

## 1A3) 역궤적 분석과 TOMS 에어로졸 지수를 이용한 황사 발원지 추적

### Investigation of the yellow sand source region using backward trajectory analysis and TOMS aerosol index.

장건우, 조석연

인하대학교 환경토목공학부

#### 1. 서론

중국 서북건조 사막지역에서 봄철에 기온이 올라가면서 강한 한랭전선을 동반한 저기압이 발달할 때 그 전선 후면에 미세한 모래먼지가 바람에 휘감겨 올라가 황사가 발생한다. 발원지에서 생성된 황사는 약 30%가 발원지에서 재 침적되고, 20%는 주변지역으로 수송되며, 50%는 편서풍을 타고 1,500~2,000 km이상의 거리를 이동하여 우리 나라, 일본 및 하와이에까지 침적되는 것으로 알려져 있다.

우리 나라에는 매년 3~5월에 황사가 관측이 되는데, 평상시에는 10~50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 먼지농도가 100~500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 증가하며, 황사의 주성분인 Si, Al, Ca, K, Na 등의 농도가 상승한다. 최근 들어서 황사가 대기 환경에 미치는 영향의 중요성이 밝혀지면서, 황사의 발생 및 이동 경로 규명에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.(윤순창 *et al.*, 1991 ; 정용승 *et al.*, 1991 ; 이상미 *et al.*, 1994 ; 한진석 *et al.*, 1999) 황사 주 발원지는 중국 서북 건조 지역으로 알려지고 있는데, 주요 사막으로는 타클라마칸 사막, 고비사막, 바다인자란 사막과 텐켈 사막 등이 있다. 본 연구에서는 황사 발생 시 기류이동 특성, 역궤적 분석과 TOMS 자료 해석 등을 통하여 과거 1년간 황사 근원지를 추적하려 하며, 이러한 연구는 국내 황사에 주요 영향을 미치는 지역을 색출하고 이에 대한 대책을 세우는데 기여하리라 사료된다.

#### 2. 연구 방법

과거 국내 황사 발생사태에 대하여 역궤적 분석을 통하여 국내에 유입된 공기의 경로를 추적하고, 일별 TOMS 에어로졸 지수를 이용하여 대상 기간 동안 황사발생과 이동 현황을 조사함으로써 황사발원지를 정성적으로 추적하려 한다. 역궤적 분석에는 미국 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)의 HYSPLIT4(Backward trajectories HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model Version 4)를 사용하였다.(정용승 *et al.*, 1991) HYSPLIT4는 단일입자의 역궤적 분석과 대기 확산 및 이동을 고려한 대기오염물질의 농도 분석을 할 수 있는 모형인데, 본 연구에서는 단일입자의 역궤적 분석만을 수행하였다. 기상장은 동아시아지역에 대하여 12시간 주기의 자료를 제공하고 있는 FNL 자료를 이용하였으며, 수직방향속도를 산출하여 공기의 수평 이동은 물론 수직이동을 고려하는 kinematic trajectory 방법을 사용하였다.

