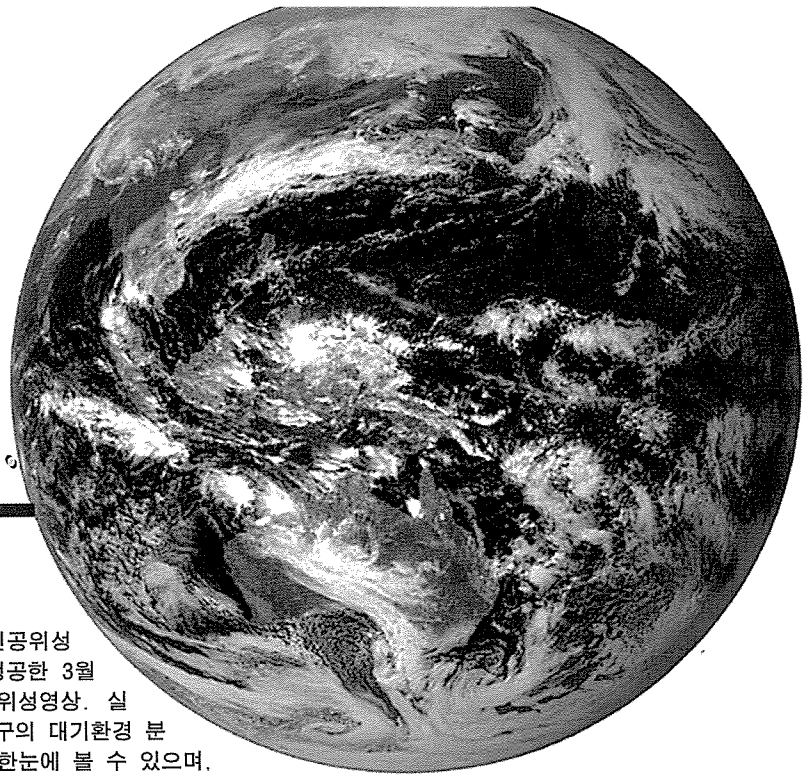
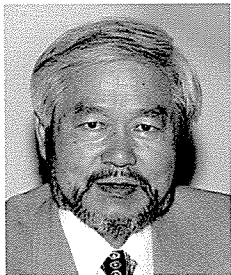


황사를 추적한다...



황사(黃砂) - 학술적으로는 '모래/먼지 폭풍'이라 불리우는 황사구름이 한반도를 덮쳤다. 그것도 한반도에서 황사를 관측한 이래 최악의 농도를 가진 인체에 유해한 상태였다. 정부는 전국에 황사 비상령까지 내렸고 초등학교는 휴교까지 했다. '황사태풍' 또는 '모래/먼지 폭탄'이라고 불리웠던 지난 3~4월의 황사에 대해 인공위성으로 추적하는 데 성공한 대기환경연구실 정용승박사에게 듣는다.



鄭用昇

(과총 이사/국가지정 대기환경연구실)

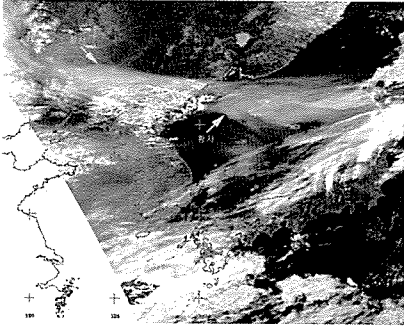
국내 처음, 인공위성으로 추적에 성공한 3월 20일의 황사 위성영상. 실시간대별로 지구의 대기환경 분포 및 흐름을 한눈에 볼 수 있으며, 많은 구름대 사이에 한반도 상공에서 황해와 동해를 잇는 황사구름띠가 놓여 있다.

대기환경과학에서 모래 또는 먼지 폭풍이라고 불리우는 이 자연현상과 재해는 세계 여러 지역에서 발생한다. 첫째 방대한 사하라사막에서 가장 심하게 발생하며, 아라비아는 물론 그리스, 이탈리아, 스페인 등 남부 유럽에 피해를 주고 있으며, 때로는 대서양을 건너 서인도 제도와 미국의 플로리다까지 영향을 준다. 또한 대규모의 먼지와 모래 폭풍은 북미의 캐나다 서부 평원에서 발생하여 표도를 두께 몇 10cm씩 옮겨 놓고, 멕시코의 모래먼지가 5대호까지 운반되는 것도 관측하였다. 물론, 남미의 칠레사막에서 발생한 먼지 구름은 안데스산맥을 넘어 브라질에 침적된다.

