

대기-2 한반도 황사현상의 장·단기발생사례시 종관기상장 특성분석

김유근, 송상근, 강재은*
부산대학교 대기과학과

1. 서론

한반도에서 관측되는 황사는 주로 봄철에 자주 나타나며, 주요 발원지는 중국의 건조지대인 몽골지역 및 고비사막, 황토 고원, 타클라마칸 사막 등이다. 이러한 지역들은 높은 고산지대의 풍하측에 위치하고있어 매우 건조하며 주위의 따뜻한 기압능 (warm ridge)의 영향으로 열적 저기압이 자주 형성되어 발달하는 곳이다. 이 저기압은 동진 내지 남동진하여 몽고 남부, 만주지방, 한반도 등을 통과하게 된다. 저기압의 한랭전선 후면에 고기압이 확장하면서 돌풍과 강풍이 발생하고, 이때 건조한 황토는 대류권의 중·하층으로 상승하여 편서풍을 따라 풍하측에 위치한 우리나라에 수송되어 많은 피해를 준다 (기상총감, 1994). 황사의 수송에 따른 한반도 내의 피해정도는 발원지에서의 황사 발생량과 한반도 내 황사의 지속시간과 밀접하게 관련된다. 황사 발생량과 관련하여 Wang et al. (2000)은 지표면 마찰속도와 습도가 발원지에서의 황사 발생량을 결정한다고 보고 이것을 수치모델에 적용시켜 재현한 바 있으며, 이외에도 황사 발생량에 관한 많은 연구가 선행되어왔다 (Xuan, 1999, Ginoux et al., 2001). 또한 전종갑 (1991)은 발원지에서 충분한 양의 모래먼지가 공급된다면 500 hPa 층의 저기압이동속도에 따라 한반도 황사발생의 지속시간이 결정된다고 밝혔으며, 이재규 (1993)는 황사의 지속시간은 상층 기압골의 뒤를 따라 유입되는 기압능의 위치, 발달정도, 이동속도 그리고 고기압의 확장에 따른 기류의 방향과 풍속에 의존하며, 이러한 고기압이 동반하고 있는 기단의 안정도와 관련된다고 하였다. 이러한 접근은 황사의 발생, 수송, 침적을 이해하는데 많은 도움을 주어 왔지만 실질적으로 수송 메카니즘에 따른 한반도 내 황사의 관찰 및 지속시간에 관한 연구는 아직 부족한 실정이므로, 황사발생의 수송·침적 메카니즘과 관련지어 한반도 내 황사의 지속시간에 대한 보다 근원적인 원인분석이 요구된다.

따라서 본 연구에서는 한반도 내 황사가 관찰되는 지속시간에 따라 종관기상장의 특성을 보다 명확하게 분석하기 위해 먼저 발생사례를 장기와 단기로 분류하였다. 이를 바탕으로 사례별 지상 및 상층일기도, NOAA 적외영상 및 SeaWIFS 영상 자료, 수치모델(MM5)의 결과자료 등을 이용해서 황사의 수송·침적 메카니즘의 종관기상학적 특성에 따라 한반도 내 지속시간과의 관련성을 분석하고 각 사례별로 그 특징과 차이점을 알아보고자 한다.

2. 자료 및 연구 방법

본 연구에서는 중국 발원지에서부터 한반도로 수송되어 온 황사현상을 장·단기사례로 구분하고 그 특성을 수송·침적 메카니즘과 관련지어 알아보기 위하여 대기 상·하층 기류의 움직임, 기압골의 위치와 이동속도 등의 종관기상장 패턴 분석과 이를 바탕으로 중규모 기상장 모델인 MM5 수치모의를 수행하였다. 지상 및 상층 500 hPa 층의 기상요소 (지위고도, 풍속 등)의 수치모의를 통해 황사발생시 장·단기사례의 차이점을 보다 명확하게 규명하였다. 이용된 자료는 3년 (2000~2002년)간 발생한 황사사례 동안의 일본 및 한국기상청에서 발행한 인쇄 일기도와 NCEP/GDAS 재분석 자료이다. 모델입력자료인 NCEP/GDAS 자료는 수평적으로는 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 간격이며, 수직적으로는 1000 hPa부터 10 hPa까지 17층의 자료이다. 이 자료가 제공하는 기상변수는 온도, 습도, 풍향, 풍속 등이며 본 연구에서는 황사의 수송 및 침적, 지속시간을 분석하기 위해 주로 풍향과 풍속을 이용하였다.

