



황사와 환경성질환

권 호 장* | 단국대학교 의과대학 예방의학교실

Toxicity and health effects of Asian dust: a literature review

Ho-Jang Kwon, MD*

Department of Preventive Medicine, Dankook University College of Medicine, Cheonan, Korea

*Corresponding author: Ho-Jang Kwon, E-mail: hojang@dankook.ac.kr

Received December 12, 2011 · Accepted December 27, 2011

Asian dust, called Hwangsa in Korean, is windblown dust originating from the desert areas of China and Mongolia. Public concern on the possible adverse health effects of Asian dust has increased recently. Some experimental studies have reported that Asian dust aggravates the allergic response and induces cytotoxicity by promoting the release of reactive oxygen species. Asian dust may potentiate common cold symptoms associated with rhinovirus infection by enhancing inflammatory cytokines and increasing viral replication. In many epidemiologic studies conducted not only in Korea but also in Taiwan and Japan, Asian dust exposure has been reported to be associated with an increase in mortality and hospital visits and admission due to cardiovascular and respiratory disease as well as increased respiratory symptoms and decreased pulmonary function. The frequency and scale of Asian dust events are expected to increase due to environmental change such as desertification in northern China and climate change. We need an Asian dust preparedness strategy including monitoring of dust-related health outcomes as well as an enhanced Asian dust forecasting system to protect people from the effects of Asian dust events.

Keywords: Asian dust; Epidemiologic studies; Preparedness

서 론

황사는 중국과 몽골의 건조지역으로부터 바람에 의해 먼지가 날아오는 현상을 일컫는다. 황사는 삼국사기에도 관련 기록이 있을 정도로 아주 오래 전부터 있어왔고[1] 대개 일상적인 자연 현상으로 간주되어왔다. 그러나 동북아 지역의 사막화가 가속화되면서 황사의 빈도 및 강도가 점차로 증

가하고 황사와 함께 중국에서 배출되는 대기오염 물질이 함께 넘어오는 것으로 알려지면서 황사가 우리의 건강을 해칠 수도 있다는 우려가 점점 커지고 있다. 특히 2002년 매우 심한 황사로 인해 초등학교가 휴교하고 항공기 운항이 취소되는 사태를 경험하면서 황사는 환경재앙으로 받아들여졌고 황사로 인한 건강피해에 대해서도 관심이 고조되었다.

황사의 건강피해에 대한 국민적 우려가 커진 것을 반영하

© Korean Medical Association

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

여 대한의사협회지에서는 2004년 황사의 건강영향에 대한 종설을 게재한 바 있다[2]. 당시에는 황사의 건강영향에 대한 연구가 매우 제한적이었으나 그 이후 역학연구와 실험연구들이 국내외에서 여러 편 발표되었다. 이 논문에서는 최근에 발표된 황사 관련 연구를 반영하여 황사 발생 현황 및 황사 먼지의 특성, 황사 먼지의 독성에 대한 실험적 연구, 황사의 건강영향에 대한 역학조사결과 순으로 황사의 건강영향을 고찰하고자 한다.

황사 발생 현황

근대 기상관측 기록이 있는 1915년 이후부터 황사현상이 관측된 일수를 보면 1930년대 말부터 1940년대 초에 많은 황사가 관측되었고 그 이후 소강상태를 보이다가 1970년대부터 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있다[1]. 2000년 이후 전국 평균 황사 발생 일수는 2003년과 같이 3일만 관측된 날도 있고 2001년과 같이 27일이 관측된 해도 있지만 보통 15-21일 수준이라고 할 수 있다(Figure 1). 2010년의 경우 총 15차례의 황사가 25일에 걸쳐 발생했는데 주로 고비와 내몽골에서 발원하였고 5차례의 황사가 봄철이 아닌 가을과 겨울에 발생하였다[3]. 2009년에도 총 10차례의 황사 중에 6차례의 황사가 가을과 겨울에 발생하였는데 봄에 집중되어있던 황사의 발생시기가 바뀌는 추세에 있는 것인지 아니면 일시적인 현상인지에 대해서는 향후 지속적인 관찰이 필요하다.

