

서애숙 >>
기상청 수원기상대장



최상희 >>
기상청 수원기상대 예보사

I. 서론

황사현상은 봄철 중국대륙이 건조해지면서 고비사막, 타클라마칸사막 등 중국과 몽골의 삼각지대 및 황하 상류지대의 흙먼지가 강한 상승기류를 타고 3천~5천m 상공으로 올라가 초속 30m 정도의 편서풍에 실려 우리나라에 날려 오는 것이다. 매년 봄철 한반도에 주로 나타나는 황사현상은 최근 중국의 중·북부 내륙지역의 사막화가 진행되면서 우리나라의 황사발생 횟수는 2000년 들어서 증가하는 추세이다(표 1). 특히, 2002년에는 매우 강한 황사가 발생하여 초등학교 등 휴교사태(4,373소), 호흡기 질환환자의 급증, 항공기 결항(164편), 반도체 등 정밀산업 업체의 일시적

황사 현황 및 예보 업무

공장 휴업 등 황사로 인한 피해가 증가하고 있다.

이에 따라 정부는 황사로 인한 피해를 기상재해로 인식하게 되었고, 기상청에서는 2002년 4월에 황사 특보제를 신설하여 시행하게 되었다.

황사를 예보하는데 있어서는 중국의 발원지의 토양상태와 기상조건, 그리고 우리나라까지 이동하기 위한 바람과 기압배치 등 여러 가지 기상조건이 변수로 작용하여 100% 예측이 쉽지 않으며, 최근 기상이변이 빈발하고 있어 황사에 대한 철저한 대비를 하여야 함을 물론 혹시 발생할 수 있는 피해를 최소화하기 위해 현재 기상청에서 운영하고 있는 예보현황과 우리나라의 황사대비책에 대해서 알아보려고 한다.

II. 본론

1. 황사의 특성

1.1. 우리나라의 황사발생조건

황사의 발생 조건은 발원지에 강수량이 적고 증발이 잘 되며 풍속이 강한 기상조건(겨울과 봄)이 되고, 봄철 해빙기에 토양이 잘 부서져 부유하기 적당한 20 μ m이하 크기의 먼지가 다량으로 배출(연 총배출량의 반 이상)되며, 지표면의 식물이 거의 없어야 한다. 발원지의 동쪽에 위치한 우리나라에까지 황사가 수송되

기 위해서는 약 5.5km 고도의 편서풍 기류가 우리나라를 통과하여야 한다. 그리고 상공에 부유중인 황사가 우리나라 지표면에 낙하하려면 적절한 기상 조건이 구비되어야 하는데 수송된 먼지가 우리나라 지표면에 낙하하기 좋은 기압배치는 고기압이 위치하여 하강기류가 발생할 때이다. 이와 같은 세 가지 조건이 잘 만족하는, 건조기인 봄철, 특히 4월에 우리나라에 황사가 자주 발생하고 있다.

1.2. 황사의 이동경로

황사의 이동 형태는 발원지, 기상조건 및 입자크기에 따라 다르나 중국, 몽골, 만주 사막지대 등 발원지에서 배출되는 황사량을 100%라고 했을 때, 30%는 발원지에서 재침식되고, 20%는 주변지역으로 수송되며, 나머지 절반이 편서풍을 타고 한국, 일본 등으로 이동하여 침적하게 된다. 우리나라에 관측되는 황사의 크기는 약 1~10 μ m 정도이며, 3 μ m 내외 입자가 가장 많다.

우리나라에 영향을 미치는 황사는 중국 고비사막이나 황하 중류의 황토지대가 주발원지이며, 서쪽에서 동쪽으로 부는 편서풍에 의해 2~4일 또는 3~5일 정도면 우리나라에 도달하게 된다. 일본의 큐슈, 시코쿠 지역 등에도 3~6일 정도면 도달하게 되나 대부