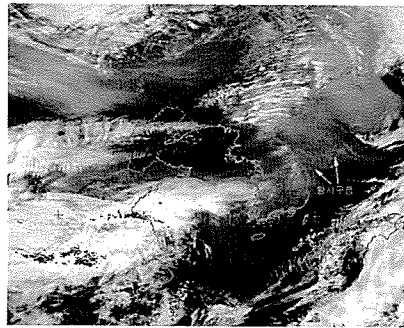
아시아의 경우, 북서 지역의 카자흐스탄과 우즈베키스탄의 광활한 사막에서 모래 먼지 폭풍이 매우 빈번히 발생한다. 그러나 편서 기류와 함께 동진하면 해발 3,000~5,000m 이상의 높은 티엔산(天山)산맥과 알타이산맥에 걸려 혼합, 확산, 희석되며 산을 넘어 동아시아에 서서히 침전된다.

동아시아의 황사 발원지는 크게 보아 중국 북서지방의 타림분지(사막), 몽골리아와 중국 북부의 고비사막, 몽골리아의 알타이산맥 풍하측의 사막과 고원지대, 그리고 중국의 내몽고 사막이다. 중국의 북서~북부 지역에서 황사가 발생되면 해와 하늘이 보이지 않고 컴컴하기 때문에 흑풍이라고도 부르며, 일본은 코스(коса)라고 부른다. 지난 3월 22일 서울의 한국과학기술회관에서 개최되었던 제1회 국제황사워크숍에서는 14개국의 과학자들이 황사의 정의와 관측 및 통계 등의 연구결과를 다음과 같이 발표하였다.

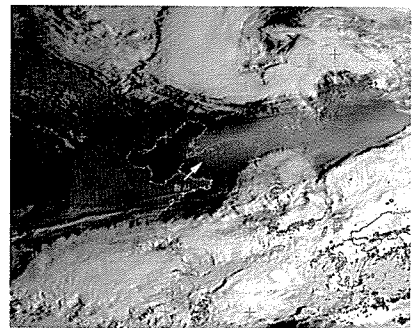
황사는 초속 8m(시속 약 30km) 이상의 세찬 바람이 지속적으로 불 때 건조한 사막과 반사막의 토양 입자가 상공으로 불어 올려져 편서풍과 기류에 동반되어 동쪽으로 이동하며, 남동쪽으로 이동하는 황사는 발원지에서부터 1,000~5,000km를 지나 1~4일이면 한반도에 유입 및 영향을 준다. 초속 20km 이상의 매우 강한 바람이



2002년 3월 17일 황사구름이 남만주, 함경도, 동해, 홋카이도에 영향을 주었다.



2002년 3월 21일 황사구름이 한반도, 동해, 남해 전역에 영향을 주고, 베이징 북서에는 새로운 황사구름이 이동 중임도 관측되었다.



2002년 3월 22일 황사구름이 황해, 한반도 및 일본(흰구름 밑) 전역에 영향을 주고 있다.

500km×1,500km의 광활한 사막 위에 지속적으로 불 때 무게로 1백만톤 이상의 표토가 불어 올려져 중국의 동부, 황해, 한반도, 동해, 일본 열도에 영향을 준다. 황사는 발원지에서도 60~1백20일이나 심각한 영향을 주고 있다. 1998년 4월 20일 한반도를 지난 황사 폭풍은 미국 서해안에 도착하였으며, 작년 4월 5일 몽골리아에서 발생한 황사 구름은 미국 서해안과 중부에 영향을 주었다. 금년 3월 21일에는 한반도의 관측 이래 최고 농도를 기록하였으며, 이 황사구름 역시 8일만에 그 일부가 태평양을 건너 미국에 도착되었다.

황사는 건조한 지표 위에서 강한 바람이 불면 일년 중 어느 때나 발생한다. 심한 대규모의 황사는 해빙기 후인 3~5월 저기압에 동반된 한랭전선 후면에 장출하는 대륙성의 시베리아 고기압의 전면에서 흔히 발생하는 세찬 바람에 따라 불어 올라간다. 저기압의 수렴 기류는 황사구름을 1,000~5,000m 상공까지 더 불어 올리고 그 공기 층에 부는 상층의 빠른 편서 기류가 황사 구름을 동-남동진하게 한다. 처음에는 500~1,000km 되는 황사구름이 시간이 흐름에 따라 이동 및 확산되어

