

연간 손실 7조원, '황색 재앙' 을 막아라

요즘 들어 황사가 부쩍 심해졌다.

따끔거리는 눈과 마른기침은 물론 목구멍의 고통 못지않게, 건강에 대한 서민들의 걱정도 늘어가고 있다.

해마다 봄철이면 어김없이 한반도를 휩쓰는 이 '황사 재해' 의 원인과 대응책을 알아본다.

글 | 정용승 _ 한·중대기과학연구센터 소장 · 서울대 책임연구원 kccar1@kornet.net

고비사막서 발생 후 2~3일 만에 한반도 상륙

황사가 발원하는 몽골과 중국 북서~북부 지방의 사막과 반사막은 상대습도 40% 이하의 매우 건조한 지대이다. 해빙과 함께 지표면에 초속 8m 이상의 세찬 바람이 불면 토양이 날려 황사 먼지가 된다. 모래폭풍은 초속 15m 이상의 바람이 3시간 이상 지속적으로 불 때 발생하는 것으로 조사·연구됐다. 심한 황사는 대개 초속 20m의 바람이 500×1000km²보다 넓은 지역에 불 때, 그리고 저기압의 후면에 강한 고기압의 찬 바람이 유입될 때 발생한다.

태풍이 한반도에 상륙할 때 초속 15m의 바람이 불어 필자 주택의 기와가 몇 장 날아간 적이 있다. 그러니 초속 20m의 바람이라면 사막의 모래와 토양 표면을 얼마나 쉽게 불어 올릴 수 있는지 짐작할 수 있다. 황사 발원지에 이러한 세찬 바람이 불 때 모래가 쓸려 새로운 언덕이 생기고 길이 막히며, 그 곳의 낮은 돌담과 집들이 모래로 덮여 버린다. 중국의 황사 발생지에서는 10m 앞이 보이지 않기 때문에 '흑풍' 이라고 부르고, 북미에서는 '흑폭풍(black blizzard)' 이라고 부른다. 황사는 한때 '노랑 먼지(yellow sand)' 로 오기되었으나, 지구상에는 노랑 모래와 토양이 전혀 없으므로 '누런 먼지(reddish-brown dust/sand)' 로 부르는 것이 바람직하다.

저기압은 바람이 좌측 중심 쪽으로 불어들어 가며 먼지를 상승시키고, 고기압의 강한 찬 바람은 모래먼지를 더 불어 올리며, 먼지를 500~3천m 상공까지 상승시킨다. 2천~3천m 상공의 서~북서 기류는 이 먼지 구름층을 동쪽과 남동쪽으로 시속 약 50km 이상으로 이동시킨다. 이 기류는 황사 구름을 하루 1천km 정도 이동시키므로 중국의 내몽골 동부 사막에서 발생한 황사는 24~30시간이면

한반도에 도착한다.

