

# Cover Story

## 봄철 황사대책



**김 종 춘**

국립환경과학원 대기환경연구과장  
cleanair@korea.kr

### I. 황사 현황

#### 1. 황사의 정의

봄철에 주로 발생하는 ‘황사’는 중국 북부와 몽골의 사막 또는 황토 지대의 작은 모래·황토·먼지 등이 모래폭풍에 의해 하늘에 부유하거나 상층 바람을 타고 멀리까지 날아가 떨어지는 현상을 말하는 것으로, 우리나라에서는 1910년 이후부터 이 용어를 사용하기 시작하였다.

- 중국에서는 모래폭풍(沙塵暴, sand storm)
- 일본에서는 황사(黃砂, Kosa)
- 세계적으로는 아시아먼지(Asian dust)



#### 2. 황사 발원지와 이동경로

황사 발원지는 몽골과 중국의 사막지대인 타클라마칸, 바단자란, 텐젤, 오르도스, 고비지역 및 만주와 황하중류의 황토지대인 황토고원이다.

우리나라에 영향을 미치는 황사 발원지는 북위 40도 부근의 고비사막, 내몽골고원-만주지역, 황토고원과 타클라마칸사막이었으나, 2000년 이후에는 고비사막의 동쪽에 위치한 내몽골고원과 해발고도 2km 이하의 만주지역 등에서도 많이 발원하였다. 2006년부터 2010년까지 우리나라에 영향을 미친 황사발원지는 고비·내몽골(71%)이며 만주지역을 포함한 중국 북동지역(21%), 황토고원(8%) 순이다.

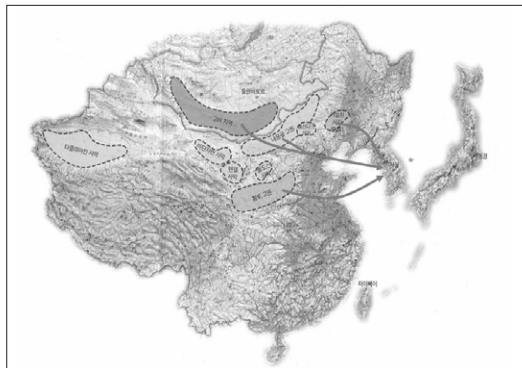


그림 1.1. 황사 발원지 현황

표 1.1. 황사 발원지와 이동경로('06~'10)

이동경로	비율(%)
고비·내몽골 → 화북 → 서해 → 한반도	71
만주 등 중국북동지역 → 요동반도 → 북한(해상, 육상) → 한반도 중부	21
황토고원 → 화중 → 산둥반도 → 한반도	8

(출처 : 기상청)

## II. 황사 발생 현황

### 1. 황사발생 일수

몽골과 중국의 주요 황사발원지에서 발생한 황사가 우리나라에서 관측된 일수는 2000년부터 급증하는 현상을 보이며 2003년도에는 황사 발원지에 강설 등의 원인으로 황사발생이 급감하였다가 다시 증가하는 추세이다. 2010년도에는 15차례의 황사가 발생하여 총 25일간 영향을 주었다.

### 2. 서울의 황사발생일수

서울지역 황사 발생일수는 1990년도 후반부터 증가하는 것으로 나타났으며 2001년도에는 총 27일이 관측되었다. 2010년도에는 15일이 관측되어 최근 5년간의 발생일수보다 많은 횟수의 황사가 관측되었다.

### 3. 2010년도 황사 발생횟수 및 이동경로

2010년도에 발생한 황사 횟수는 총 15회로 발생

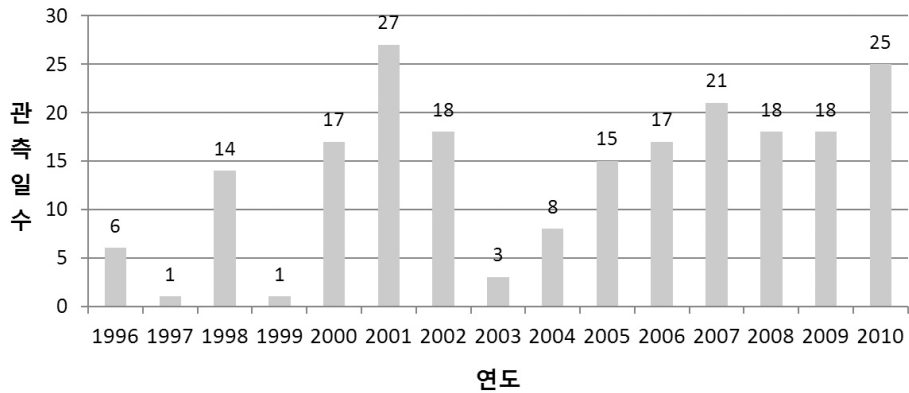


그림 2.1. 황사 발생 일수('96~'10)