2000년 이후 황사의 발생 일수가 비교적 일정하게 유지되고 있지만 지난 100년 중 황사일 수가 특히 많았던 1930년대 후반부터 1940년대 초반에 중국의 북부지역이 고온 현상이 지속되었다는 연구결과로[4] 미루어보면 중국 북부지역의 사막화와 더불어 지구온난화는 황사 발생 횟수를 지속적으로 증가시킬 것으로 예상된다.

황사 먼지의 특성

황사를 대기오염의 측면에서 정의하면 공기 중에 먼지의 농도가 높아지는 현상이라고 할 수 있다. 공기 중 먼지는 크기에 따라 구분하는데 공기 중에 떠 있는 전체 먼지를 총부

유먼지(total suspended particles, TSP), 직경이 10 마이크로 이하의 먼지는 particulate matter less than 10 μm in diameter (PM_{10}), 2.5 마이크로 이하의 먼지는 $\text{PM}_{2.5}$ 라고 한다. 우리나라 대기환경 기준은 PM_{10} 을 기준으로 설정되어 있고 황사경보도 PM_{10} 농도를 기준으로 발령하고 있다.

먼지를 크기에 따라 구분하는 가장 중요한 이유는 크기에 따라 호흡기에 대한 영향이 달라지기 때문이다. 100 마이크로 이상의 먼지는 눈, 코, 인후부에 자극증상을 일으킬 수 있지만 호흡기 깊숙이 들어오지는 못한다. 20 마이크로 이상의 먼지는 상기도까지는 들어오지만 하기도까지 침투하지는 못한다. 허파꽂리(alveoli)까지 침입하는 먼지는 대개 PM_{10} 이다. 이중 2.5 마이크로 이상 10 마이크로 이하의 먼지를 조대입자(coarse particle)이라고 하고 2.5 마이크로 이하의 먼지를 미세입자(fine particle), 미세입자 중 0.1 마이크로 이하의 먼지는 초미세입자(ultra fine particle)이라고 한다. 다만 우리나라에서는 대기환경기준이 TSP에서 PM_{10} 으로 바뀌면서 미세먼지라는 용어를 사용했기 때문에 미세먼지는 PM_{10} 을 가리키고 $\text{PM}_{2.5}$ 는 극미세먼지라고 부른다.

황사 먼지의 크기는 다양한 분포를 이루지만 3-10 마이크로 사이의 크기가 가장 많다. 황사 때 PM_{10} 의 농도는 황사 종류에 따라 다양한 양상을 나타내지만 경우에 따라서는 1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 훨씬 넘기도 한다. 우리나라 환경부에서 정한 PM_{10} 에 대한 환경기준은 연간 평균치를 기준으로 했을 때는 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고 24시간 평균치를 기준으로 했을 때는 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다. 환경부의 먼지 기준치는 건강피해를 염두에 두고 만들었기 때문에 PM_{10} 의 하루 평균치가 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하면 건강피해의 가능성이 있다는 것을 의미한다.

황사 먼지는 토양에서 기원하기 때문에 주로 큰 입자를 구성되어 있지만 이동 경로에 따라서는 $\text{PM}_{2.5}$ 의 비율이 높아지기도 한다. 2008년에 경험한 6번의 황사를 경로에 따라서 분석한 결과에 의하면 평균적으로는 총부유먼지 중에 $\text{PM}_{2.5}$ 가 차지하는 비율이 16%였는데 몽고지역에서 북서풍을 타고 만주를 통해 유입된 황사 먼지의 경우에는 5-16%의 분포를 보인 반면에 발원지에서 공업지대가 있는 중국 동부 해안을 거친 후 서해를 통과하여 유입된 황사 먼지의 경우에는 20-23%의 비율을 나타냈다[5]. 이는 황사의 이동경

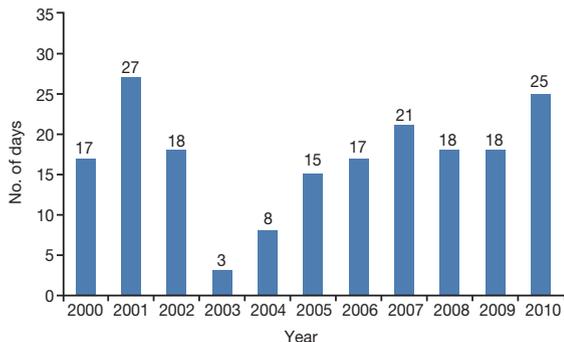


Figure 1. Number of days with Asian dust in Korea (From National Institute of Environmental Research. Annual report of air quality in Korea 2010. Gwacheon: Ministry of Environment; 2011) [3].

