

Cover Story

황사피해방지 대책



김 경 립
 강원지방기상청 예보과 기상사무관

I. 황사 현황

1. 황사(Asian dust) 정의

봄철에 주로 찾아오는 황사는 아시아 대륙의 중심인 몽골과 중국의 사막지역, 내몽골 고원, 황하 중류의 황토고원에서 한랭전선의 후면에서 부는 강한 바람이나 지형에 의해 만들어진 난류로 인해 다량의 먼지가 공중으로 떠올라 상층 바람을 타고 멀리까지 이동하면서 지표에 천천히 떨어지는 현상을 말한다. 황사는 사막이나 건조한 곳에서 잘 나타나며, 아시아 대륙에서 생기는 것을 ‘아시아 먼지’, 아프리카 대륙 북부의 사하라 사막에서 생기는 것을 ‘사하라 먼지’ 라고도 한다. 예로부터 우리나라에서는 먼지가 떨어지는 현상을 ‘토우(土雨)라 하였으며, 국립국어원(1999)의’ 표준국어대사전 ‘에도’ 흠비 ‘를’ 바람에 날려 올라갔던 모래흙이 비처럼 떨어지는 것’으로 정의하고 있다.



그림 1.1. [서운관지(書雲觀志)]¹⁾ 원문과 한글번역본(이면우 등)

1) 서운관지(書雲觀志) : 조선후기의 유명한 천문기상학자인 성주덕(成周惠)이 1818년(순조 18년)에 제작한 것으로 거의 10년에 걸쳐 수집한 자료를 토대로 조선의 천문, 지리, 역법, 시제(時制), 기상관측 그리고 관측의기(觀測儀器)의 발달과정과 제도의 변천을 적은 우리나라의 중요한 천문기상서적

표 1.1. 각국 정부(기상부분) 및 국제기구의 황사 정의

국가 및 기관	황사에 대한 정의
한 국	먼지연무의 일종으로서 주로 대륙의 황토지대에서 불려 올라간 다량의 황토먼지가 온 하늘을 덮고 떠다니며 서서히 하강하는 현상(지상기상관측지침, 2011)
중 국	대량의 모래먼지 물질이 강풍에 의해 부유하여 공기를 혼탁하게 하는 재해성 일기현상(중국기상청)
일 본	동아시아의 사막 지역(고비 사막, 타클라만칸 사막 등)과 황토고원에서 바람에 의해 뿜어 올려 간 다량의 먼지가 상공의 바람에 실려 부유하면서 하강하는 현상(일본기상청)
세계기상기구(WMO)	강한 바람이나 지상기상조건(난기류, 토양조건 등)에 의해 다량의 모래나 먼지보라가 대기 중에 부유하는 현상(WMO SDS-WAS) ※ SDS-WAS(Sand and Dust Storm - Warning Advisory and Assessment System) : 황사 경보 및 평가시스템

2. 황사의 분류기준

우리나라는 미세먼지 농도를 기준으로 얇은황사, 짙은황사, 매우 짙은황사로 분류하고, 다음과 같이 단계별 예보와 특보를 실시한다(「기상법」제13조, 시행령8조). 특히 2시간 이상 지속될 것으로 예상되는 1시간 평균 미세먼지(PM10) 농도를 기준으로 황사주의보(400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상)와 황사경보(800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상)를 발표한다.

표 1.2. 황사 예·특보 단계별 기준

구 분	황사예보	황사특보			
	얇은황사	짙은황사	매우 짙은황사	황사경보	
황사강도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	400 미만	400이상 800미만	800 이상	400 이상 (2시간 지속)	800 이상 (2시간 지속)

3. 황사발원지와 주요 유입 경로

세계기상기구(WMO) 정규기상관측소 관측자료(‘97~’11)에 따르면, 황사 주요 발원지는 중국 북부와 서부 및 몽골 중남부(고비사막)이다. 최근 10년(2002~2011년) 동안 우리나라에 영향을 준 황사사례의 80%는 고비사막과 내몽골고원에서 발원하였으며, 2000년대 중반부터 만주에서 발생한 황사의 국내유입 빈도는 증가하고 있다. 특히 만주발 황사의 경우 12시간 이내 빠르게 국내로 내습하는 특징을 보인다.