(출처 : 기상청)

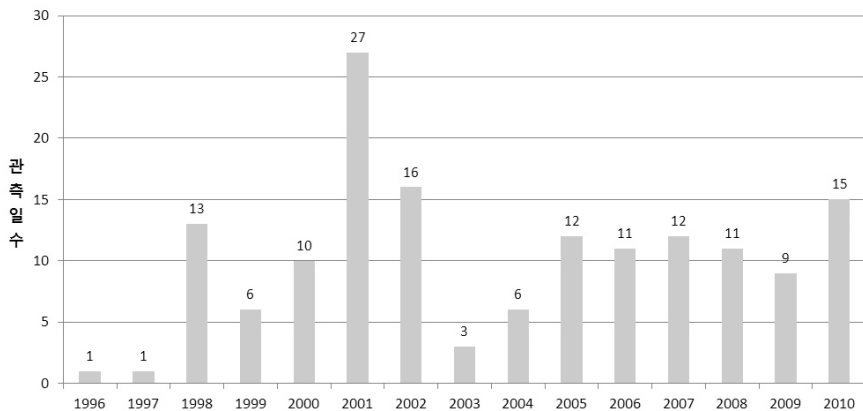


그림 2.2. 서울지역 황사 발생 일수('96~'10)

(출처 : 기상청)

기 | 획 | 특 | 집

일수는 25일이었다. 황사특보가 발효는 3회였으며, 이 중 황사주의보가 1차례(3월 15~16일), 황사경보가 2차례(3월 20~21일, 11월 11~13일) 발효되었다. 2010년도 황사는 60%가 몽골/내몽골에서

발원하였으며, 주요 황사발생철인 봄철(10회)에 가을(2회)·겨울철(3회)에 비해 더 빈번하게 발생하였다.

표 2.1. 황사 발생일과 발원지 및 이동경로

횟수	월/일	미세먼지 시간최고농도*	발원지와 이동경로**
1	01월 25일	460 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (수도권 대기오염집중측정소)	내몽골/만주 → 요동반도 → 백령도 및 서해 → 북한(사리원) 및 중부(서울, 경기) → 일본(큐슈)
2	3/12 ~ 13	510 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (강원 천곡동)	몽골/내몽골 → 요동/발해만 → 북한 → 전국
3	03월 13일	397 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (광주 충금동)	만주 → 북한 → 백령도 → 중부(서울, 경기) → 호남 → 일본(큐슈)
4	3/15 ~ 16	796 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (경기 금촌동)	몽골/내몽골 → 만주 → 북한 → 전국 → 일본(큐슈, 혼슈)
5	3/20 ~ 21	3,135 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (대구 노원동)	몽골/내몽골 → 발해만/산둥 → 전국 → 일본(큐슈, 시코쿠)
6	3/23 ~ 24	372 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (광주 충금동)	내몽골 → 만주(상공) → 북한(상공) → 강원, 남부지방 → 일본(중부)
7	4.1	306 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (백령도 대기오염집중측정소)	몽골/내몽골 → 만주 → 백령도
8	4/2~3	278 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (충북 송정동)	만주 → 북한 → 중부 → 경상 → 일본(북부)
9	04월 27일	231 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (부산 대저동)	몽골/중국 북서부 → 황토/화남 → 남부지방 → 일본(큐슈) → 일본 류큐열도
10	5/8 ~ 9	345 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (경북 공단동)	몽골/내몽골 → 요동 → 발해만 → 서해 및 남서지역
11	5/10 ~ 11	318 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (대전 문창동)	몽골/내몽골 → 요동/발해만 → 중부 및 남서지역
12	11/11 ~ 13	1,932 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (인천 동춘동)	중국 북부/고비 → 황토고원/산둥 → 백령/서해 → 전국
13	11월 27일	415 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (충북 용암동)	몽골/내몽골 → 요동/발해만 → 백령도 → 중부 및 남서지역
14	12/2 ~ 3	482 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (경남 경화동)	몽골/내몽골 → 요동/발해만 → 백령도/전국/북한
15	12/10 ~ 11	419 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (인천 동춘동)	몽골/내몽골 → 요동/발해만 → 북한/백령도/전국