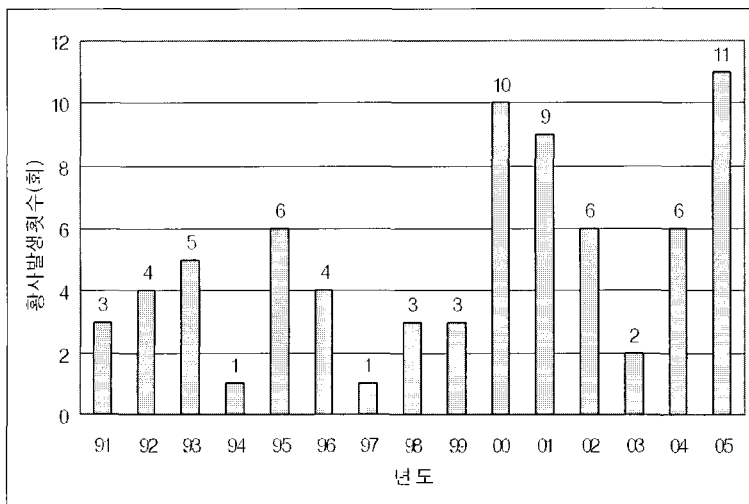
분 우리나라에서 소멸되어 일본까지 영향은 미비한 편이다. 그러나 1998년의 경우 제트기류를 타고 미국 서부지역까지 이동한 황사가 관측되었으며, 2001년에도 캘리포니아까지 이동한 것이 관측된 경우도 있다. 황사가 만주에서 발원하는 경우는 매우 드문 편이나, 한반도에 가장 근접한 발원지로 황사 발원 시 가장 빨리 우리나라에 영향을 줄 수 있기 때문에 주의 깊게 관찰해야한다.

1.3. 우리나라의 황사 발생현황

우리나라의 평년(71~00) 황사 발생일수는 3.6일 정도이며, 과거엔 1년에 3~6일 정도 발생하였으나, 중국의 급속한 사막화(전국토의 17.6%, 169km²)로 인하여 서울의 경우 80년대 3.9일, 90년대에는 7.7일, 다시 2000년대 이후에는 12.7일로 급격한 증가 추세를 보이고 있다. 특히 2001년에는 서울에서 황사 관측이 시작된 이래 가장 많은 27일을 기록했다.

2005년에 발생한 황사 횟수는 총 11회(3.18, 3.29, 4.7~9, 4.10~11, 4.14, 4.15, 4.20~21, 4.22, 4.28~29, 5.1, 11.6~7)로(표 1), 황사관측 발생일수는 17일이다. 2005년도의 황사발생의 특이 점은 2002년 이후 처음으로 11월에 드물게 황사가 관측된 것이다(그림 1).

표 1. 연도별 황사발생 횟수



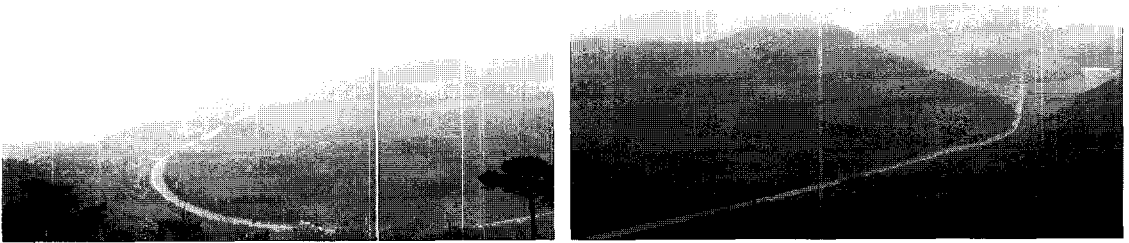


그림 1. 2005년 11월 6일 백령도에서 관측된 황사(시정 3km)

2. 기상청의 황사예보업무

기상청에서는 황사업무를 평상시와 비상시로 구분하여 운영하고 있고 단계별로 임무를 수행하고 있다.

2.1. 황사예보 방법

- 가. 황사예보는 황사정보·황사예비특보·황사특보(주의보·경보)로 나누어 발표한다.
- 나. 황사정보는 황사발생가능성 및 황사에 대한 동태를 국민에게 알릴 필요가 있을 때 발표한다.
- 다. 황사에 의한 미세먼지 농도가 황사특보 기준에 도달할 것으로 예상되면 황사특보를 발표한다.
- 라. 특보를 대치발표 할 때에는 특보제목은 발표될 특보명을 표기하고, “□ 내용”중 첫머리에 “※○○를 ○○로 대치 발표함”을 기재하여야 한다.
- 마. 황사예비특보는 황사특보 가능성이 예상될 때 이를 미리 일반 국민이나 재해대책기관에게 알려 대비할 수 있도록 발표한다.
- 바. 예상 농도가 주의보 기준을 초과할 것으로 예상될 때는 주의보 단계를 거치지 않고 바로 경보를 발표할 수 있다.
- 사. 황사특보는 황사현상이 나타날 것으로 예상되는 시각으로 발표할 수 있으나, 발표 당시 황사현상이 있을 때는 발표와 발효시각을 같게 할 수 있다.