기 회 | 특 | 집

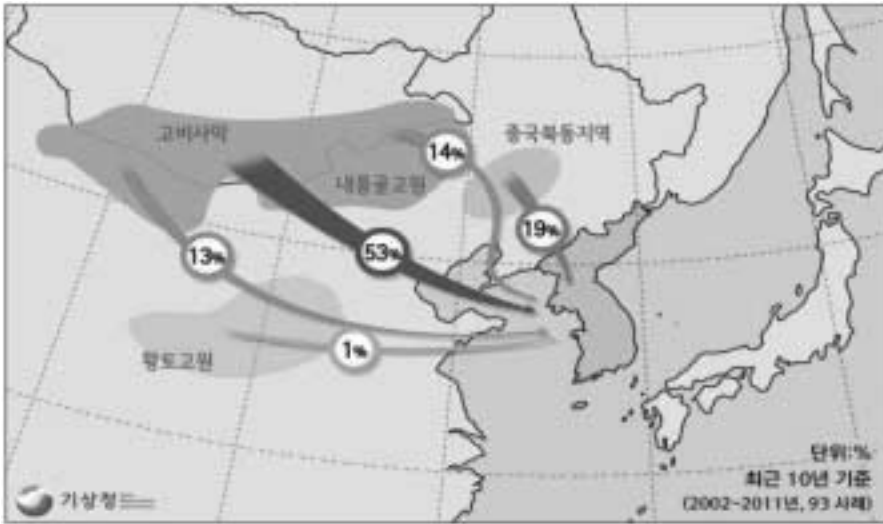


그림 1.2. 우리나라에 영향을 준 황사 발원지와 이동경로



<중국 고비사막>

<몽골 고비사막>

<황토고원>

그림 1.3. 우리나라에 영향을 준 황사 발원지 현황

발원지의 황사발생 추이를 보면, 중국은 약 50년간(1961~2008) 중국 북부지역의 모래폭풍 발생빈도는 감소세를 보이지만, 국내영향이 큰 북동부지역(내몽골)은 증가세를 보이고 있다. 몽골은 1991년(22일) 대비 2006년 황사발생일수가 66일로 약 3배 이상 증가하였다. 특히 국내영향이 큰 고비사막 동부지역(Shainsand)의 황사발생일수도 증가세를 보이고 있다.

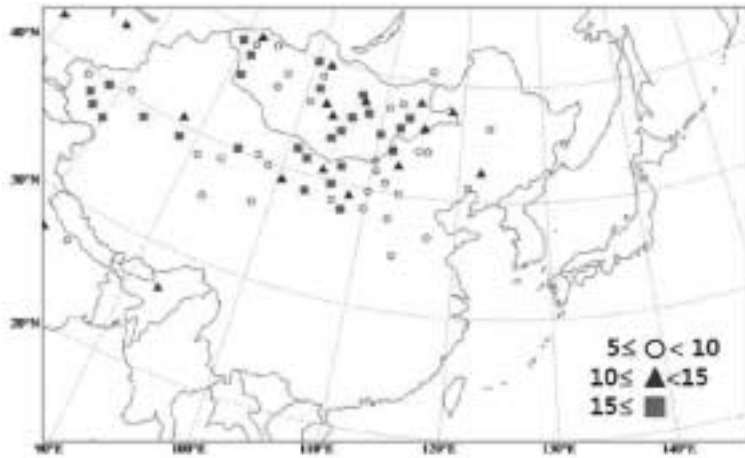


그림 1.4. 황사발원지의 연평균 황사발생 일수(1997~2011, 기상청)

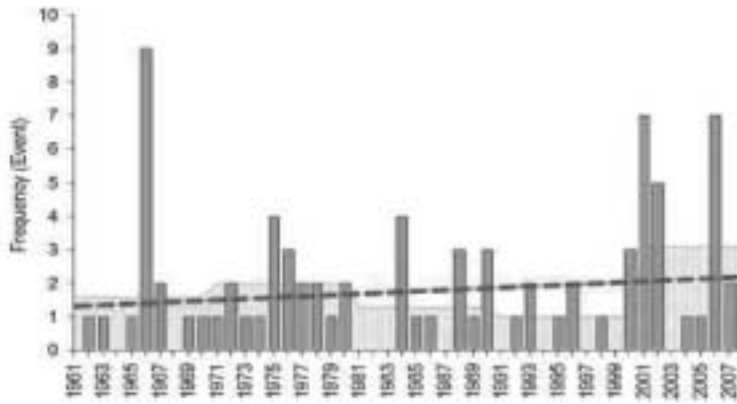


그림 1.5. 중국 북동부지역 황사 모래폭풍 발생 사례수(1961~2008, 출처: Gao et al., 2011)

