

2B5)

먼지 입자의 비산과 수송에 대한 수치모사

Simulation of Entrainment and Transport of Dust Particles

박성훈 · S.L. Gong¹⁾ · T.L. Zhao¹⁾ · R.J. Vet¹⁾ · V.S. Bouchet¹⁾ · W. Gong¹⁾

P.A. Makar¹⁾ · M.D. Moran¹⁾ · C. Stroud¹⁾ · J. Zhang¹⁾

순천대학교 토목환경공학부, ¹⁾Air Quality Research Division, Environment Canada

1. 서 론

사막지역에서 바람에 의해 비산되는 먼지 입자들은 대기중 에어로졸의 주요 성분 가운데 하나로서 총 에어로졸 질량 부하량 및 광학두께에 미치는 영향이 크다. 또한 먼지 입자는 태양광을 산란·흡수하거나 구름 형성 과정에 관여함으로써 직간접적으로 기후변화에 기여하기도 한다. 따라서 먼지폭풍을 정확하게 예측하는 일은 대기질 및 기후변화 연구에서 중요한 역할을 한다.

먼지폭풍 예측에서 가장 어려운 과정은 기상학적 조건과 토양의 상태로부터 입자크기별 먼지발생량을 정확하게 매개변수화하는 일이다. 본 연구에서는 현재 널리 사용되고 있는 두 가지 먼지 발생 모델을 사용하여 2001년 4월 미국 남서부 지역에서 발생한 "Red Dust Episode"를 수치모사함으로써 두 모델을 비교평가하였다. 또한, 보다 정확한 먼지 발생 예측을 위해서는 어떤 매개변수에 대한 정확한 추정이 요구되는지 알아보기 위하여, 모델에 사용된 매개변수들에 대한 민감도분석을 실시하였다. 최적화된 모델을 사용하여 Red Dust Episode 기간중에 관측된 예외적으로 빠른 먼지폭풍의 수송이 대기질 모델링에 의해 잘 묘사되는지 살펴보았다.

2. 연구 방법

먼지 발생 모델은 Marticorena and Bergametti(1995)와 Alfaro and Gomes(2001)에 의해 개발된 "MBA scheme"과 Shao(2001)에 의해 개발된 "Shao scheme"을 사용하였다. 발생한 먼지 입자의 대기중 거동을 묘사하기 위한 대기질 모델은 Environment Canada의 지역규모 대기질 모델인 AURAMS(A Unified Regional Air-quality Modelling System)를 사용하였다. AURAMS의 수평격자간격은 42km였고, 28개의 불균일 연직격자가 사용되었다.

3. 결과 및 고찰

두 가지 인공위성 관측(TOMS aerosol index, GOES-10 brightness temperature difference) 결과를 모델 예측결과와 비교한 결과, MBA scheme과 Shao scheme 모두 먼지 발생의 시공간 분포를 비교적 정확하게 예측하는 것으로 나타났다. 먼지 발생원 지역에 위치한 두 곳의 관측소와 풍하지역에 위치한 다섯 곳의 관측소에서 에피소드 기간중에 측정된 PM₁₀ 역시 모델 예측결과와 비교하였다. 에피소드 기간중에 두 차례의 큰 먼지발생이 있었는데, 그 영향이 발생원 지역에 있는 관측소에서는 매우 부정확하게 예측된 반면, 풍하지역 관측소에서는 훨씬 정확하게 예측되었다. 먼지 발생원 지역에 여러개의 점발생원이 있을 경우, 수송 과정에서 먼지구름들이 서로 합쳐지면서 개별 발생원의 영향이 풍하지역으로 갈수록 희미해진다는 보고가 있었는데(Uno et al., 2006), 본 연구의 결과도 이런 현상을 보여주었다.

먼지 발생 모델 매개변수들에 대한 민감도 분석 결과, 먼지 발생원 지역에서의 부정확한 먼지농도 예측의 가장 큰 원인은 토양 수분함유량의 부정확한 추정인 것으로 나타났다. 토양 모래의 크기분포 또한 입자크기별 먼지 발생량에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 발생원 지역에서의 보다 정확한 먼지농도 예측을 위해서는 현장에서의 직접 측정이나 인공위성을 이용한 원격측정, 더 신뢰할 수 있는 추정 기법 등을 사용하여 이들 매개변수들의 추정에 대한 신뢰도를 높이는 것이 중요한 것으로 보인다.

한편 본 연구는 Red Dust Episode 기간에 관측된 매우 빠른 먼지 폭풍 이동 속도의 원인을 규명해보고자 하는 취지에서 시작되었다. 미국 남서부와 멕시코 간의 국경지대에서 발생된 붉은빛의 먼지입자들이 약 24시간 후에 북미 동부 지역에 위치한 캐나다 온타리오와 퀘벡, 미국 펜실베이니아주에 있는 강우 샘플에서 검출되었다. 이렇게 빠른 먼지입자의 수송은 발생한 먼지를 맨아래층 격자에 위치시키는 기존의 모델로는 설명되지 않았다. Forward Trajectory 분석에 따르면, 발생원 지역에서 지상 3km 높이 이상으로 운반된 먼지입자들만이 24시간 내에 온타리오 지역에 도달할 수 있었던 것으로 나타났으며, 당시 관측된 기상조건은 모래 폭풍이 지표면으로부터 지상 5km 높이까지 분포될 수 있었음을 보여주었다. 이 결과는 Red Dust Episode 기간중에 관측된 빠른 먼지 폭풍 이동 속도는 현 수평격자 간격으로는 고려할 수 없는 sub-grid-scale convection에 의한 것임을 암시하고 있다. 따라서, sub-grid-scale convection을 적절하게 매개변수화하여 대기질 모델에 적용할 수 있다면 모래폭풍의 원거리 수송을 보다 정확하게 예측하는 데 크게 도움이 될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- Alfaro, S.C. and L. Gomes (2001) Modeling mineral aerosol production by wind erosion: Emission intensities and aerosol size distributions in source areas, *J. Geophys. Res.*, 106, 18075-18084.
- Marticorena, B. and G. Bergametti (1995) Modeling the atmospheric dust cycle. Part 1: Design of a soil-derived dust emission scheme, *J. Geophys. Res.*, 100, 16415-16430.
- Uno, I., Z. Wang, M. Chiba, Y.S. Chun, S.L. Gong, Y. Hara, E. Jung, S.-S. Lee, M. Liu, M. Mikami, S. Music, S. Nickovic, S. Satake, Y. Shao, Z. Song, N. Sugimoto, T. Tanaka, and D.L. Westphal (2006) Dust model intercomparison(DMIP) study over Asia: Overview, *J. Geophys. Res.*, 111, D12213, doi:10.1029/2005JD006575.