로가 중국의 공업지대를 통과하는 경우 위해성이 더 클 수 있음을 시사하는 소견이라고 할 수 있다.

먼지의 건강피해를 좌우하는 또 다른 요소는 먼지의 화학적 조성이다. 일반적으로 지각에서 기인하는 성분보다는 인위적 오염, 특히 연소과정에서 나오는 성분들이 인체에 특히 해롭다. 황사 먼지의 화학적 성분은 황사의 특성에 따라 달라지는데 2002년에 황사기간과 비황사기간에 PM₁₀을 채취하여 이온 성분 농도를 분석한 결과를 보면 대표적인 인위적 오염원이라고 할 수 있는 암모니움(NH₄⁺), 질산이온(NO₃⁻)은 감소하는 반면에 황산이온(SO₄²⁻)은 증가한 양상을 보였다. 이는 황사기간 중 유입되는 많은 공기량으로 인해 다른 인위적 오염물질은 희석되지만 황산이온은 중국에서 많이 배출되기 때문에 희석효과를 상쇄하기 때문인 것으로 추정된다. 같은 시기에 분석된 자료에서 금속함유 농도를 보면 알루미늄, 칼슘, 철, 마그네슘과 같이 토양기원의 원소는 황사시기에 크게 증가하는 반면에 비소, 납, 카드뮴과 같은 인위적 오염원은 황사시기와 비황사시기가 큰 차이가 없거나 오히려 감소하는 양상을 보였다[6].

황사 먼지 중에 구제역을 포함하여 가축 또는 인간에게 병을 일으킬 수 있는 미생물이 포함되어 있을지 모른다는 우려가 매우 많다. 아직까지 황사를 통해 병원성 미생물이 날아와 질병을 일으킨 사례가 보고된 바는 없지만 전반적으로 황사 먼지 중에 미생물에 대한 연구가 충분하지 않은 실정이라 미생물로 인한 위해성에 대해서 결론적으로 얘기하기

는 어렵다. 2007년부터 2008년까지 서울지역에서 수집된 먼지를 이용하여 황사시기와 비황사시기를 나누어 미생물의 분포를 분석한 연구에서 황사시기의 미생물 분포가 비황사시기와는 확연히 구분되어 미생물에 의한 건강피해 가능성이 있다는 결과가 보고되기도 하였다[7].

황사 먼지의 독성에 대한 연구

황사 먼지의 독성을 파악하기 위해서는 먼지의 일반적 독성에 대한 연구로부터 단서를 얻을 수 있다. 먼지는 크기에 따라 기관지내에 침착하는 부위가 달라지는데 입자 크기가 작을수록 폐포까지 도달하게 된다. 먼지는 기관지에 직접적으로 작용해서 염증반응을 일으키고 기관지과민성이 있는 경우는 이를 악화시킬 수 있으며 폐의 방어기전을 손상시킨다. 먼지는 성분에 따라 면역항체 생산을 증가시키고 항원에 대한 기도의 반응성을 변화시킬 수 있으며 폐가 세균을 처리하는 능력에 영향을 미칠 수 있는데 이러한 작용은 전체적으로 세균이나 바이러스에 대한 감수성을 증가시키는 결과를 초래할 수 있다[8].

먼지가 건강영향을 일으키는데 있어 염증반응이 가장 중요한 역할을 하는 것으로 생각되고 있다. 염증은 전사 인자(transcription factor)인 nuclear factor-kappa B (NF-κB)에 의한 산화적 손상에 의해 생길 수 있는데 먼지가 이러한 산화적 손상을 일으킬 수 있다는 것은 확인된 바 있다. 먼지에 노출된 후 염증반응이 나타나는 과정은 먼저 항산화작용을 하는 항산화제가 소진되고 전사 인자인 NF-κB와 activator protein 1 (AP-1)이 활성화되면서 칼슘 이온의 유입이 나타나고 키나아제가 활성화되면서 신호물질(signalling molecule)의 인산화(phosphorylation)와 interleukin (IL)-8과 tumor necrosis factor-alpha (TNF-α)와 같은 염증매개물질의 발현 등 일련의 연쇄반응으로 나타나게 되는 것이다[9].