(출처) \*: 황사발생 도시 중 시간 최고 농도(괄호안은 최고 농도가 나타난 측정지점명, 환경부 측정망 자료)

\*\* : 기상청 자료

#### 4. 2010년도 황사 성분분석 결과

황사 중 유해물질 모니터링을 위해 미세먼지 질량농도 뿐만 아니라, 이온 및 탄소성분, 금속성분 농도를 분석하였다. 황사 중 미세먼지(PM-10)의 질량농도와 화학적 성분조성은 1시간 단위로 실시간 측정된 결과를 평균하였다.

#### • 황사의 성분조성

2010년도에 발생한 황사시 미세먼지 평균농도는 백령도와 수도권에서 각각 229  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 240  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 비황사시 64.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 51.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비해 각각 4.7배, 5.1배 높게 나타났다.

표 2.2. 2010년 황사시/비황사시 미세먼지 성분조성 비교

(단위 :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

측정항목		백령도 집중측정소		수도권 집중측정소			
		황사	비황사 비황사	황사/ 비황사	황사	비황사 비황사	황사/ 비황사
질량농도	PM-10	229	48.5	4.7	240.4	47.4	5.1
	PM-2.5	64.5	18.3	3.5	51.6	26.2	2
이온성분	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	15.9	8.1	2	7.66	7.03	1.1
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	8.4	3.2	2.6	5.36	4.93	1.1
	K <sup>+</sup>	5.5	1.4	4	0.14	0.29	0.5
	Mg <sup>2+</sup>	0.6	0.2	2.8	0.09	0.03	3.2
	Ca <sup>2+</sup>	4.5	0.6	8.1	0.9	0.15	6
탄소성분	OC	5.99	2.11	1.4	5.02	3.85	1.3
	EC	4.35	1.05	2	1.39	1.5	0.9
중금속성분	Ca	8.17	0.82	9.9	1.9	0.18	10.6
	Fe	7.27	0.91	8	2.31	0.32	7.1
	K	4.57	0.83	5.5	1.32	0.28	4.7
	Ti	0.58	0.09	6.3	0.18	0.01	15.4
	Mn	-	-	-	0.06	0.02	3.6
	V	-	-	-	0.01	0.01	1.5
	Cr	-	-	-	0.02	0.01	2.8
	Co	-	-	-	0.013	0.005	2.5
	Ni	0.02	0.004	4.5	0.006	0.004	1.5
	As	0.007	0.004	2	0.003	0.001	4.4
	Se	0.008	0.003	2.5	0.003	0.002	1.5
	Pb	0.351	0.049	7.1	0.06	0.04	1.7

2010년 백령도 및 수도권 대기오염집중측정소에서 측정된 황사와 비황사시 PM-10 중 이온과 탄소, 중금속성분의 평균 조성비를 살펴보면, 비황사시에 비해 황사시 이온과 탄소, 중금속성분 외 물질의 비중이 높은 것으로 나타났다. 이는 일반적으로 황사에 영향을 주는 발원지 토양이 주로 광물형태로 구성되어 있어 실시간 측정에 사용된 비파괴 중금속 분석법으로는 이러한 광물성분을 분석하기

어렵기 때문에 사료된다. 이온과 탄소성분의 평균조성을 살펴보면, 백령도 측정소의 경우 이온성분 중 칼슘(Ca<sup>2+</sup>), 칼륨(K<sup>+</sup>), 질산염(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) 이온 조성비가 증가한 반면, 황산염(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)이온은 비황사시에 더 많은 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 또한 수도권 측정소의 경우 이온성분 중 칼슘(Ca<sup>2+</sup>), 마그네슘(Mg<sup>2+</sup>)의 이온 조성비가 다소 증가한 반면, 황산염(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), 질산염(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)와 칼륨(K<sup>+</sup>)

기획특집

이온은 비황사사에 더 많은 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 수도권 측정소의 탄소성분 중 유기탄소(OC) 성분은 황사와 함께 조성비가 증가한 반면, 원소탄소(EC)는 약간 감소하였는데 이는 황사 발생지역의 토양분석결과에서 원소탄소는 거의 검출되지 않는 반면 토양 내 유기물의 영향으로 유기탄소는 비교적 높게나온 기존의 연구결과를 고려할 때 황사시 발원지 토양 중 유기물의 영향을 일부 받았기 때문으로 보인다(국립환경과학원, 2008).