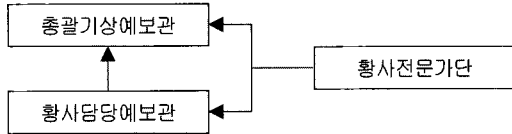
- 아. 황사정보와 황사특보의 발표호수는 각각 구별하여 순차적으로 작성하되 각 예보관서(본청, 지방청, 기상대) 별로 호수를 부여한다(월별로 호수 재지정, 예: 월 - 발행번호). 다만, 본청에서 발표한 각종 기상정보·특보를 지방기상청 및 기상대에서 재통보 할 때는 발표 기관명 바로 밑에 “○○지방기상청 또는 ○○기상대 제공”으로 표기하고 통보할 수 있다.
- 자. 황사정보와 특보의 내용 중 농도(현재, 예상)를 발표한다.
- 차. 황사경보가 발효 중인 경우, 매시 황사속보를 발표한다.

2.2. 황사예보 내용

- 가. 황사정보는 황사 이동 상황, 발생 가능성, 경계 사항과 예비특보현황 등을 포함한다.
- 나. 황사예비특보는 황사특보 발표시기와 구역(광역예보구역으로 수행) 등을 포함한다.
- 다. 황사특보문에는 해당구역 및 발효시각, 예상농도, 특보발효현황·예비특보발표현황 등을 포함한다.
- 라. 황사경보 발표 후 당초 예상농도를 초과할 것으로 예상될 때는 그 내용을 수정하여 황사정보(속보)를 발표하고, 동시에 황사 이동상황과 앞으로의 전망 등을 발표한다.

2.3. 황사업무체계

가. 평상시



○ 임무

<총괄기상예보관>

- 황사의 감시 및 예보 총괄
- 황사담당예보관, 황사전문가단의 보좌를 받아 황사예보(특보 포함)를 생산하여 통보한다.

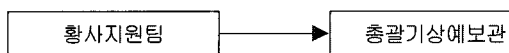
<황사담당예보관>

- 황사전문가단의 자문을 받아 발원지의 지면상태, 상층대기의 흐름, 국내외 황사관측 자료와 예측모델의 결과 등을 분석한 '황사 분석 및 예측'을 작성한다.
- 단, 휴일과 황사담당예보관 부재 시의 '황사 분석 및 예측'은 당직 예보관이 작성한다.
- 황사관련 업무에 대하여 총괄기상예보관을 보좌한다.
- 황사예보체계에 대한 개선 및 발전방안 수립, 황사관측 및 예보관련 자료의 수집 등 황사예보관련 업무 일체를 수행한다.

<황사전문가단>

- 발원지의 지면상태, 건조도, 상층대기의 흐름, 국내외 황사관측 자료와 예측모델의 결과를 분석, 토의하여 황사담당의 업무를 지원한다.
- 총괄기상예보관에게 황사예보 및 황사업무 관련 사항을 자문한다.
- 황사예보체계에 대한 개선 및 발전방안을 토의하여 황사담당의 관련계획을 수립, 지원한다.

나. 비상근무시



○ 임무

<총괄기상예보관>

- 황사의 감시 및 예보를 총괄한다.
- 황사지원팀의 보좌를 받아 황사예보(속보, 정보, 특보 포함)를 생산하여 통보한다.

<황사지원팀>

- 발원지의 지면상태, 상층대기의 흐름, 국내외 황사관측 자료와 예측모델의 결과 등을 분석하여 기상(황사)정보, 속보, 예보 등 작성을 보조한다.