먼지의 일반적인 독성 외에 특이독성은 먼지의 물리화학적 특성에 따라 다르게 나타난다. 미국의 National Research Council에서 먼지의 독성에 영향을 미치는 요인으로 크기, 질량 농도, 수 농도, 산성도, 먼지표면의 화학적 특

성, 먼지 중심부의 화학적 특성, 금속, 탄소, 꽃가루 등 생물적인 먼지, 질산염과 황산염등의 이차 생성 에어로졸, 지하에서 기원하는 성분 등을 열거하고 있다[10]. 황사 먼지의 경우에 대부분이 지하에서 기인하는 먼지로 같은 농도의 도시먼지에 비해서는 큰 먼지가 많고 인위적 오염원에 해당하는 성분이 상대적으로 적기 때문에 독성이 크기는 상대적으로 작을 것으로 생각한다.

황사 먼지를 직접 이용하여 독성을 평가한 실험 연구들도 최근에 많이 이루어지고 있다. 황사 먼지를 쥐의 폐포세포를 이용하여 실험한 결과를 보면 황사 먼지가 활성산소종(reactive oxygen species), 펜톤반응(Fenton activity), 활성질소종(reactive nitrogen species)을 통해 세포독성을 유발하는 것으로 보고하고 있다[11].

황사 먼지가 알레르기반응을 유발하는 실험연구들도 보고된 바 있다. 황사 먼지를 농축해서 폐동맥고혈압 쥐 모델을 이용하여 비강을 통해 노출시킨 결과 말초혈액에서 먼지 농도가 증가할수록 백혈구가 증가하고 기관지폐포세척액(bronchoalveolar lavage)에서 먼지 농도에 비례해서 전체 세포수와 호중구(neutrophil)의 비율, 그리고 IL-6가 증가하였는데 이러한 소견은 황사 먼지가 폐의 염증을 일으킬 수 있음을 의미한다[12]. 쥐(ICR mice)를 이용한 실험에서는 황사 먼지에 노출시켰을 때 기관지폐포 세척액에서 IL-5와 monocyte chemotactic protein 1 (MCP-1)의 증가를 매개로 하여 호산구(eosinophil)의 농도가 증가하는 결과를 보고한 바 있다[13]. 황사 먼지를 ICR mice에 직접 흡입시킨 또 다른 실험에서는 기관지와 폐포에 침착된 황사 먼지 입자 주위로 대식세포(macrophage)와 호중구의 침윤이 관찰되고 염증세포 안에 IL-6, nitrooxide synthase, superoxide dismutase 등의 증가가 관찰되어 황사 먼지가 물리적 효과에 의한 직접적 손상과 이차적인 염증반응을 통해 급성으로 폐에 독성을 나타낸다는 사실을 보고한 바 있다[14].

황사 먼지 중에 있는 미생물에 의한 독성을 평가하기 위해 일본에서 이루어진 연구에서는 황사 먼지를 기관지 삼관으로 주입하였을 때 기관지염과 폐포염을 유발하면서 기관지폐포 세척액에서 호중구와 상응하는 케모카인(chemokines)과 시토카인(cytokines)의 증가를 초래하지만 360도

로 가열하여 병원균을 제거한 황사 먼지에서는 확연하게 작은 효과를 나타내는 것으로 나타났는데[15] 이는 황사 먼지에 붙어 있는 미생물이 폐에 염증을 유발할 수 있음을 시사하는 소견이다.