3. 사례 연구

3.1 장·단기 발생사례 선정

한반도 황사발생시 장·단기 발생사례의 선정기준은 한반도에서 황사가 관측되는 지속시간을 기준으로 하였다. Fig. 1은 한반도 황사 발생 지속시간에 따른 빈도를 나타낸 것으로 발생 빈도가 뚜렷이 구분되는 1~2일의 지속시간을 가지는 경우를 단기 발생사례로 선정하였고, 3일 이상의 지속시간을 가지는 경우를 장기 발생사례로 분류하였다. 이러한 선정기준에 의해 Table 1에서는 3년 (2000~2002년) 동안 발생한 황사의 장·단기 사례를 나타낸다.

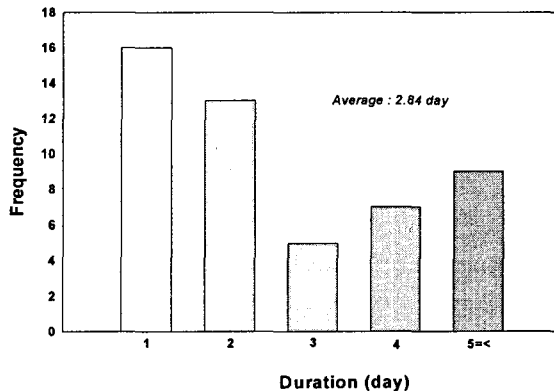


Fig. 1. Frequency of the lasting times of Asian dust observed over Korea, 1988~2001.

3.2 장기발생 사례

본 연구에서 선정된 황사발생 사례의 특성을 비교하기 위하여 먼저 장기사례 중 2001년 3월 3~7일의 사례를 분석하였다. Fig. 2는 2001년 3월 4일과 5일의 1200 UTC

500 hPa 일기도이다. 4일 한반도 상공에 영향을 미치는 강한 기압골이 정체된 기압능에 의해 빠르게 이동하지 못하고 5일 한반도 인근인 일본에 머물러 있는 모습을 보인다. 이는 3월 초부터 발생한 Omega blocking의 영향으로 볼 수 있으며 이러한 blocking은 동서방향의 이동을 약화시키고 남북방향의 이동을 유도함에 따라 기압계가 정체되는 듯한 모습을 보이게 된다. Fig. 2에서와 같이 3월 4~5일 동안 지속적인 blocking 영향을 받고 있으며 이로 인해 북만주 주변으로 잦은 단파곡을 생성시켜 한반도 내 황사의 발생을 장기간 지속시키고 있다고 사료된다.

Table 1. Selected cases in each short and long period for 3 years (2000 to 2002).

Long period		Short period	
Date	Number of day	Date	Number of day
2001. 3. 3~7	5	2000. 4. 7~8	2
2001. 4. 7~14	8	2001. 1. 2~3	2
2002. 3. 16~23	8	2002. 1. 12~13	2

3.3 단기발생 사례

Fig. 3은 2000년 4월 6일 1200 UTC와 8일의 0000 UTC의 500 hPa 일기도이다. 한반도에 황사가 발생하기 이전인 6일의 경우 한반도 북서쪽에서부터 약한 기압골이 생성되기 시작하였으며, 이는 7일과 8일 한반도 상공을 빠른 속도로 통과하고 있는 모습을 볼 수 있다. 특히 8일의 경우 장기사례와는 달리 기압골 전면에 blocking 영향은 찾아볼 수 없었으며, 이때 발생된 기압골은 온도 및 지위고도의 구배가 심한 한반도 상공을 빠르게 지나가고 있어 한반도 내 황사발생의 영향은 짧은 기간동안 나타난 것으로 사료된다.

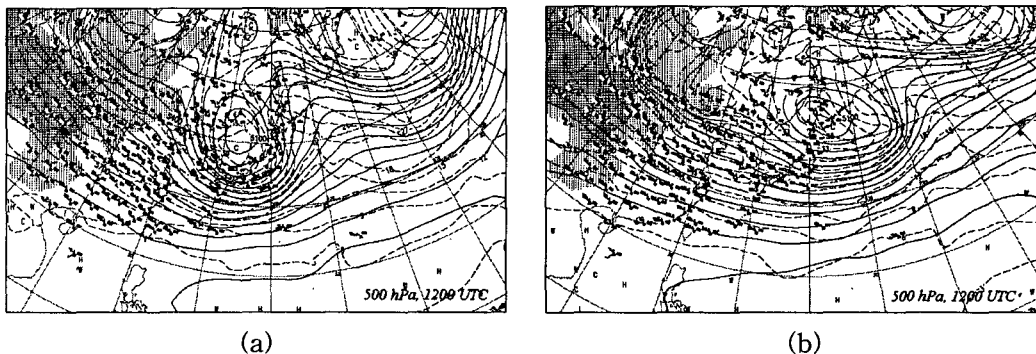


Fig. 2. Synoptic weather maps for (a) 4 and (b) 5 March 2001.