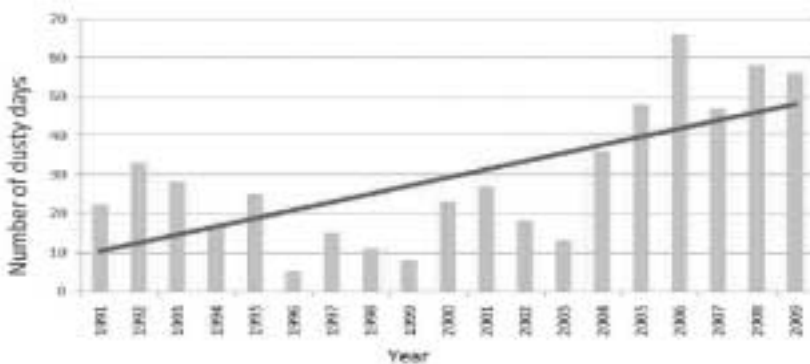


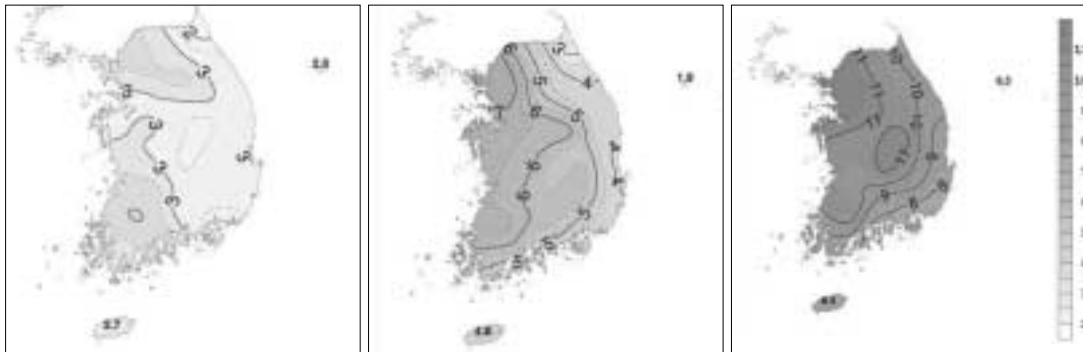
그림 1.6. 몽골 고비사막 지역의 황사일수(1991~2009, 출처: Zhamsueva et al., 2011)

기 | 획 | 특 | 집

II. 황사발생 현황

1. 우리나라의 황사발생 현황

우리나라의 10년 평균 황사일수를 보면, 해마다 편차는 있으나 전국의 2000년대 황사일수(연평균 9.8일)는 80년대(2.9일) 및 90년대(5.3일)에 비해 증가하는 경향을 보인다. 특히 2000년대 황사일수는 1980년대 연평균 대비 3배 이상 높은 수치를 보이며, 주로 서쪽지역이 동쪽지역보다 황사일수가 많고, 남동지역은 상대적으로 황사일수가 적게 나타났다. 특히, 서울의 경우 2000년대 들어 80~90년대에 비해 꾸준히 증가하는 경향을 보인다.



〈1981~1990년 / 2.9일〉

〈1991~2000년 / 5.3일〉

〈2001~2010년 / 9.8일〉

그림 2.1. 우리나라 10년 평균 황사일수(기상청)

※ 기상청 28개 관측지점의 10년간 황사발생일수를 기준으로 지점별 연평균 황사 일수를 계산하고, 각 지점의 연평균 황사일수를 28개 지점으로 평균하여 산출