황사가 기존의 질환을 악화시킬 수 있다는 사실도 실험연구를 통해 확인되고 있다. 황사 먼지는 병원성 세균에 의해 발생하는 폐렴을 악화시키는 역할을 할 수 있다는 연구들도 발표되고 있다. 일본에서 마우스를 이용한 동물실험에서 폐렴막대균(*Klebsiella pneumoniae*)에 의한 폐렴을 일으킨 후에 황사 먼지를 기관을 통해 투여하였을 때 폐포 대식세포의 toll-like receptor 2 (TLR2)와 NACHT, LRR, and PYD domains-containing protein 3 (NALP3) 염증기전을 활성화시키므로서 폐렴을 악화시킨다는 보고를 한 바 있다[16]. 사람의 비강상피세포를 황사 먼지와 리노바이러스(rhinovirus)로 처치한 실험결과에 따르면 황사 먼지는 리노바이러스로 인한 염증의 중증도를 반영하는 interferon- γ (IFN- γ), IL-1 β 와 IL-8의 분비를 증가시켰으며 리노바이러스의 증식도 증가시켰다. 이 결과는 황사 먼지가 염증매개물질의 분비를 증가시키고 바이러스의 복제를 증가시키는 방식으로 감기를 유발시키거나 악화시킬 수 있다는 것을 시사한다[17].

황사의 건강피해에 대한 역학연구

황사로 인한 건강피해는 피라미드와 비슷한 구조를 보인다. 황사에 노출된 많은 사람들은 뚜렷한 임상증상이 없더라도 폐기능이 감소하는 등 생리적인 영향을 받을 수 있다. 그리고 이중에 일부는 호흡기증상, 안구 또는 피부 자극증상 등이 나타날 수 있다. 증상이 나타난 사람들 중에 증상이 심한 사람들은 그로 인해 응급실 또는 병원의 외래를 방문하거나 입원할 수도 있다. 그리고 심폐기능에 심각한 문제가 있는 환자들은 황사로 인해 사망위험이 증가할 수 있지만 이런 사람들은 상대적으로 소수이다(Figure 2).

우리나라에서 황사의 건강영향에 대한 역학연구는 2002년 황사가 사망에 미치는 영향이 발표된[18] 이래 여러 편의 연구결과가 보고되고 있는데 주로 여러 가지 불편증상, 폐기능, 입원, 사망 등을 대상으로 연구가 진행되고 있다(Table 1).

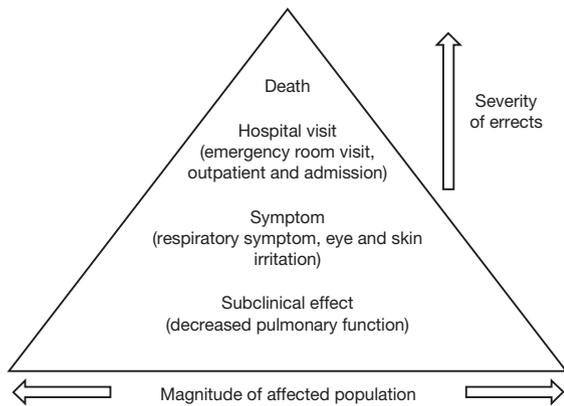


Figure 2. Pyramid of health effects of Asian dust.

황사가 사람들에게 여러 가지 불편한 증상을 유발하는 것은 황사시기에 호흡기계 증상을 포함해 다양한 증상을 경험한 사람이 많기 때문에 너무 자명한 것으로 보인다. 수도권에 거주하고 있는 성인 500명을 무작위로 추출하여 황사 관련 증상을 조사한 연구에 따르면 응답자의 40.2%가 황사 때문에 불편한 증상을 경험한 적이 있다고 응답하였는데 ‘눈이 아프거나 충혈된다’고 응답한 사람이 53.2%이었고 ‘목이 따갑다’라고 응답한 사람이 32.8%였다. 그리고 불편 증상을 호소한 사람 중에 33.8%는 병원에서 진료를 받은 것으로 나타났다[2]. 서울에 있는 일개 초등학교의 학생을 대상으로 한 조사에 따르면 전체 응답자 중 50.0%는 황사 기간 동안 목의 통증을 느꼈다고 응답하였는데 고학년보다 저학년에서 자각증상을 호소하는 비율이 높았고 호흡기계통 질환을 앓은 과거력이 있는 학생들에서 자각증상을 호소하는 비율이 높았다[19].

