

3A6) 황사 발생기구 및 발생량에 관한 연구

Study of Occurrence Mechanism and Emissions of Yellow Sand

박일수 · 김영성 · 김철희¹⁾ · 최용주 · 이종재¹⁾

한국의국어대학교 황사 및 장거리이동 오염물질 연구센터

¹⁾부산대학교 지구환경시스템학부

1. 서 론

황사의 발생은 발원지에서의 기상 조건뿐만 아니라 지표 조건을 비롯한 여러 상황에 따라 달라진다. 황사 발원지에서의 기후 조건, 예를 들어 지표의 건조도 및 강수량에 의해 좌우되며, 또한 지표에서의 식생 등에 의해서도 달라진다. 발원한 황사가 우리나라까지 이동하기 위해서는 황사가 부유할 수 있는 강한 바람과 함께 부유된 입자가 수송될 수 있는 적합한 기상 조건이 갖추어져야 한다. 한반도를 기준으로 황사를 연구할 때에는 황사의 기상장에 의한 이동도 중요하게 되는데 이 때 발원한 황사가 수송하여 한반도에 도착하는 데 걸리는 시간은 상층 기류의 속도, 발원지의 위치 등에 따라 결정되며 그 고도는 약 3~7km 정도 된다.

황사 발원지에서 배출되는 황사의 양을 100%라 할 때, 보통 30%는 발원지에서 재 침적되고, 20%는 주변 지역으로 수송되며, 50%는 장거리 수송되어 한국, 일본, 태평양 등에 침적되어 그 영향을 미친다고 알려져 있다(Husar et al., 2001). 그러나 발원지에서 부유하여 우리나라에 수송되는 황사의 양은 발원지에서의 지표 상태, 기상 조건에 따라 매우 다르게 나타난다. 우선 황사 발원지를 자연 지리적 측면에서 크게 3 구역(동부 계절풍 지역, 서북 건조 지역과 한랭 지역)으로 구분해 볼 때 황사의 발원지는 서북 건조지대가 그 기원이 된다. 서북 건조 지대는 중국의 30% 이상을 차지하며 우리나라의 최대 황사 발원지로 분류되는 중국과 몽고의 사막지역(타클라마칸, 바나인자단, 고비지역)을 포함한다. 그 중 타클라마칸 사막은 타림분지의 중서부에 위치한 중국 최대의 사막지역으로서 중국 사막의 약 52%를 차지한다. 총 면적이 약 330,000km²(동서로 약 1,000km, 남북으로 400km)로서 사막의 유동 모래언덕이 주로 남북으로 배열되어 있고 모래언덕의 고도가 보통 100~150m로 매우 높아 강한 바람에 의해 쉽게 상승할 수 있는 조건을 가지고 있다. 북부 사막지역인 고비사막도 중국의 최고 건조 지역 중 하나로서 연 강수량이 30mm에 불과하고 바람도 매우 강한 지역으로서 우리나라에 황사의 영향을 미칠 수 있는 주요 발원지로 분류된다. 그 외에도 텐켈 사막, 바나인자단 사막 등이 있으며 이 지역의 연평균 강수량은 보통 400mm이하로서 중국에서의 황사 발생이 대부분 중국의 이러한 건조 사막을 기원으로 한다.

우리나라에 근접한 발원지로는 만주와 황하중류의 황토지대(황토고원)를 들 수 있는데 타클라마칸 사막은 한반도로부터 멀리 떨어져 있어(5,000km이상) 거리상 그 영향이 적은 반면 만주 및 황토 고원에서 발원하는 경우는 매우 드문 편이지만 한반도에 가장 근접한 발원지로서 발원 시 가장 빨리 우리나라에 영향을 줄 수 있는 특징이 있다. 이러한 황사 발원지를 토대로 본 연구에서는 발원지별 황사 발생 기구 및 발생량에 대한 기초연구를 수행함으로써 황사 발생 및 그 영향 연구를 위한 기반을 구축하고자 한다.

2. 연구 방법

발원지에서 황사 발생 기구를 규명하기 위해 전 지구 원거리 통신시스템(GTS) 자료를 이용하여 황사 발생 빈도 및 황사 발생 동안 기상 자료를 분석(기온, 노점온도, 기압, 강수량, 구름, 풍속)하였다. 또한 황사 발생 직후 황사 일기도를 분석하였다.