※ 황사발생 판단은 관측지점에서 관측자의 목측에 의해 판정

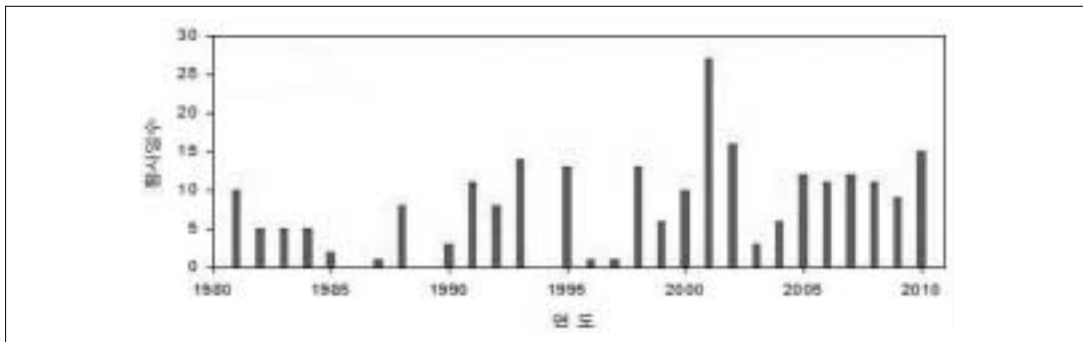


그림 2.2. 서울의 황사일수(1981~2010)

2. 황사발생시기와 강도 변화

최근 주요 황사철인 봄철 뿐 아니라 가을과 겨울에도 황사가 발생하는 추세를 보인다. 최근 5년간(2007~2011년) 가을·겨울철(1~2월, 9~12월) 황사일수 평균값(3.0일)을 조사한 결과, 과거 30년 평균(1980~2010년 / 0.8일)보다 4배 가량 증가하였다. 한편, 기상청이 PM10 장비를 통해 정량적 황사농도관측을 시작한 이래(2002년), PM10 시간당 최고 농도가 2,000~3,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 달하거나('06.4., '07.4., '10.3.), 지속시간이 82시간(11.5.)에 달하는 매우 강한 황사가 관측되기도 하였다.

표 2.1. 우리나라의 가을·겨울철 황사일수 현황

월 \ 년도	월												가을·겨울철(합계)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
30년 평균(1981~2010)	0.2	0.1	1.7	2.4	1	-	-	-	0	0	0.2	0.3	0.8일
최근 5년(2007~2011)	0.1	0.4	3	0.8	2.2	-	-	-	0.1	0.2	0.5	1.7	3.0일

※ 기상청 28개 관측지점의 월별 황사일수 자료를 기준으로 월별 평균 황사일수를 계산하여 30년 평균 황사일수 산출

Ⅲ. 황사대책

1. 기상청의 황사예보

기상청의 황사예보는 다음과 같이 이루어진다.

<황사 3~5일 전> 황사는 중위도 지상저기압의 강한 바람이 몽골과 중국의 사막 불모지, 휴경지를 통과할 때 주로 생긴다. 기상청은 황사발생 3~5일 전부터 일기를 예측하면서 아시아대륙에서 지상저기압이 언제 발달하여 어디로 이동할지 내다본다.

<황사 1~2일전> 기상청은 몽골과 중국의 황사관측정보, 중국 미세먼지(PM10, 16개소) 농도, 발원지 황사 감시기상탑, 기상위성 등을 분석하여 실제 황사발원 여부와 강도를 입체적으로 분석한다. 슈퍼컴퓨터에서 예측한 대기흐름과 황사농도 단기예측모델의 황사발생과 예상 이동경로를 종합하여 황사가 우리나라에 유입될지 여부를 판단한다.

<황사 발생> 정확한 유입경로와 강도과약을 위해 몽골과 중국에서 수집되는 기상정보를 분석한다. 황사가 우리나라로 유입되면 실시간으로 수집된 황사 관측자료를 분석하고, 토의를 거쳐 황사강도변화와 예상 지

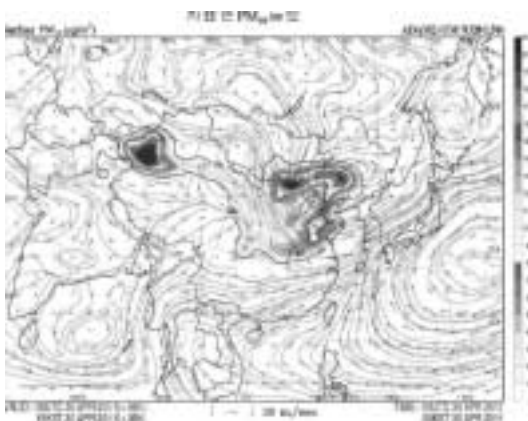
기 | 획 | 특 | 집

속시간을 분석한다. 이 정보는 언론과 기상청 홈페이지(<http://www.kma.go.kr>), 휴대폰문자서비스 등을 통해 국민들에게 신속히 전달되고 있다.