### Ⅲ. 황사 대책

#### 1. 환경부 황사 상시측정망 운영

환경부 및 지방자치단체에서는 총 10개 종류의 측정망(도시대기, 도로변대기, 산성강하물, 국가배경농도, 교외대기, 대기중금속, 유해대기물질, 광화학오염물질, 시정거리, 지구대기)을 운영하고 있다. 이 중 도시대기측정망과 국가배경농도측정망의 PM-10 자료를 황사 감시에 이용하고 있다. 2010년 12월말 도시대기측정망은 236개소, 국가

(백령도 측정소)

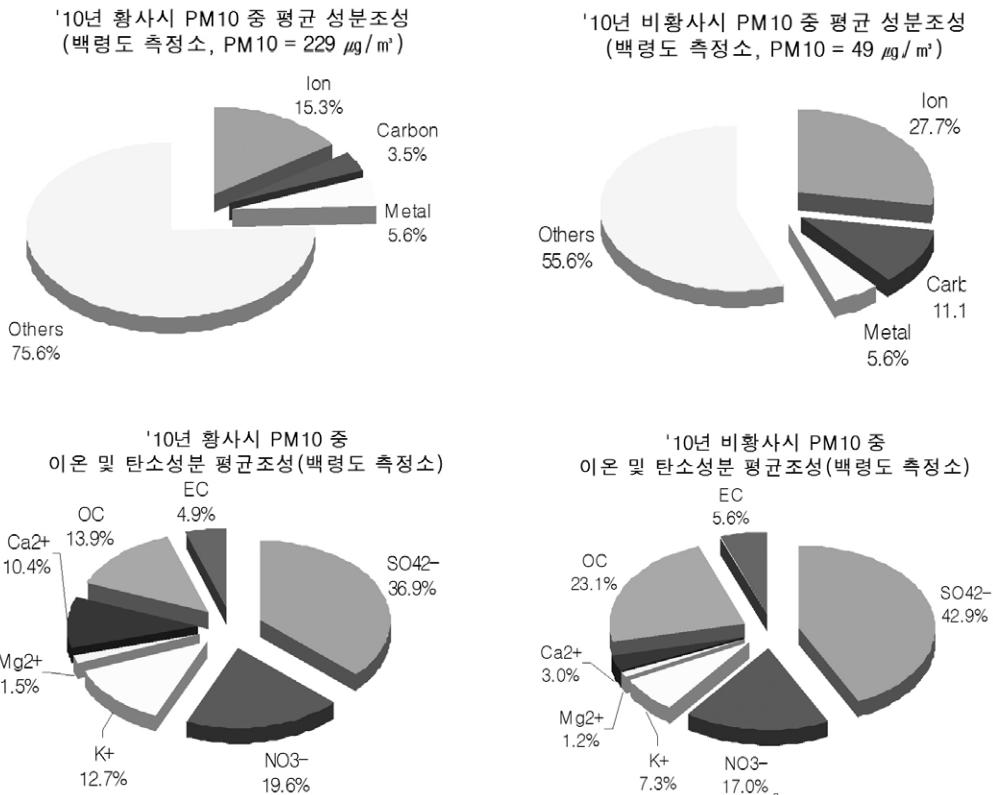
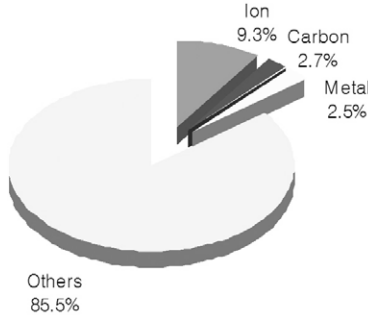


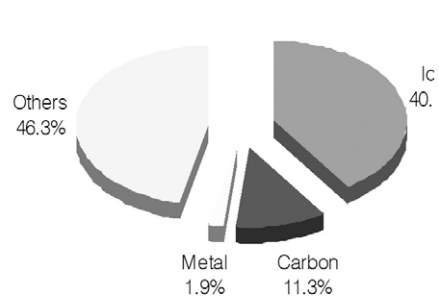
그림 2.3. 2010년 황사/비황사시 성분 비교

(수도권 측정소)