황사가 폐기능에 미치는 영향은 주로 최대호기유속(peak expiratory flow, PEF)을 이용해서 평가가 되고 있다. 최대호기유속은 휴대 및 시행이 용이하여 병원 밖에서 피조사자의 폐기능을 지속적으로 평가할 때 매우 유용하기 때문에 일반 환경에서 대기오염의 호흡기계에 대한 영향을 평가하는데 널리 사용되고 있다. 인천지역에 거주하는 성인 천식환자 64명을 대상으로 2002년 3월부터 6월까지 수행된 연구에서는 황사기간 중에 PM_{10} 의 농도가 증가하고 PM_{10} 이 야간의 호흡기증상, PEF의 평균값 감소, 그리고 PEF 변이율의 증가 등과 관련이 있다는 것을 보고한 바 있는데 이는 황사

가 천식환자에서 호흡기 증상과 폐기능의 악화를 초래할 수 있다는 것을 의미한다[20].

초등학생을 대상으로 황사가 폐기능에 미치는 영향을 분석한 연구도 몇 편 있다. 2004년 봄철에 천식을 앓고 있는 환자 52명을 조사한 연구에 따르면 황사 기간 중에 호흡기 증상 호소가 증가하고 PEF는 감소한 반면에 PEF 변이율은 증가하는 양상을 보고하였다[21]. 2007년에 서울지역의 아동 110명을 대상으로 조사한 연구에 따르면 $PM_{2.5}$ 와 PM_{10} 자체는 천식아동을 제외하고는 PEF와 유의한 관련성이 관찰되지 않았지만 먼지에 흡착된 금속성분으로 분석을 하였을 때는 인위적 오염원에 의한 금속이나 지각에 기인하는 금속 모두 PEF감소와 유의한 관련성이 있었다. 황사 먼지에 있는 금속의 대부분이 지각먼지와 다르지 않기 때문에 이 연구의 결과는 황사기간에 먼지에 흡착된 금속성분에 의해 폐기능이 감소할 수 있다는 것을 시사하는 소견으로 볼 수 있다[22].

황사로 인해 여러 가지 증상이 발생하고 폐기능이 감소하면 이 중의 일부는 병의원을 방문할 것이기 때문에 내원하는 환자들도 증가할 것으로 예상된다. 서울 지역에서 황사기간에 병의원에 입원하는 환자가 얼마나 증가하는지를 분석한 연구에 따르면 전체호흡기질환은 9%(95% 신뢰구간, 7.3-10.8), 심혈관질환은 5%(95% 신뢰구간, 3.3-6.6) 정도 증가한다는 연구결과가 보고된 바가 있다[2]. 황사가 병의원 방문에 영향을 미치더라도 상당부분은 예약된 방문이기 때문에 황사의 영향을 정확하게 평가하기는 어렵다는 제한점이 있다. 그런 면에서는 응급실 내원환자수와 황사의 관련성을 분석하는 것이 의미가 있을 수 있는데 2001년부터 2007년까지 봄철에 서울에 있는 한 대학병원 응급실을 방문한 환자 5,068명을 대상으로 분석한 연구에서는 황사가 온 뒤 2일째 날에 대조일과 비교하여 만성폐쇄성폐질환으로 응급실을 내원한 환자수가 유의하게 증가한 반면 황사당일과 다음날 1일째와 3일째에는 대조일과 비교하여 유의한 차이를 나타내지 않았다[23].

황사시기에 사망위험이 높아지는 지를 분석한 연구도 몇 편 발표된 바 있다. 1995년부터 1998년까지 서울지역의 사망자료를 분석하여 황사시기의 사망위험을 분석한 연구에서 황사와 사망위험간의 통계적으로 유의한 관련성을 나타