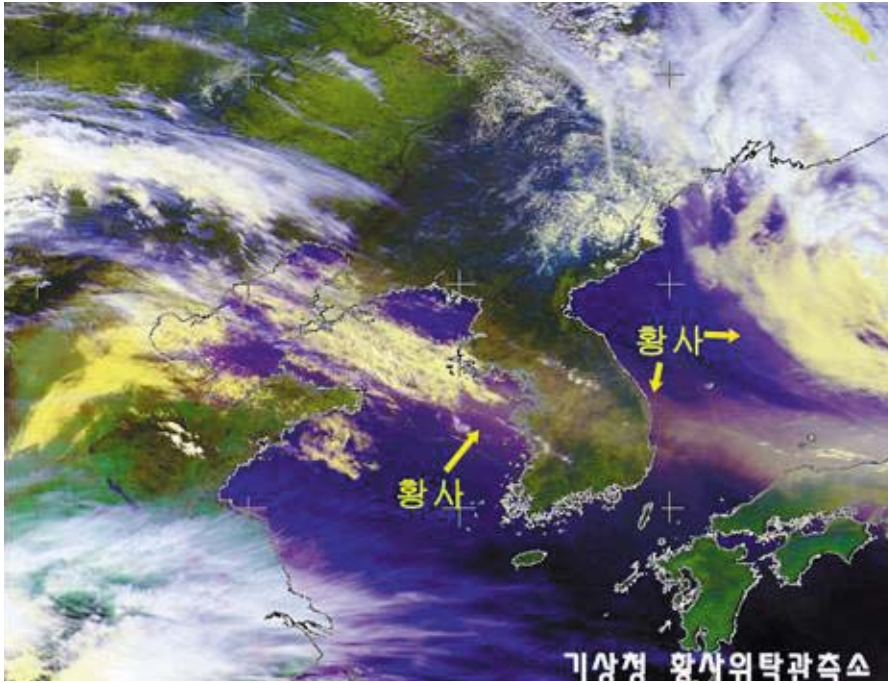
한국에 가장 자주 상륙하는 황사는 몽골과 중국의 내몽골 서부에 전개되는 광활한 고비사막에서 발생하며, 여기서 출발한 황사는 2~3일이 걸린다. 세번째 황사 발생지역은 몽골 서부이자 알타이 산맥의 동쪽인 풍하측 사막이다. 이곳은 1년 중 약 120일 동안 황사 먼지가 떠 있으며, 여기서 3~4일이면 한반도에 도착한다.

마지막으로, 타림분지의 타클라마칸 사막에서 발생하는 황사는 분지에서 빙빙 돌다가 4~5일 후 서해와 한반도에 도착하는데, 이동하는 동안 직경 12~20 μ m의 무거운 먼지들은 지면으로 많이 떨어지고 11 μ m 이하의 가벼운 먼지들은 떠다니며 풍하측인 중국 동해안-황해-한반도-동해-일본에 낙하되며 중국적으로는 대부분 태평양에 침전한다.

미세먼지가 폐 조직 손상, 마른기침 유발

공기 흐름의 크기는 연(수)직적으로 대략 12km와 수평적으로 6천 km이므로 1:500의 거리와 시간 차이를 보인다. 즉, 수평적인 바람의 방향과 속도의 측정은 비교적 쉬우나 연직적인 바람의 크기는 측정이 어렵고 변동이 크다. 황사 구름이 수백에서 1천~2천km를 수평 이동함은 현업에서 관측·계산하고 추적할 수 있지만, 연직적인 대류 작용은 변동이 심해 측정이 용이하지 않다.

특히 지난 4월 8일 한반도를 강타한 황사는 심각한 수준이었다. 이날 지면 기온은 17~19℃였으며, 20시경 번개가 여러 번 발생할 정도로 상승과 하강 기류가 심했고, 당일 1~3km 상공에 떠 있는 황사 구름이 침강하며 지면에 높은 농도를 발생시킨 것으로 분석됐다. 상승과 하강의 대류운동은 강수현상을 발생시키고 황사먼지의



북한 요항산과 향산군 농촌의 약한 황사(남한의 황사가 더 강했다)

침적에 큰 영향을 줄 수 있다.

지난 4월 8일 당시 인공위성으로 분석한 황사 띠구름은 발해만-황해-중부지방-경북-동해에 걸쳐 있어 청주·청원지역 황사먼지 농도의 시간당 최고값은 TSP(먼지 총량): 2050ug/m³, PM10(직경 10마이크론 이하의 먼지 양): 1686ug/m³, PM2.5(직경 2.5마이크론 이하의 작은 먼지 양): 286ug/m³였으며, 이는 2002년 3월 21일과 4월 7일 발생한 황사 이후 4년 만의 최고의 관측값이다. 황사는 넓은 지역에 걸쳐 발생하고 기류와 함께 혼합이 잘 돼 비교적 균질적으로 분포하지만, 중부지방의 관측소마다 약 20% 안팎의 농도 차이를 보였다.