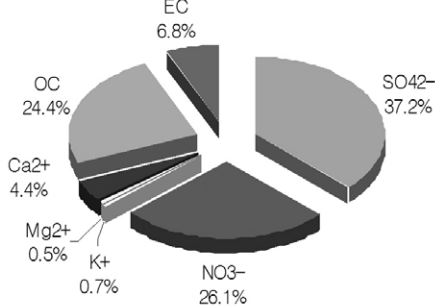
'10년 황사시 PM10 중 평균 성분조성  
(수도권 측정소, PM10 = 240 ug/m3)



'10년 비황사시 PM2.5 중 평균 성분조성  
(수도권 측정소, PM2.5 = 47 ug/m3)



'10년 황사시 PM10 중 이온 및 탄소성분 평균조성(수도권 측정소)



'10년 비황사시 PM2.5 중 이온 및 탄소성분 평균조성(수도권 측정소)

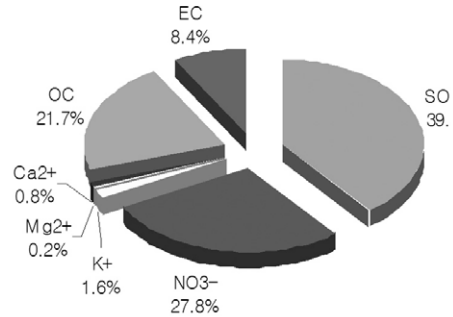


그림 2.4. 황사/비황사시 성분 비교

배경농도측정망은 5개소가 설치되어 있다. 특히, 2006년부터 황사 등 장거리이동 대기오염물질을 집중 측정·감시하기 위한 대기오염집중측정소를 권역별로 구축하여, 2008년 백령도와 수도권(서울), 2009년 남부권(광주) 측정소를 구축하여 운영 중에 있으며, 2010년 하반기에 중부권(대전) 측정소를 설치하였고 2011년 제주도(제주 애월읍), 2012년 울산에 측정소를 추가 설치 예정이다.

## 2. 황사 시 중금속 성분 측정 및 분석

환경부에서는 2007년 3월부터 '황사 시 중금속

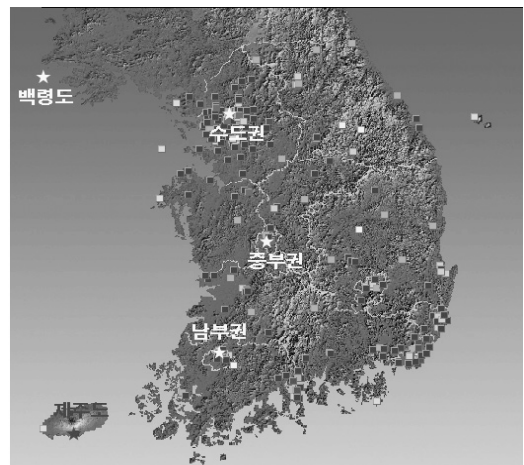


그림 3.1. 대기오염측정망 구축 현황

기획특집

성분 측정·분석 운영지침 ‘을 마련하고 기존 대기 중금속 상시측정망을 활용하여 황사 시 입자상물질 중 중금속 성분 분석을 하고 있다. 또한 2008년 4월, 11월, 2011년 5월에 운영지침을 일부 개정하여 황사 발생 시 서울 등 15개 시·도에서 24시간 간격으로 납(Pb), 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu), 망간(Mn), 철(Fe), 니켈(Ni), 알루미늄(Al), 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg) 등의 중금속을 분석하고 있다. 이때는 지자체별로 황사발생정보 및 관내 측정

소별 미세먼지 농도를 종합적으로 판단하여 시료 채취 종료 후 4~5일 이내에 중금속 분석을 하여 국립환경과학원에 제출하도록 하고 있다.