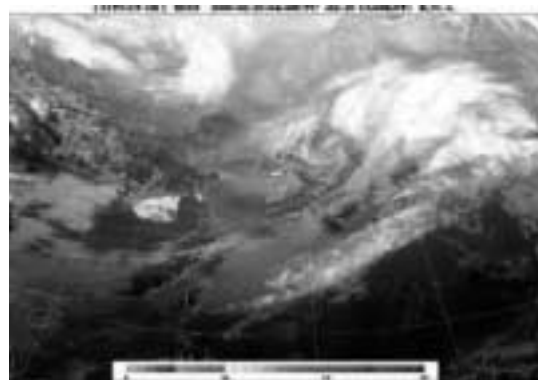
<황사 후> 황사가 소멸된 후에는 정확한 발원지 이동경로, 황사강도, 지속시간, 각종 기상정보 분석 결과 및 예보과정에 대해 사후분석을 철저히 하고 있다. 분석결과는 국내·외 학술지나 연구보고서를 비롯해 '황사보고서'에 발표된다.



그림 3.1. 황사예보업무 체계도



<예상일기도 및 황사농도예측 결과>



<위성영상(황사지수)>

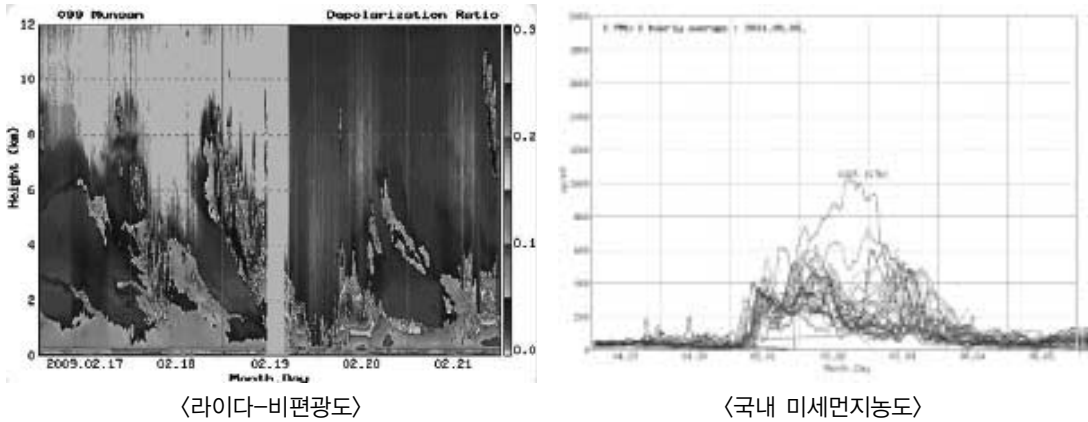


그림 3.2. 황사예보 시 활용자료

2. 황사관측망 확충 계획

기상청은 황사 예측능력 향상을 위해 관측망을 단계·지속적으로 확충하고 있다. 국내는 '07년 24개소였던 관측망을 '12년 40개소(PM10(28개소), 라이다(4개소), 입자계수기(8개소))로 확충하였고, 국외는 '07년 15개소에서 '12년 18개소(중국 : 한중공동관측소(8개소), 중국기상국(5소), 황사감시기상탑(3개소) / 몽골 2개소)로 확충하였다. 또한 환경부에서 운영하는 PM10 관측망 23개소 관측자료도 공동 활용하여 철저한 황사감시를 하고 있다.



그림 3.3. 국내 관측망 현황(40개소, 기상청)

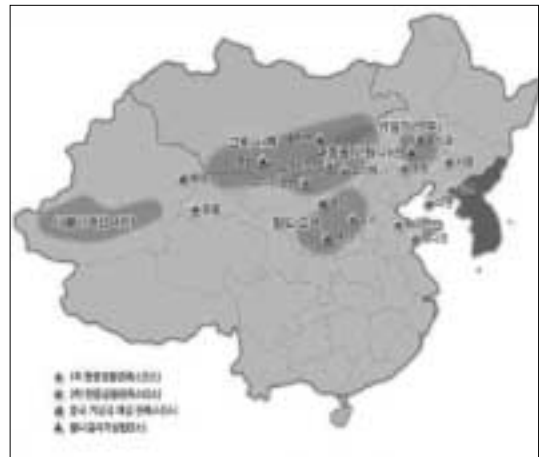


그림 3.4. 국외 관측망 현황(중국 16개소, 몽골 2개소)