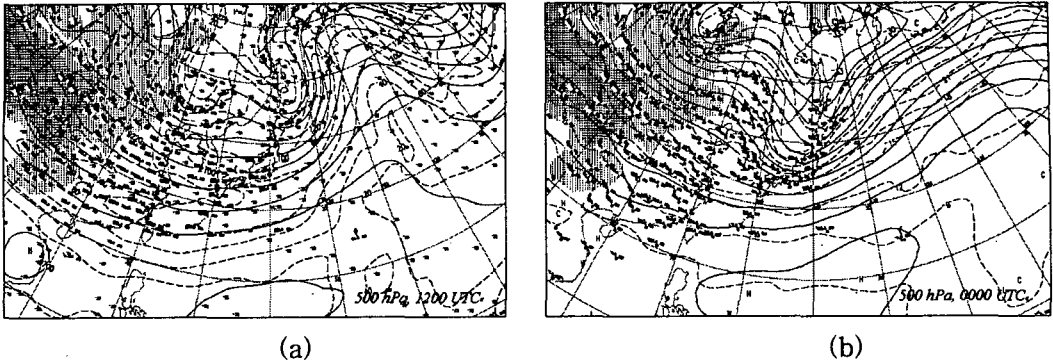


Fig. 3. Synoptic weather maps for (a) 6 and (b) 8 April 2000.

4. 결론

본 연구에서는 황사발생의 지속시간에 따라 장기 및 단기사례를 구분하고, 사례별로 황사의 수송 및 침적 메카니즘과 관련하여 중관기상장의 특성을 분석하였으며 이를 바탕으로 MM5 수치모의를 수행하였다.

장기사례인 2001년 3월 3~7일의 경우, blocking 효과로 인해 중국 발원지를 통과한 한반도 북쪽의 기압골이 정체됨에 따라 주기적으로 단파곡의 영향을 받고 있으며, 이러한 단파곡이 지난 후에도 한반도는 여전히 황사가 관찰된다. 즉 500 hPa 중위도 저기압은 blocking 효과를 가진 기압능에 의해 빠르게 동진하지 못하고 한반도 북쪽지역에 정체되어 한반도 내 황사발생을 지속시키고 있다. 단기사례인 2000년 4월 7~8일의 경우, 강하게 발달된 기압골이 한반도를 통과하면서 대륙성의 차가운 고기압이 한반도로 확장되어 한랭이류가 발생한다. 이는 하루나 이틀 후 이동성 고기압으로 변질될 가능성이 많고 한번 기압골 지난 이후 주기적으로 지속적인 기압골의 영향을 예상하기는 어렵다.

또한 황사현상의 장기 및 단기사례별 중관기상장의 특성을 검증하기 위해 수치모의한 결과, 상층의 강한 제트와 편서풍의 영향으로 중국에서부터 수평수송이 발생하고 상층의 기압골 강화로 인한 하향수송이 동시에 이루어져 황사를 관찰할 수 있었으며, 주기적인 기압골의 영향으로 한반도 내 황사의 지속시간을 길게 해주고 있음을 알 수 있었다.

감사의 글

이 연구는 한국과학재단이 지원하는 SRC 기후환경시스템연구센터의 지원으로 이루어졌다.

참고 문헌

- 공군 제73기상전대, 1994: 기상총감, 공군 제73기상전대, 290-291.
 이재규, 1993: 1993년 4월 22-24일에 관측된 황사현상에 대한 중관분석, 한국환경과학회지, 2(3), 161-177.
 전종갑, 1991: 대기 오염 물질 수송과 관련된 동부 아시아 상층 대기의 순환 특성에 관한 연구, 한국기상학회지, 27(2), 180-196.

- Ginoux, P., Chin, M., Tegen, I., Prospero, J.M., Holben, B., Dubovik, O., and Lin, S.J., 2001: Sources and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model, *Journal of Geophysical Research*, 106(D17), 20,255–20,273.
- Wang, Z., Ueda, H., Huang, M., 2000: A deflation module for use in modeling long-range transport of yellow sand over East Asia, *Journal of Geophysical Research*, 105(D22), 26,947–26,959.
- Xuan, J., 1999: Dust emission factors for environment of Northern China, *Atmospheric Environment*, 33, 1767–1776.