황사 발원지에서 발생량은 발원지별로 구성되는 토양 특성과 종류를 세분하여 발원지별로 임계마찰속도를 경험적으로 추정하여 산정하였다(In and Park, 2003). 또한 황사 발생 사례별로 황사 발생량 공간

분포를 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

2001년~2006년간의 GTS 자료를 기초로 황사 발원지별로 dust 발생 빈도수(%)를 조사해 본 결과 타클라마칸 지역이 평균 8.1%로서 많은 양의 dust를 발생시키고 있었고 다음으로 고비사막지역 1.5%, 황토고원 지역 0.7%, 그리고 황하강 상류지역이 0.3%로 나타났다. 이것은 타클라마칸 사막이 위치상 사막의 고도가 높은 유동 모래언덕으로 구성되어 강한 바람에 의해 쉽게 상승할 수 있는 조건을 가지고 있기 때문이며, 우리나라에 영향을 미치는 발원지로서는 고비사막 지역이 다른 발원지에 비해 2배 이상 자주 발생하는 것으로 나타났다.

2001년~2006년간의 년도별 GTS 자료 분석 결과 발원지별, 평균 dust 발생 빈도수는 2001~2002년에 걸친 2년의 기간은 서울 등 우리나라 대도시에서 기록적인 황사 발생 및 PM₁₀ 농도가 측정된 해로서 한반도에 영향이 가장 큰 해에 상대적으로 높은 dust 발생 빈도수를 보였으며, 우리나라에 거의 전무한 해인 2003년에는 최소의 빈도수를 보여, 우리나라 황사 발생일은 발원지의 dust 발생 빈도수와 일차 연관성을 보였다.

2002년 봄철에 한해 기상변수인 기온, 이슬점온도, 해면기압, 강수량, 운량, 풍속 상대습도와 황사 발원지에서의 dust 발생빈도와의 연관성을 조사해 본 결과 dust 발생은 기온과는 양(+)의 관계로, 이슬점 온도와는 음(-)의 관계를, 해면기압과 음(-)의 관계를, 운량과 양(+)의 관계를, 풍속과 양(+)의 관계를, 그리고 기압과 음(-)의 관계를 보였다. 이것은 봄철 황사 발원지에서 기온이 높고 습도가 낮을 경우 지표에서의 증발이 잘 되어 해빙기의 토양이 잘 부서져 부유할 수 있는 기상 조건을 유지하였기 때문으로 판단되며, 저기압(운량) 통과와 함께 강한 풍속으로 발원지에서 dust를 발생시킨 것으로 조사되었다.

추정된 황사 발생량은 사례별로 다르게 나타났으나 대체적으로 타클라마칸 사막 지역을 제외하면 황하강 상류, 고비, 황토 고원 등에서 추정된 누적발생량은 각각 약 4~10×10⁸ton 정도로 나타났으며 이러한 황사 발생량은 평균 마찰속도의 경향과 대체로 일치하였다. 전체 추정 영역에 대하여 토양 성분별로는 Loess, Gobi, Sand 혹은 Gobi, Loess, Sand 순으로 나타났다.

이상에서 황사의 발생기구 및 발생량은 황사 발원지에서의 지표 조건 및 토양뿐만 아니라 발원지에서의 기상조건, 즉 풍속 및 강수량을 포함한 국지 기상에 의해 크게 좌우되었음을 확인하였다. 따라서 황사 발생량을 추정하여 한반도로 수송되는 황사의 질량 및 크기를 정량적으로 수치모델링하기 위해서는 황사 발원지에서의 지표 조건과 기상 조건을 모두 정교하게 처리하고 데이터베이스화하여야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

Husar, R.B., D.M. Tratt, B.A. Schichtel, S.R. Falke, F. Li, D. Jaffe, S. Gasso, T. Gill, N.S. Laulanien, F. Lu, M.C. Reheis, Y. Chun, D. Westphal, B.N. Holden, C. Gueymard, I. McKendry, N. Kuring, G.C. Feldman, C. McClain, R.J. Froun, J. Merrill, D. Dubois, F. Vifnola, 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, 18317-18331.

In, H.-J. and S.-U. Park (2003) Estimation of dust amount for a dust storm event occurred in April 1998 in China, *Water, Air, and Soil Pollution*, 148, 201-221.