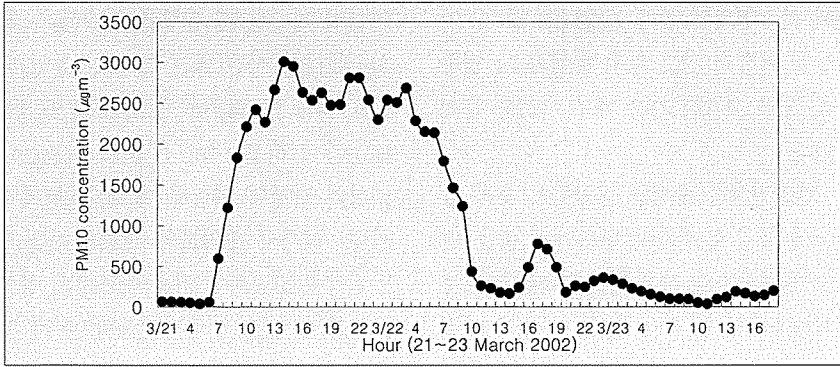
1,000~3,000km² 크기로 넓어져 황사구름이 한반도를 뒤덮으며, 이때 대기 중에서 관측된 먼지 농도는 전국적으로 균질적인 분포로 발생시킨다.

평상시의 공기 1m³당 먼지 농도(PM10, 먼지의 직경 10 μ m 이하)가 100 μ g/m³인데 비교하여, 지난 3월 21일의 황사 농도는 3,006 μ g/m³(그림 1)이었고, 4월 8일에는 첫번째 사례의 98% 수준인 2,942 μ g/m³이 관측되어 지난 10년간 정밀장비로 관측한 이래 최고 농도를 기록하였다. 이는 평상시의 30배 이상의 놀랍고도 심각한 먼지 농도이다. 황사의 균질성과 광역성으로 보아 전국적으로는 2,500~3,500 μ g/m³이 발생되었던 것으로 추정한다. 황사 발생지역에서는 그 농도가 3~4배 이상 관측되고, 우리의 900km 풍상측인 북경의 경우 서울이나 청주의 2배 농도가 발생되며 1,000~2,000km를 지나 일본에 도착되면 한반도 농도의 1/3 수준 이하로 이동하며 확산 및 침적된다.

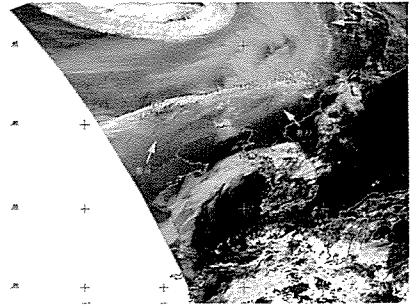
황사의 관측은 또한 시야거리인 시정의 10km 이하로의 감소 여부에 따라 관측되며 안개 및 연무에 의한 시정감소와 매우 분별이 어렵고 혼동된다. 황사 입자의 정밀 관측은 총부유 먼지 TSP(분진), 미세먼지 PM10(먼지 직

경 10 μ m 이하), 그리고 미세먼지 PM2.5(먼지 직경 2.5 μ m 이하)의 3종류로 관측된다. TSP는 먼지들의 직경 0.1~20.0 μ m의 먼지 전체의 양을 뜻하며, PM10보다 약 30% 더 높게 관측된다. PM2.5는 PM10 농도의 30% 수준이며, 이 작은 입자들은 폐 깊숙이 흡입되어 폐의 각종 질환을 유발시킬 수 있다. PM2.5 이상의 큰 황사 입자들은 습할 때 코와 기관지 등에 흡착된다.

작년 중국의 산둥반도에서는 황사 관측이 3~5회 되었다. 일본 규슈의 경우도 2~3회 남짓이었다. 북한의 경우 한 차례 있었고 금년에는 3월과 4월에 두 차례 관측 및 보고되었다. 그러므로 황사의 정의, 관측 기준 및 분류를 다시 고려해 본다. 황사는 영어로 yellow sand 또는 yellow dust로 종종 번역된다. 그러나, 전세계적으로 노랑 사막과 노랑 표토는 전혀 없다. 황사는 누런 빛 또는 뿌연색을 띠고 있으므로 지난 달의 황사위크숍은 reddish brown sand 또는 dust로 교정하였다. 영어(영영) 사전도 교정되어야 한다. 황사 농도의 기준치(threshold value) 없이 마구잡이로 황사관측이 보고되는 것은 잘못된 것이다. 비가 며칠 지속적으로



〈그림 1〉 3월 21일~23일에 관측된 황사의(PM10) 먼지농도의 시간변동. 22일 14시에 3,006µg/m³이 관측되어 지난 10년간 관측 이후 최고 농도를 기록하였으며, 이는 평상시 먼지농도의 30배를 능가한다.



2001년 4월7일 21세기 최대의 황사 구름이 몽골리아, 만주와 평안도 일부에 영향을 주었고, 4월 14~17일에는 미국에 도착되었다.