기 | 획 | 특 | 집

하지만 현재 보유하고 있는 PM10 관측장비로는 대기 상층관측에 한계가 있어 라이다(LIDAR)²⁾ 장비 관측망을 점진적으로 확충해 상층관측을 강화할 계획이며, 황사·연무 입자계수기³⁾(PM10/2.5/1.0)도 지속적으로 확충할 계획이다. 또한, 원격탐사장비인 천리안 기상관측위성의 적외 채널자료를 이용해 황사시수 개선을 통한 황사탐지 정확도를 향상시킬 계획이다.

3. 황사예보 기술력 향상 계획

황사관측망 확충뿐만 아니라, 황사예보 기술력 향상에도 노력하고 있다. 먼저 정밀예측을 위한 황사농도 예측모델의 해상도를 향상시키고, 황사발원량 산출 알고리즘도 개선할 계획이다. 황사모델의 예측시간을 3일(72시간)에서 5일(120시간)로 연장하고, 현재 기상청 황사농도 예측모델(UM_ADAM2)의 수평해상도(25km)를 향상시킬 것이다. 또한, 여러 황사모델을 활용한 다중 앙상블 시스템을 구축하여 황사발생 확률예보 기반을 마련하고, 황사 확률예보시스템과 예보지침을 개발하는 등 황사피해방지를 위한 노력을 지속해 나갈 것이다.

4. 황사발원지 국가와 협력네트워크 강화 계획

황사발원지 국가와 황사 협력네트워크 강화를 위해 ‘한·중·일 황사공동연구단에 몽골 참여를 유도하고 연구단을 확대 구성하여 지속적인 국제공동연구 수행 기반 마련은 물론, 향후 중국과 지속적인 협력강화로 발원지에 대한 안정적 관측자료 수신체계를 구축해 나갈 계획이다.

이 외 환경부, 국토교통부, 교과부, 소방방재청, 산림청 등 정부부처가 참여하는 황사 종합대책을 기반으로 기상청에서는 황사예보 능력 향상에 지속적인 노력을 기울일 것이다.

[첨부 1]

황사발원지의 사막화 현황 및 원인

■ 황사발원지의 사막화 현황

중국의 사막화 면적은 최근 10여년 간 큰 변화가 없는 상황이나, 향후에는 기후변화 등으로 인해 사막화가속이 우려된다. 2009년 기준, 사막화면적은 262.3만km²로 중국 전체 국토면적의 27.3%를 차지하며, 내몽골, 신장, 칭해, 감숙 등 4개성(자치구)의 사막화 면적의 합은 중국 사막화 총면적의 95.5%를 차지한다.

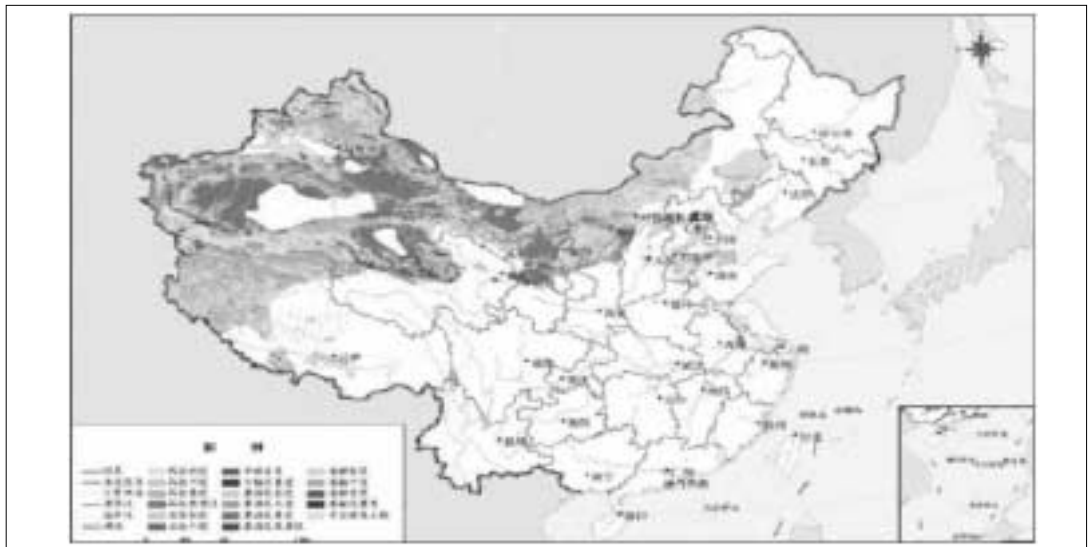
몽골은 국토의 40%가 사막이며, 특히 고비사막 등 몽골 중남부지역의 사막화는 심각한 수준이다. 몽골