Table 1. Epidemiologic studies on health effects of Asian dust events in Korea

Reference	Study area	Study period	Population	Health index	Main finding
Park et al. [20]	Incheon	2002.3-2002.6	Children with asthma	PEF, and respiratory symptom	PM ₁₀ was associated with increased PEF variability and night-symptoms and decreased PEF
Yoo et al. [21]	Seoul	2004.3-2004.5	Children with asthma	PEF and respiratory symptoms	Subjects reported higher respiratory symptoms, reduced PEF value, and increased PEF variability during AD
Hong et al. [22]	Seoul	2007.5-2007.6	School children	PEF in children	Exposure to metals bound to particles during AD reduce pulmonary function
Kwon et al. [2]	Seoul	2000-2002	General population	Daily no. of admission	Admission with respiratory disease increase by 9.0% (95% CI, 7.3-10.8) during AD
Kim et al. [23]	Seoul	2001-2007	General population	No. of emergency room visit for respiratory symptoms	Visit for COPD increased from 0.41 person/day to 0.98 person/day in the second day following AD
Kwon et al. [18]	Seoul	1995-1998	General population	Daily no. of death	AD are associated with risk of death from cardiovascular and respiratory disease
Hwang et al. [24]	Seoul	2002.3-2002.4	General population	Daily no. of death	Risk of death from respiratory causes increased by 37% during severe AD
Lee et al. [25]	Seoul	2000-2004	General population	Daily no. of death	Effect sizes of air pollution on daily death rates in the model without Asian dust events were larger than those in the model with Asian dust events

PEF, peak expiratory flow; PM₁₀, particulate matter less than 10 µm in diameter; AD, Asian dust; CI, confidence interval; COPD, chronic obstructive pulmonary disease.

내지는 않았으나 전체 사망에서는 사망위험이 1.7%(95% 신뢰구간, -1.6-5.3) 증가한데 비해 심폐질환 사망자로 한정해서 분석한 경우에는 사망위험이 4.1%(95% 신뢰구간, -3.8-12.6)로 높아지는 양상을 나타내 황사가 심폐질환자의 사망위험을 증가시킬 가능성을 제기하였다[18]. 심한 황사가 있었던 2002년에 서울지역에서 황사와 사망위험의 관련성을 분석한 연구에서는 전체 사망과는 유의한 관련성이 없었으나 호흡기계 질환 사망의 경우에는 황사시기에 36.5%(95% 신뢰구간, 0.7-85.0) 증가하는 것으로 나타나 호흡기계 질환자가 황사에 취약할 수 있음을 보여주었다[24]. 황사시기와 비황사시기를 구분하여 대기오염이 사망에 미치는 영향을 분석한 또 다른 국내 연구에서는 대기오염의 영향이 황사시기보다는 비황사시기에 더 크게 나타났는데 이는 같은 농도일 때 황사 먼지가 도시대기먼지보다는 독성이 낫다는 것을 시사하는 소견이다[25].

황사의 건강피해에 대한 역학연구는 우리나라 외에도 대만과 일본에서 여러 편이 발표된 바가 있다. 대만에서는 2004년 Chen 등[26]이 황사가 타이페이 주민의 사망양상에 미치는 영향을 분석하여 황사가 호흡기질환 사망과의 관련

성을 시사하는 논문을 처음 발표한 이래 타이페이 지역 주민을 대상으로 황사와 호흡기질환 입원[27,28], 심부전입원[29], 뇌졸중입원[30], 천식입원[31], 알레르기비염 외래방문[32], 결막염으로 인한 외래방문[33] 등과의 관련성에 대한 논문들이 활발하게 발표되고 있다.

일본에서는 황사의 건강영향에 대한 연구가 많지 않은 편이나 최근 들어 연구가 진행이 되고 있다. 일본 요나고 지역에서 건강한 성인 54명을 대상으로 인후부, 안구, 호흡기, 피부증상과의 관련성을 조사한 연구에서 황사기간 중에 증상 점수가 높게 나타나는 것을 관찰했고[34] 같은 지역의 성인 천식환자 98명을 대상으로 한 연구에서는 천식이 하기도 증상을 악화시키지만 영향이 크지는 않은 것으로 보고되었고[35] 일본의 후쿠오카 지역에서 어린이 천식으로 입원과의 관련성을 분석한 연구에서는 먼지자체는 천식입원과 관련성이 있었지만 황사자체와는 유의한 관련성이 없었다[36].