내릴 때를 제외하고 먼지는 공기 중에 항상 떠 있고, 중국 북서부와 몽골리아에서 서~북서 기류에 따라 동반되는 황사 입자의 일부는 1년 중 약 1백50일 이상 떠 있을 수 있다. 그러므로, 황사 입자가 10, 50, 100µg 정도 있을 때 이를 황사로 관측 및 보고하면 국민에게 불안감과 불신을 주게 한다.

최근, 황사 관측을 지나치게 경쟁적으로 하고 있으며 보도 역시 그런 추세이다. 실제의 황사 농도가 900~1,400µg/m³ 인데 177µg/m³ 또는 250µg/m³이라고 해서 특필하는 등 보도자료 공급에 이상이 많이 있다. 관측 장비의 정비, 관측 센서를 보정도 하지 않은 채 고가 장비를 가동시켜 보도자료를 내놓는다. 장비는 훌륭한데 전문인력이 없고, 맹목적으로 측정하는 경우가 너무 많으며 전문가의 의견조차 무시되곤 한다.

본 연구실이 지난 1997~2000년의 황사를 연구하여, 황사의 사례는 인체에 해로운(potential) 수준의 TSP 농도 250µg/m³, PM10 농도 190µg/m³,

PM2.5 농도 85µg/m³ 이상이 두시간 이상 발생할 때 황사현상으로 분류 및 조사하였다. 이 방법으로 관측 분류하면 한반도에 매년 8~12 차례가 발생하여 12~22일간 영향을 주었으므로, 황

해 토양이 20~30cm 이상 산성화가 되어 있다. 본 연구실은 1990년대 초 황사비의 분석결과 중성 내지 염기성임을 밝힌 바 있다. 황사가 발생되면 중성화에 큰 도움이 되는 것으로 오도된 적이 있으나, 0.1mm 두께의 황사 입자 침전은 중화작용에 단기적일 뿐, 다음 10mm의 산성비가 내리면 0.1mm가 쉽게 다시 산성화될 수

대륙마다 발생 ... 수천km씩 이동 공기중 유해 무기물질 30배 이상 증가 한차례 불면 경제적 손실 약 1조원

사 1회 발생시 평균 1.5일 동안 피해를 준 것으로 연구되었다.

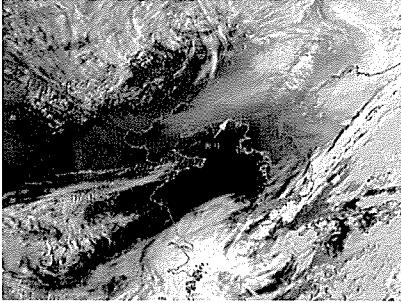
황사는 평상시 먼지 농도의 3~30배로 발생하고, 황사가 포함된 흙 비, 흙 눈은 차량 위와 유리창, 비닐하우스, 태양열 집열판 위를 흙 투성이로 만들어 마치 먼지 폭탄이 터진 듯하다. 눈 병과 호흡기 질환이 발병 또는 악화되고, 전자제품의 불량품이 증가하며, 교통, 건축 등 산업에도 큰 피해를 준다. 이를 경제적으로 환산하면, 우리 국민이 쓰는 세차비, 빌딩의 창 닦기 비용이 1천억원을 능가하며 큰 황사 1회의 총 피해액은 줄잡아 1조원을 능가한다.

한반도의 노년기 토질은 산성비에 의

있다. 황사 입자의 주성분은 Si, Al, Ni, Fe, As, Ca 등의 무기물이며 SO₄, NO₃⁻ 등의 유기물질도 포함되어 있다. 황사와 함께 무기물질이 평상시의 30배 증가하여 극히 해로운데 철분과 칼슘이 함유되어 인체에 좋은 장점도 있다고 말할 수 없다.

삼국사기, 삼국유사, 증보문헌비고 등에는 흙 비, 흙 눈, 황진(누런 먼지)의 발생 기록이 여러 차례 있으며, 중국은 상나라인 3,000년 전부터 기록하는 등 황사는 수 천년 발생된 자연 현상이며 재해이다.

1960년 이래 관측 조사된 황사 발원지의 황사 발생 횟수와 일수는 계속 증



2002년4월8일 금년도 두번째 큰 황사구름이 남만주, 한반도, 동해 및 일본에 영향을 주고 있다.

가되었다. 그러나 1년 중 60~1백20일이나 발생되던 황사 일수가 1990년 이래 약 10~20% 감소되었다는 중국과 몽골이아 과학자들의 일관된 발표는 최근 우리만 증가된 황사 관측의 국제적 표준화와 공동 조사 연구의 필요성을 크게 제고하고 있다.