역궤적 분석은 사례기간 동안 대상지역에 공기덩어리가 이동하여온 경로를 밝혀주지만, 경로에 황사 발생지역에 대한 정보를 제공하지 못한다. 더욱이, 역궤적 분석만으로는 국내에 도착한 황사의 강도 및 지속시간을 파악하는데도 한계가 있다. 본 연구에서는 일별 TOMS(Total Ozone Mapping Spectrometer) 자료를 통하여 공기 이동 경로에 황사 발생상황을 검토하였고, 국내 대기오염 자동측정망의 시간별 자료를 통해서 황사의 지속시간과 황사규모 등을 조사하였다. TOMS자료는 인공위성을 이용하여 지구 전체지역의 UV 흡광도를 측정한 자료로써 수직 오존(column ozone)과 에어로졸 농도에 척도로 산출할 수 있다. 에어로졸 농도의 척도로는 에어로졸 지수를 활용하는데, 에어로졸 지수는 331nm 부터 350nm 파장의 빛에 대한 흡광도를 지수화한 것이다. 에어로졸 지수는 각 종 에어로졸에 의한 광학깊이(aerosol optical depth)에 비례하되 에어로졸의 높이와도 관계가 있는 것으로 밝혀져 있다. 에어로졸 지수가 높을수록 에어로졸 농도가 높음을 의미한다. 즉, 에어로졸 지수가 0.1이하이면 에어로졸이 없어서 가시도가 최상인 경우를 언급하며, 4이상이면 에어로졸이 많아서 한낮에도 가시거리가 0에 가까운 경우를 언급한다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 1은 2001년에 있었던 7차례의 황사 중 4번째 사례였던, 4월11일~12일의 서울 22개 자동측정망에서 측정된 PM10 평균과 중간값의 농도를 시간별로 나타낸 것이다. 그림 2는 그 중 최대의 농도를 나타내었던 11일12시(11일03UTC ;  $449\mu\text{g}/\text{m}^3$ )의 HYSPLIT 4를 이용한 서울지역 공기의 84시간 동안의 역궤적으로서, 그림에서 보듯 타클라마칸 사막과 고비사막을 경유한 공기가 서울로 유입되었음을 알 수 있다. 그림 3은 각각 최대 PM10 농도를 나타내었던 11일의 2~3일 전인 4월 8일, 9일(UTC)의 TOMS aerosol index를 나타낸 것인데, 타클라마칸 사막과 고비사막 부근에서 각각 4.0, 3.0 부근의 높은 수치를 나타내고 있는 aerosol이 한반도 상에서 사례기간 중에 높은 PM10농도를 나타내는데 기여하고 있음을 유추해 볼 수 있으며, 이것은 앞의 해석을 보충해 준다고 하겠다.

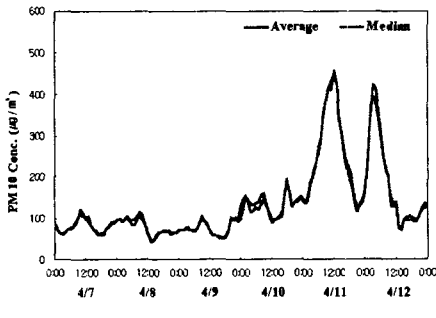


Fig. 1. PM10 concentrations of 4/7~4/12, 2001 Seoul.

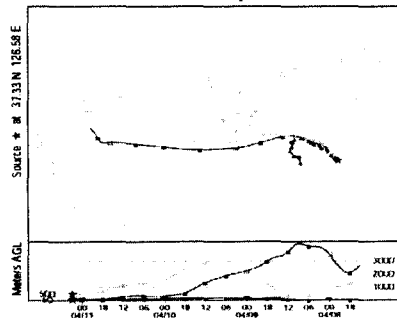


Fig. 2. Backward trajectories ending at 03UTC 11 Apr. 2001 - source of Seoul

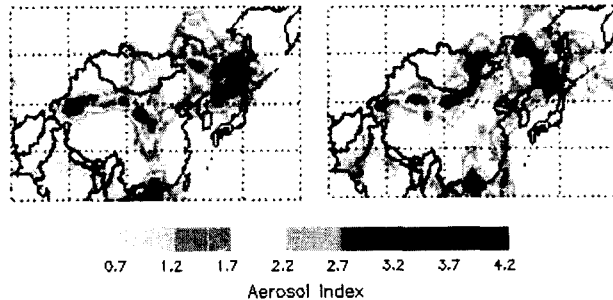


Fig. 3. TOMS aerosol index on April 8 and 9 in 2001

### 참고 문헌

- 윤순창, 박경선 (1991) 등엔트로피 궤적에 의한 황사의 장거리 이동 경로 분석  
한국대기보전학회지 Vol. 7, NO. 2 (1991) pp.89-95
- 정용승, 김태균 (1991) 대기오염의 장거리 이동, 사례연구 : 황사, TSP, Sulphate의 발원지 추적  
한국대기보전학회지 Vol. 7, NO. 3 (1991) pp.197-202
- 이상미, 윤순창 (1994) 황사의 이동경로 분석 : 사례연구  
제18회 대기보전학술연구발표회 요지집 1994, pp.147-148
- 한진석 외 (1999) '99년 1월 황사 사례분석  
한국대기환경학회 학술대회 논문집 1999, pp.130-132