이번에 기록된 먼지농도는 평상시의 20배 이상이다. 특히 PM2.5 이하의 미세먼지는 폐 깊숙이 흡입돼 조직에 상해를 줘 많은 사람들이 마른기침을 했다. 이러한 많은 먼지가 공기 중에 떠 있으면 눈병이 나고 인후염, 폐렴과 같은 각종 호흡기 질환과 천식 및 알레르기가 생긴다. 필자도 지난번의 황사로 인해 인후에 염증이 생기고 며칠간 기침을 해야 했다. 그 후, 호주의 멜버른 인근에 출장하였는데, 그곳에서 있었던 3일 동안 인후염과 기침이 자연적으로 슬며시 완치되었음은 황사오염의 심각성을 잘 말해준다. 한편, 황사먼지는 식물의 성장에 장애가 되고 전자제품 제조나 항공기 오

작동 등에도 영향을 미쳐 매년 7조 원 이상의 경제적인 손실을 초래하는 것으로 평가되었다.

강한 황사가 발생하면 옥외 활동을 자제하고, 창문을 닫은 후 실내에 머물며 일을 하는 것이 바람직하다. 또한 공기청정기를 가동시켜 실내에 떠 있는 황사먼지를 제거해 호흡기 질환 등을 사전에 예방해야 한다. 현재 황사 특보는 PM10 농도에 기준을 두어 황사 주의보는 500ug/m³ 이상일 때 발표하고, 황사 경보는 1000ug/m³ 이상일 때 발표한다. 그러나 이 특보는 국민의 건강유지와 질병예방을 위해 기준치를 하향 조정해야 한다. 본 연구진은 환경부의 먼지의 24시간 기준치인 150ug/m³와 TSP 및 PM2.5 값을 고려하여, 황사주의보는 PM10 농도가 1시간당 최고 300ug/m³ 이상, 그리고 황사경보는 이의 두 배인 600 g/m³ 이상일 때 발표할 것을 제안한다. 이러한 기준치 설정은 황사특보가 다소 빈번히 발표될 것이나, 가장 중요한 것은 국민의 건강과 그 유지에 있기 때문임을 거듭 강조한다.

한국에 '국제황사공동연구센터' 설립 기대

황사와 황사구름은 국경을 존중하지 않고 넘나들고 있다. 지난 4월 5, 6일 평양에서 열린 '제1회 민족과학기술토론회'에서도 황사



2006년 4월 6일 평양에서 열린 '민족과학기술토론회 - 환경분과회'에서 남북한 관계자들이 '남북한의 공동 황사관측과 예보'의 구두 합의 후 건배를 하고 있는 모습

의 문제와 심각성에 관한 진지한 발표와 논의가 있었다. 북한의 과학자들은 남북 과학기술자들의 통일된 노력으로 황사의 공동 정밀 관측과 예보를 수행할 것을 제안했다. 황사, 기후변화, 서해 대기오염 문제는 평화적으로 이용될 수 있는 과학이며, 우리 반도는 물론 21세기 전세계적인 제1의 환경문제이므로, 서울에서 제2회 모임을 개최할 때부터 황사 공동관측과 연구를 착수하자고 동의한 바 있다. 황사문제에 관한 한 남북 과학기술인들의 교류의 물꼬가 이미 트인 셈이다.

황사의 정의와 관측은 동양 5개국이 서로 다른 규정과 절차에 따라 수행되고 있다. 몽골, 중국, 북한, 일본과 한국은 황사현상의 발생 여부 등 질적인 관측을 수행하고 있다. 그러나 황사발생지와 인접한 지역의 지표 상태와 실제 먼지 농도가 몇 백, 또는 몇 천 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 인지 양적으로 관측되지 않으며, 황사 구름은 이동하며 대기의 상태에 따라 확산 및 침전된다. 그러므로 황사구름의 유입과 황사현상의 발생 및 그 먼지의 농도, 즉 황사먼지의 양적인 예보는 매우 어려우며 비와 눈 등 강수량의 발생과 양적인 예보에 비해 적 중률이 낮을 수밖에 없다.