### 3. 황사 실시간 측정·감시

환경부 상시측정망이 위치한 주요 도시지역과 국가배경지역에서의 황사 중 미세먼지(PM-10) 농도변화는 국가대기오염정보관리시스템(NAMIS)

표 3.1. 황사 실시간 측정장비 현황

측정항목		측정장비명			가동 및 측정주기
		백령도	수도권	남부권	
PM10	질량농도	Beta-Dust Meter (Verawa, F-701)	Beta-Dust Meter (Thermo, FH-621)	Beta-Dust Meter (Verawa, F-701)	연속측정 (5분~1시간)
	이온성분	Ambient Ion Monitor Ambient Ion Monitor (URG)			연속측정(1시간)
	탄소성분	Semi-Continuous EC/EC analyzer (Sunset)			연속측정(1시간)
	중금속성분	On-line XRF (Cooper)			연속측정(1시간)
PM2.5	질량농도	Beta-Dust Meter (Verawa, F-701)	TEOM (Thermo, 1400a)	Beta-Dust Meter (Verawa, F-701)	연속측정 (5분~1시간)
입경별 수농도	0.01~0.54 $\mu$ m	-	SMPS (TSI)	-	연속측정(30분)
	0.54~20 $\mu$ m		APS (TSI)		연속측정(30분)

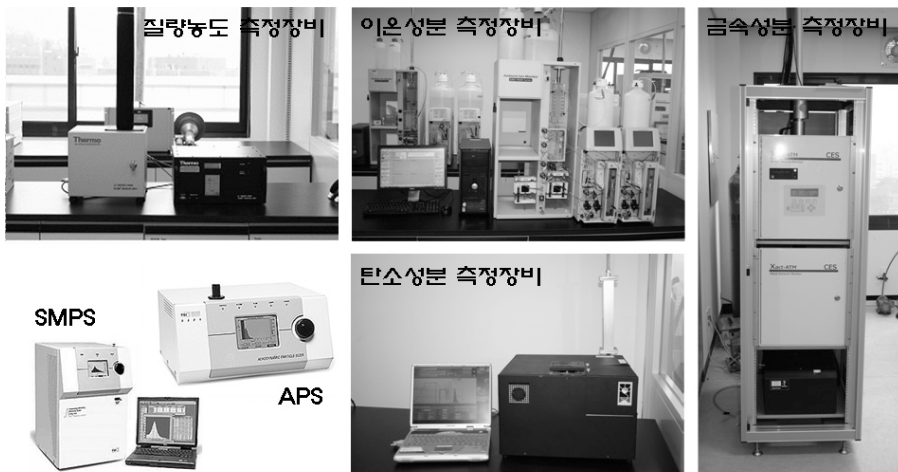


그림 3.2. 황사 성분 측정장비



을 통해 실시간으로 감시하고 있다. 특히 2006년부터 국립환경과학원에서 구축한 대기오염집중측정소인 백령도('07.10월), 수도권('08.7월), 남부권('08.12월), 중부권('10.11월) 측정소에서 실시간으로 모니터링감시하고 있다. 실시간 모니터링을 위해 대기 중 미세먼지(PM10, PM2.5) 질량농도와 이온성분(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>), 탄소성분(OC, EC), 중금속성분(Ca, Fe, K, Ti, Mn, V, Cr, Co, Ni, As, Se, Pb)의 농도를 1시간 간격으로 측정하고 있으며 입경분포는 SMPS(Scanning Mobility Particle Sizer)와 APS (Aerodynamic Particle Sizer) 정밀 측정 장비를 사용하여 약

0.01 $\mu$ m부터 20 $\mu$ m까지의 입자의 개수 및 질량농도를 측정한다.

#### 4. 황사특보 및 판정 기준

기상청에서 예보하고 있는 황사특보는 1시간 평균 미세먼지 농도가 400  $\mu$ g/m<sup>3</sup> 미만인 옅은 황사의 경우 예보는 하지만 특보는 발령하지는 않는다. 그러나 1시간 평균 미세먼지 농도가 400~800  $\mu$ g/m<sup>3</sup>인 짙은 황사의 경우 “황사주의보”, 1시간 평균 미세먼지 농도가 800  $\mu$ g/m<sup>3</sup> 이상인 매우 짙은 황사의 경우 “황사경보”를 발령한다.