2.4. 황사업무 단계

가. 1단계 : 발원지의 황사 발생 감시

- 지상관측 자료 분석 : 지상일기도, 황사일기도 및 중국 현지 PM10 관측 자료 활용
- 위성영상 분석 : 위성 관측영상(GOES, NOAA MODIS 등) 활용

나. 2단계 : 발원지 황사 발생시 한반도 이동 가능성 분석

- 기압배치, 위성영상, 지상관측, 상층 및 지상 풍향·풍속 분석
 - 황사예측 수치모델 자료 분석 : 강도 및 유적선도 예측모델 자료
 - 수치예보 모델 분석 : 전지구모델 및 지역모델 예보자료

다. 3단계 : 발원지부터 계속 추적

- 추적인자 : 지상관측자료, 위성영상(NOAA, GOES, MODIS)
- NOAA 위성으로 관측되는 경우 거의 황사 층일 가능성이 크며, NOAA 위성으로 관측이 되지 않더라도 GOES 위성으로 관측되고 황색 pixel이 일정 면적 뭉쳐 있으면 황사 층일 가능성이 높음.
- 황사 발원지 및 이동경로상(대련, 헤민)의 PM10 관측자료 확인

라. 4단계 : 황사 예보, 정보, 특보 발표

- 위도 35N~45N, 경도 115E~125E 범위의 지상 일기도에 S 또는 S의 관측 보고가 3개 이상 밀집되어 있고, 위성영상에서 황사가 관측되며, 황사 유입 형태의 기압배치와 유사하면, - 850 및 700hPa의 유적선 등이 한반도로 이

- 동하는지 수치예보자료 확인
- 황사예보모델의 예상 농도 및 영향 범위 확인
- 예상 황사 유입이 예상될 경우 정규 예보 시각에 황사 예보 발표
- 유입되는 황사의 농도가 황사 정보 및 특보 발표 기준에 도달할 것으로 예상될 경우 정보 및 특보 수시 발표

- 마. 5단계 : 국내 황사 유입 여부 감시
 - 지상관측소의 육안 관측
 - 시정 관측(8km 미만 및 약간의 황적갈색을 띠는지 확인)
 - 기압골이 통과하고 대륙기단이 지배함에도 불구하고 신선하다는 느낌보다는 메케한 느낌을 받을 때