공기 중의 먼지농도는 국민 건강에 영향을 주는 요소이므로 대개 각국의 환경부와 관련부서에서 관측하고 있다. 한편, 공기의 현상과 역학적인 '대기의 흐름'에 관한 관측, 분석, 예보, 평가 등의 모니터링은 각국의 기상청이 수행하고 있다. 황사현상의 발생에 대처하기 위해서는 비교적 정확한 황사의 발생시간과 먼지 농도의 예

측이 필요하다. 황사 예보는 고비사막 등 발생지의 건조 상태, 강풍 상황과 그 면적, 지상과 상층의 바람과 기류의 정확한 예보 값, 기온과 구름 및 수증기, 산과 바다의 지형 조건 등을 고려하여 수리물리화학적 수치예보와 주관적인 방법으로 수행된다. 위와 같은 다양한 기상요소와 인자들은 12시간 이내의 단기 예보가 아니고 황사 발원지를 떠나 24~48시간 이동하며 지속적으로 먼지가 확산되고 침전되므로 예보가 매우 어렵다. 예를 들어, 4월 10일에도 강력한 고기압의 이동과 함께 고비사막에 매우 심한 황사가 광역적으로 발생하여 한반도로의 상륙 가능성이 있었으나 북동기류가 황사구름을 남서쪽으로 밀어붙여 중국의 시안 등 티베트고원의 풍상측에 먼지를 털어버린 후 그 여분이 한반도에 도달할 때는 PM_{10} 최고 농도가 겨우 $120\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도였던 것은 매우 다행한 사례였다.

현재 황사의 모니터링은 기상을 분석하여 한반도로 바람이 불어오는 풍상측인 몽골과 중국 등의 바람과 기류를 평가하고 황사현상의 발생 여부 조사, 인공위성 영상을 이용하여 황사구름 발생 여부 확인과 이동 방향 및 확산을 분석하고, 중국 북부지방의 먼지 농도 분석, 수리물리화적으로 전산기를 이용한 수치예보 과정을 거쳐 객관적인 자료를 분석 평가한 후 예보관들이 주관적으로 최종 황사예보를 발표한다. 여기서 가장 중요한 자료는 인공위성의 황사 자료이며 전산기를 이용한 수치모형으로 생산된 객관적인 예보 자료이다. 그러나 고비사막 등 풍상측의 관측 자료가 미흡하고 정량적인 황사 먼지의 농도가 거의 부재한 실정이다. 인공위성을 이용한 수치적인 먼지량 산출이 혁신적으로 개발되고 몽골 등에 먼지 농도관측이 실현되면 황사예보의 정확도는 크게 향상될 전망이다.

황사 오염은 자연재해의 하나이며, 국민의 관심과 여러 산업에 큰 영향을 주고 있으므로, 우리 기상청은 2년 전부터 황사먼지의 양적인 농도 관측도 실시하여 황사예보에 활용하고 있다. 이 황사 관측업무는 다른 나라보다 선도적으로 수행되는 국민봉사의 하나로 평가될 수 있다. 그러므로 황사에 관한 국제적인 통일된 관측 규정 제정과 예보 개선을 위해 한국에 '국제황사문제조정위원회'를 유도 및 창설하고, 우리가 황사의 모니터링에 관한 연구 개발을 선도하기 위해 '국제황사공동연구센터'를 설립하길 기대해 본다. ㉔



글쓴이는 서울대학교 대기과학과를 졸업 후 쓰쿠바대학에서 박사학위를 받았다. 한·중대기과학연구소 센터장, 한림원 중신회원이며, 현재 서울대학교 책임연구원을 겸임하고 있다.