표 3.2. 황사특보 발표 기준

구분	황사강도의 기준
주의보	1시간 평균 미세먼지 농도가 400 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이상, 2시간 이상 지속될 것으로 예상
경보	1시간 평균 미세먼지 농도가 800 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이상, 2시간 이상 지속될 것으로 예상

※ 황사강도 예보기준(출처 : 기상청)

- 옅은 황사 : 황사로 인해 1시간 평균 미세먼지 농도가 400 $\mu$ g/m<sup>3</sup> 미만 예상될 때
- 짙은 황사 : 황사로 인해 1시간 평균 미세먼지 농도가 400~800 $\mu$ g/m<sup>3</sup> 정도 예상될 때
- 매우 짙은 황사 : 황사로 인해 1시간 평균 미세먼지 농도가 800 $\mu$ g/m<sup>3</sup> 이상 예상될 때

#### 5. 황사 대책

황사피해방지 종합대책의 일환으로 황사 발생 시 환경부, 국립환경과학원(대기환경연구과), 환경관리공단 및 각 시·도 보건환경연구원의 유관기관과 협력하여 황사 발생에 대해 신속대응 체계를 갖추고 있다. 황사 비상대응반에서는 기상청 등(뉴스 미디어, SMS 통보, NAMIS, Airkorea)으로부터 황사 발생 여부를 파악하여 유관기관 등에 협조요청 및 각 시·도 보건환경연구원의 황사 측정망 관련 담당자에게 중금속 측정·분석 협조 요청을

하고 있다. 또한 환경부에 실시간 성분분석 결과를 포함한 황사발생 상황보고 하고, 황사 발생 종료 후에는 관련 기관들의 자료를 취합하여 종합보고를 수행하고 있다.

또한 국립환경과학원은 황사발생 종합보고자료를 작성하고 환경부 및 지방자치단체의 홈페이지 및 실시간 정보공개시스템(Airkorea)을 통해 일반에게 공개하고 있다.



기획특집

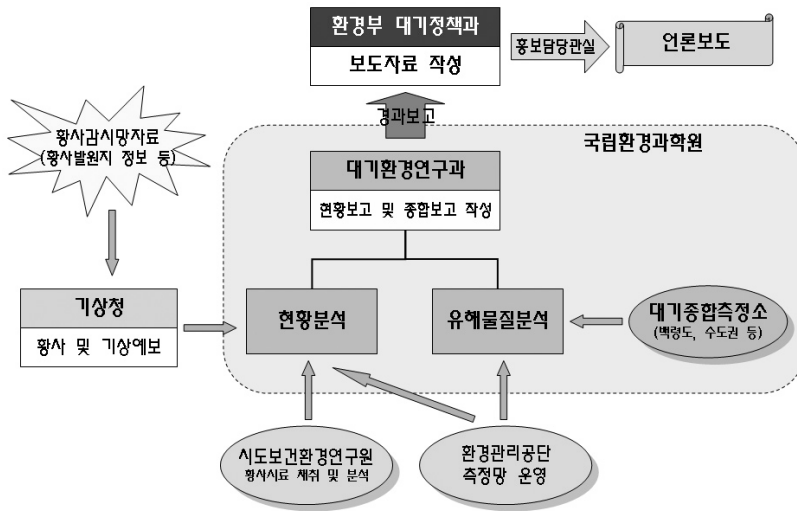


그림 3.3. 황사시 대응 체계도

참고 자료

황사 경보 발령시 학교 임시휴업, 실외 체육경기 취소 등 기준

• 황사 경보 발령단계별 시·도 교육청 조치사항

발령 단계		조치사항
황사 예보 (강한 황사)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대책반 설치·운영(기상청 발표상황 수시 파악)</li> <li>• 비상연락망 가동 준비</li> </ul>
황사 특보	주의보	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비상연락망 가동</li> <li>• 실외·야외활동 자제 ※방진 마스크 등 착용 조치</li> </ul>
	경보	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대응조치 발령(교육감): 지역 및 적용 학교 결정</li> <li>- 등·하교시간 조정, 임시휴업 등 상황에 따른 조치</li> </ul>

• 실외경기 개최 자제 및 취소 권고기준

구분	발령기준	경기개최 여부
주의보	먼지농도가 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간이상 지속예상	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 국제스포츠기구 경기일정에 따른 국제경기의 경우 개최 자제 권고</li> <li>② 친선국제경기, 국내 프로 및 종목별 대회 등의 경우 개최 취소 및 연기 권고</li> </ul>
경보	먼지농도가 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간이상 지속예상	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 국제스포츠기구의 경기일정에 따른 국제경기의 경우 개최 취소 및 연기 권고</li> <li>② 친선국제경기, 국내 프로 및 종목별 경기의 경우 개최 취소 및 연기 권고</li> </ul>