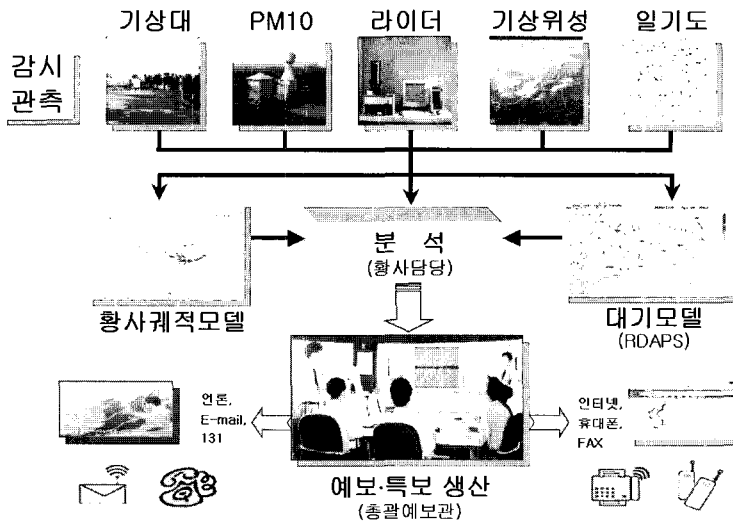


그림 2. 황사 예보업무의 전과정

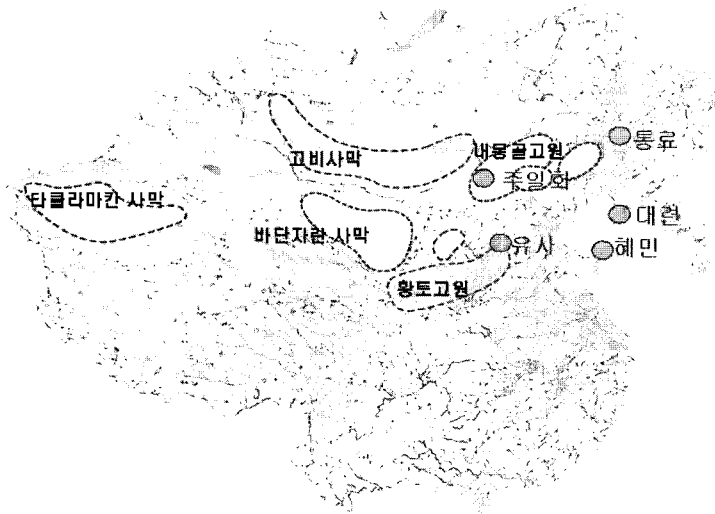


그림 3. 황사발원지 및 한·중 공동황사관측소 5소

- 자동차 등 야외에 노출되어 있는 곳에 황색의 물질이 침착되었을 때
- 황사 관측망 활용 : PM10, LIDAR 관측자료 분석
 - 기상청 및 환경부 관측자료 확인
 - 절대값보다는 농도의 변화 추이에 주목(PM10 농도가 갑자기 상승했다거나, 갑자기 상승한 후 일정한 값이 계속 유지할 경우 황사 가능성)
- 바. 6단계 : 황사 국내 유입 시 보도자료 작성 및 배포
- 황사의 국내 유입 사실을 신속히 알려 언론의 통일된 보도를 유도하고 국민의 혼란 방지가 필요하다고 판단될 때(농도가 황사 정보 및 특보 기준에 미달된 황사 유입 시에도 유입 현황 내용을 담은 자료 배포)

기상청에서는 황사에 대처하기 위하여 앞에서 설명한 바와 같이 단계별로 다양한 방법으로 황사를 관측하고 실시간으로 황사자료 수집을 하고 있으며 이 수집된 자료를 슈퍼컴퓨터를 통하여 예보에 필요한 황사예측모델을 생산한다. 이러한 모든 자료를 종합적으로 분석한 결과를 바탕으로 황사의 이동방향과 앞으로의 전망 등을 예측하여 황사의 특·정보를 발표하고 있다(그림 2).

그리고 2005년 3월부터 한·중 공동 황사 관측망을 구성하여 중국의 황사자료를 실시간으로 수신함은 물론 국내의 황사관측망도 지속적으로 확충하여 황사를 보다 정확하게 관측하기 위하여 노력하고 있다(그림 3).

또한 2005년부터 기상청 홈페이지를 통해서 각종 기상자료 뿐만 아니라 황사 농도, 황사일기도, 위성영상 및 황사농도모델 등을 제공하고 있다.

사의 발생 및 이동이 워낙 불규칙하기 때문이기도 하지만, 황사가 발생해서 가라앉을 때까지 입체적으로나 정량적인 관측 자료가 없었기 때문에 황사의 발생과 이동에 관한 수치모델의 정확도 향상을 기할 수 없었다. 이러한 문제점을 해소하기 위해서 2005년도 3월 15일부터 26일까지 12일간 한국의 서울 1개소, 중국의 베이징, 청도, 헤베이, 악수, 치라, 둔황, 사바투 등 7개소, 일본의 나하, 후쿠오카, 나고야, 쓰쿠바 등 4개소에서 황사 집중관측을 실시하였으며, 이는 황사가 발생해서 한국과 일본으로 이동해가는 구조를 이해하여 궁극적으로 황사예측 수치모델의 향상을 기하고자 기획되었다.

또한 기상청에서는 황사 전용 홈페이지(<http://yellow.metri.re.kr>)를 2005년도 3월부터 개통하여 운영하고 있으며, 이 홈페이지는 봄 황사전망, 황사에 대한 과거자료, 이론 등 황사에 대한 모든 것이 담겨 있어, 일반 국민은 물론 각 산업분야에서 황사에 대한 정보를 쉽게 접할 수 있게 하고 있다.

그동안 활용되었던 육안 관측 자료와 위성 황사영상자료에, 직접 관측한 정량적 관측 자료를 활용할 수 있게 되어 황사에 대한 조기 감시가 가능하게 되었다. 또한 지속적인 노력을 통하여 연구인력과 연구개발비를 확보하여 국민에게 정량적 황사예보 지원 기반을 구축하기 위한 노력을 하고 있고, 또 국내 대학교와 학·연 협동연구를 통하여 서로의 노하우, 연구정보를 공유하고 기술을 축적하고 있으며, 우리나라, 중국, 일본, 몽골 등의 국가와 황사 공동연구를 통하여 현지 황사감시망을 구축하고, 미국, 캐나다 등의 황사예측기술 공동연구 기반을 구축함으로써 황사의 예측능력을 향상시킴으로써 황사로 인한 피해를 줄일 것으로 기대된다.

III. 맺음말

지금까지 황사의 양적 예보가 어려웠던 이유는 황

참고문헌

1. 기상청, 방재기상업무지침 2005
2. 정부황사종합대책, 2005