료와 비교한 후 가장 적합한 배출량 산정방법을 알아보고자 하였으며, 아울러 배출량 산정에 있어 가장 크게 영향을 미치는 주요인자를 추정하여 이를 수송모델에 적용시키고자 한다.

2. 자료 및 연구방법

본 연구는 2002년에 발생한 황사 사례일을 중심으로 선행 연구된 배출량 계산식을 이용하여 배출량을 산정하였으며, 그 결과를 위성 및 원격탐사 자료와 비교·분석한 후 배출량 산정에 영향을 미치는 주요인자를 추정하였으며 이를 수치모의를 수행하여 비교하였다. 배출량 식은 Wang et al.(2000)에 의해 생성된 식과 수송모델인 GOCART와 DEAD 모델의 계산식을 선택하였으며, 수평해상도의 격자 간격은 30km×30km이다. 또한 본 연구에서는 격자별 임계마찰속도를 평균값으로 적용하지 않고 Wang et al.(2002)의 연구를 참고하여 격자별 임계마찰속도를 0.6 m s⁻¹로 두고 계산하여 최종 배출량 산정식을 구축하였다. 식 (1)은 Wang et al.(2000)에 의해 소개된 배출량 식으로, C₁은 토양의 종류에 따른 가중치, C₂는 경험상수, u*_{i,j,l}는 마찰속도, u*_{0,i,j,l}는 임계마찰속도이며, W_{i,j,l}는 습도 인자, R_{i,j,l}은 입자크기에 따른 인자이다. 식 (2)는 Ginoux et al.(2001)의 GOCART 모델의 식으로, C는 상수이며, S는 원천 함수, s_p는 입자크기에 따른 인자, u_t는 임계마찰속도, u_{10m}는 10m에서의 풍속을 나타낸다. 식 (3)은 Zender et al.(2002)의 DEAD 모델의 식으로 c_s는 상수이며, ρ는 대기밀도, u*는 마찰속도, g는 중력, u*_t는 임계마찰속도이다.

$$Q_{i,j,l} = C_1 C_2 u_{i,j,l}^*{}^2 (1 - u_{0,i,j,l}^* / u_{i,j,l}^*) W_{i,j,l} R_{i,j,l} \quad (1)$$

$$F_p = CS s_p u_{10m}^2 (u_{10m} - u_t) \quad (2)$$

$$Q_s = \frac{c_s \rho u_*^3}{g} \left(1 - \frac{u_{*t}}{u_*}\right) \left(1 + \frac{u_{*t}}{u_*}\right)^2 \quad (3)$$

3. 연구 결과

Fig. 1은 GOCART 모델의 계산식을 이용하여 2002년 4월의 황사 발생기간 중 4월 7일 0500 UTC의 배출량 분포 및 같은 시간의 인공위성 영상자료를 나타낸다. 실제 모의한 배출량 분포지역은 고비사막, 내몽골 및 북만주 부근으로서 인공위성 영상과 비교시 대부분 정확하게 추정하고 있으며, 또한 여기에서는 제시되지 않았지만 TOMS Aerosol Index와 비교한 결과 위성영상에서는 구름에 가려져 나타나지 않는 황토고원의 발생분포 역시 유사하게 추정되었다.

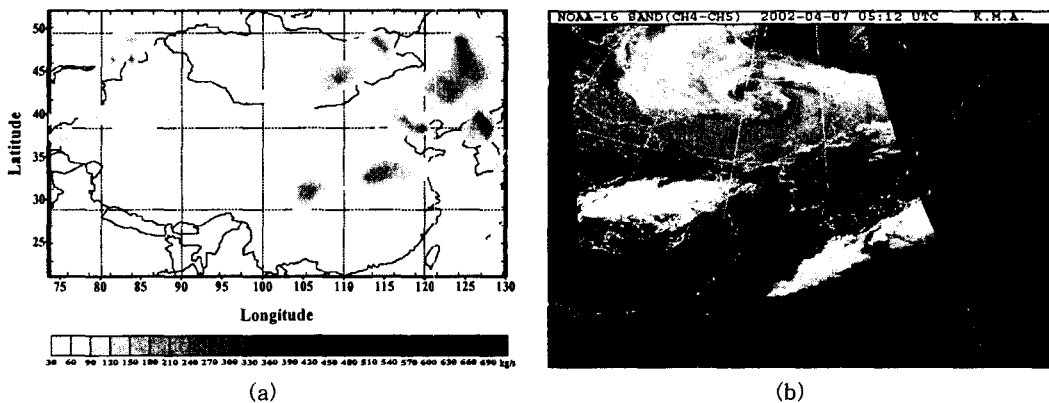


Fig. 1. Distribution of (a) dust emission using GOCART model and (b) satellite image at 0500 UTC on April 7, 2002.

감사의 글

이 연구는 한국과학재단이 지원하는 SRC 기후환경시스템연구센터의 지원으로 이루어졌다.

참고 문헌

- Chang, Y. S., R. L. Arndt, and Carmichael, G. R., 1996, Mineral base-cation deposition in Asia, *Atmos. Environ.*, 30(13), 2,417-2,427.
- Ginoux, P., M. Chin, I. Tegen, J.M. Prospero, B. Holben, O. Dubovik, and S.J. Lin, 2001, Sources and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model, *J. Geophys. Res.*, 106(D17), 20,255-20,273.
- In, H.J., S.U. Park, 2002, A Simulation of long-range transport of Yellow Sand observed in April 1998 in Korea, *Atmos. Environ.*, Vol. 36, 4,173-4,187.
- Tegen, I., and I. Fung, 1994, Modeling of mineral dust in the atmosphere: Sources, transport and optical thickness, *J. Geophys. Res.*, 99(D11), 22,897-22,914.
- Terada, H., H. Ueda, and Z. Wang, 2002, Trend of acid rain and neutralization by yellow sand in east Asia - a numerical study, *Atmos. Environ.*, 36, 503-509.
- Wang, Z., H. Ueda, and M. Huang, 2000, A deflation module for use in modeling long-range transport of yellow sand over East Asia, *J. Geophys. Res.*, 105(D22), 26,947-26,959.
- Yaping Shao, 2000, A simple expression for wind erosion threshold friction velocity, *J. Geophys. Res.*, 105(D17), 22,437-22,443.
- Yaping Shao, 2001, A model for mineral dust emission, *J. Geophys. Res.*, 106(D17), 20,239-20,254.
- Zender, S. Charlse, B. Huisheng, N. David, 2002, The mineral Dust Entrainment And Deposition(DEAD) model: Description and 1990's dust climatology.