2) 라이다(LIDAR) : 레이저 펄스를 이용하여 대기 중 부유입자의 연직분포 측정 장비
 3) 입자계수기: 10 μ m, 2.5 μ m, 1.0 μ m 크기의 입자수를 관측하는 장비

국토면적 156.7만km² 중 62.7만km²(40%)가 사막이며, 국토의 90%가 사막화의 영향 하에 노출되어 있다. 중국 기상수문연구소에 의하면, 지난 40년 동안 3만8천ha의 모래사막 면적이 확대되고, 이중 88%가 고비사막 등 몽골의 중남부지역에서 발생하였다.

〈중국의 사막화 면적(중국 국가임업국, 2011)〉

구분	1994년	1999년	2004년	2009년	비고
사막화 면적(만km ²)	262.2	267.4	263.6	262.3	중국국토면적
전 국토대비 비율(%)	27.3	27.9	27.5	27.3	960만km ²



〈중국 사막화지역 현황(중국 국가임업국, 2011)〉

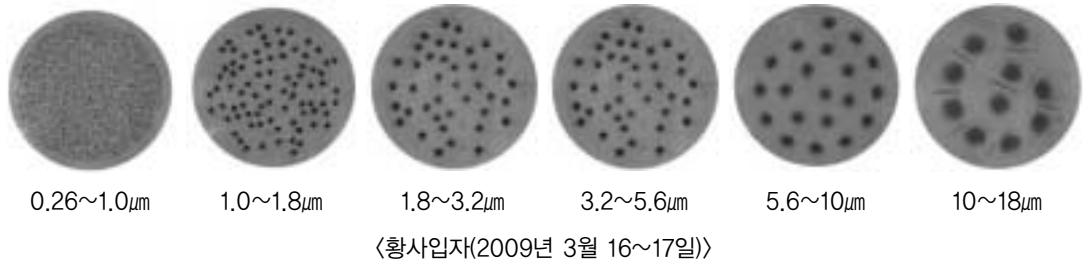
■ 사막화 원인

발원지 사막화는 자연적 원인과 인위적 원인이 결합하여 발생한다. 자연적 원인으로는 기후변화로 인한 강수량 감소와 증발량 증가 등이 있으며, 인위적 원인으로는 과도한 방목과 개간으로 인한 초목감소와 수자원의 무분별한 이용 등을 들 수 있다. 농촌진흥청 현지조사 결과(10.6)에 따르면, 사막화의 원인은 자연적 원인 20%, 인위적 원인 80%로 분석하고 있다.

기 | 획 | 특 | 집

[첨부 2] 황사 입자의 크기

황사발원지의 모래입자 크기는 보통 1~1,000 μm 이며, 우리나라에 관측되는 황사입자 크기는 대기 중에서 오랫동안 부유할 수 있는 약 1~10 μm 정도이다.



[첨부 3] 황사 특보에 따른 행동 요령

구 분	황사 특보에 따른 행동 요령	
황사 주의보		<ul style="list-style-type: none"> •노약자, 어린이, 호흡기질환자 : 실외활동 자제 •유치원, 초등학교 : 실외활동 자제 •일반인 : 과격한 실외 운동 및 활동 자제
황사 경보		<ul style="list-style-type: none"> •노약자, 어린이, 호흡기질환자 : 외출금지 •유치원, 초등학교 : 실외활동 금지 및 수업 단축, 휴업 등의 학생보호 조치 강구 •일반인 : 실외활동 금지 및 외출 자제 •실외 운동경기 중지 및 연기

※ 본 보고서는 환경부 [황사피해방지 종합대책] 인용