1993년 한국·중국의 정상회담은 황사의 한·중 공동연구에 합의하였으며, 2001년에는 한·몽골이아

대통령이 황사와 환경 문제의 공동협력에 합의하였다.

황사가 구제역 바이러스를 동반할 것이라는 보도가 자주 있으며, 그 예방에 만전을 기해야 한다. 황사 발원지에는 목초가 없어 가축과 야생동물이 거의 없으며, 황사 입자는 늦어도 4일이면 한반도에 도착하고 1년 중 약 2백일은 북서-서풍 계열의 바람과 기류가 유입되는 우리의 대기환경적 현황은 황사가 구제역 바이러스를 동반 또는 발생시킬 가능성에 의문이 제기되고 그 가능성이 매우 희박하다고 할 수 있다(대한매일, 2001. 3. 6. 25쪽).

현재 사막화, 반사막화, 산림감소 등

이 기후변화와 함께 진행되고 있다. 이들을 어떻게 막고 황사 발생과 그 영향을 줄일 수 있는가는 매우 어려운 문제이다.

만리장성을 수백년 쌓았듯이 황하 등에서 물을 관개하여 반사막에 물을 대고 돼지감자와 같은 반사막에서 견디는 식물과 나무를 찾아 심고, 아울러 새로운 식물을 생명과학적으로 제조하여 심어야 할 것이다. 사막의 팽창을 막기 위해, 역으로 1년 200mm 이하의 강수 지역인 오아시스에 관개하여 초지와 수목지대를 팽창하면 사막화를 1/100이라도 막을 수 있을 것이다. 기후변화와 사막화는 21세기 최대의 환경문제이므로 국제협력으로 황사 정보와 지식을

이상이 예상될 때 발령을 제안한다. 황사 경보는 2시간(또는 그 이상 동안)의 TSP 농도 $500\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10 농도 $380\mu\text{g}/\text{m}^3$, 그리고 PM2.5 농도 $130\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상의 발생이 예상될 때 발령을 제안한다. 여기서 주의보와 경보의 빈도가 빈번함을 고려하여 기준치를 다소 상향 조정할 수 있으나 국민 건강을 위해 다소 낮은 값의 선택을 권장한다.

황사 발생지의 정보, 황사 구름의 이동과 예보는 기상 예보에 포함될 수 있으며 그 예보와 봉사 수준을 80% 이상의 적중률과 효율로 개선해야 한다. 황사 먼지 농도의 관측은 대기오염 항목의 하나이므로 환경부의 소관이다. 그리고 그 영향과 피해는 보건복지부, 농

림부, 건설교통부 등이 직·간접적으로 관련되어 있다. 그러므로 황사 특보와 예보에 관련된 현대적인 국민 봉사는 과거의 기상청과 환

표토 1백만톤, 5000m 상공까지 상승 구제역·인체 피해 여부 연구돼야 사막화 방지가 예방의 지름길

증진하고 반사막에 자랄 수 있는 식물 품종 개량과 조림 기술의 지원이 요구된다. 그리고, 현재 황사에 관한 우리 정부의 연구 투자가 전무인 상태로써 금년의 대 황사 유입과 재해는 큰 숙제를 안겨 주었다.

황사 주의보와 경보의 발령을 수년째 권장한 바 있다. 다행히도 국무조정실의 주선으로, 황사특보를 실시키 위해 본 연구팀 등 학계의 자문을 수렴하여 좀더 과학적인 황사 주의보와 황사 경보의 실시를 최근 권장하고 있다. 황사 주의보는 2시간(또는 그 이상 동안) 평균 TSP 농도 $350\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10 농도 $260\mu\text{g}/\text{m}^3$, 그리고 PM2.5 $110\mu\text{g}/\text{m}^3$

경부 등이 협동적으로 황사공동예보센터(Joint Forecasting/Operation Centre)의 설립과 그 시스템의 효과적인 운영이 바람직하다.

황사 경보가 발령되면 옥외 활동을 가능한 자제하고, 각급 학교는 일시 휴교 조치하고 각종 건축 공사, 소풍과 관광, 어업 활동 등도 중지되어야 한다.

황사가 $1,000\mu\text{g}/\text{m}^3$ 관측될 경우 창문을 닫아도 실내에는 그 절반 이상이 부유한다. 그러므로 황사를 90% 이상 제거할 수 있는 집진기와 공기정화기를 가정, 사무실, 공장 등에 설치하여 실내 공기 환경을 개선해야 한다. ㉞