황사의 관리방안

황사는 ‘재난 및 안전관리기본법’에서 국가가 안전관리 차

원에서 대응해야 하는 자연재해로 인한 재난으로 규정되어 있고 ‘대기환경보전법’에서는 환경부장관은 황사피해방지를 위해 5년마다 종합대책을 수립하도록 하고 있다. 2008년에 수립된 종합대책에서는 황사피해의 효과적 예방과 최소화를 위한 관리시스템을 구축하는 것을 비전으로 하고 있는데 황사가 기상현상의 특성을 지니고 있고 중국이나 몽골 등의 국외지역에서 발원한다는 점 때문에 대책의 우선 순위를 황사 발생을 정확하게 예측해 조기에 황사 기상 특보를 발령하는데 중점을 두고 있다.

황사 기상 특보 발령은 PM_{10} 을 기준으로 하고 있다. 그러나 황사 때 증가하는 먼지는 지각에서 발생하는 먼지로 PM_{10} 중에서도 입자가 큰 조대입자이기 때문에 평소의 도시 내 먼지와 비교하면 같은 농도에서 영향은 적다는 것을 감안하여 기준을 정하고 있다. 예를 들어 현재 서울을 비롯한 수도권 지역에서 실시하고 있는 미세먼지 경보제에서는 PM_{10} 농도가 시간 평균 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상으로 2시간 이상 지속될 때 주의보가 발령되고 시간 평균 농도 $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상으로 2시간 이상 지속될 때 경보를 발령하고 있으나 황사의 경우에는 PM_{10} 시간 평균 농도가 $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상으로 2시간 이상 지속될 것으로 예상될 때 황사주의보가 발령되고 황사로 인해 PM_{10} 농도 $800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상으로 2시간 이상 지속될 것으로 예상될 때 황사경보를 발령한다.

황사특보가 발령되면 가정에서는 창문을 닫고 외출을 삼가되 외출 시에는 보호안경이나 마스크를 착용하고 귀가 후에는 손과 발을 깨끗이 씻고 양치질을 하도록 권장하고 있다. 학교나 유치원 같은 교육기관에서는 황사의 정도에 따라 실외활동 금지 및 수업단출 또는 휴업을 하도록 권장하고 있다.

지난 10여 년간 황사에 대한 국민들의 우려가 크게 증가한 것에 비례하여 대처능력도 많이 향상된 것은 사실이다. 그러나 황사경보제가 PM_{10} 농도에만 근거해서 이루어지고 있고 황사마다 서로 다른 위해성에 대한 부분은 고려되지 못하고 있다. 황사의 이동경로에 따라 황사 먼지 중의 $PM_{2.5}$ 의 구성비율이 달라지고 화학적 조성도 달라져서 건강에 대한 위해도도 달라질 수 있다는 것이 고려되고 있지 못한 것이다. 향후 황사의 이동경로 등을 감안하여 PM_{10} 의 농도뿐 아

니라 예상되는 화학적 조성까지 종합적으로 고려한 예보체계의 개발이 이루어져야 할 것이다.

황사의 건강영향에 대한 연구도 보다 활발히 진행될 필요가 있다. 국내외에서 건강피해에 대한 여러 편의 역학연구가 발표된 바 있지만 노출평가나 바이어스의 통제라는 측면에서 여러 가지 제한점을 지니고 있다. 대규모 인구집단을 대상으로 하는 연구들은 사망자료나 병의원 이용자료와 같이 이미 수집된 자료에 의지하여 후향적으로 수행되었고 전향적으로 수행된 연구들은 연구대상 숫자가 매우 적다. 황사의 발생이 불규칙이기 때문에 전향적으로 역학연구를 수행하는데 어려움이 많다. 따라서 황사의 건강영향을 체계적으로 모니터링하는 체계를 갖추어서 황사의 건강영향에 대한 면밀한 모니터링을 수행함과 동시에 역학연구의 기반을 구축하는 것이 매우 중요하다.

결론

황사는 호흡기계나 안구 증상을 유발하고 폐기능을 감소시키며 병원이용을 증가시키며 호흡기계질환으로 인한 사망위험을 증가시킬 수 있다. 황사의 건강영향은 일차적으로 높아진 먼지농도에 의한 것이지만 먼지의 화학적조성이나 미생물의 분포 등에 의해 건강영향의 종류나 크기가 달라질 수 있다. 황사 먼지의 화학적 또는 생물학적 조성은 발원지와 이동경로에 따라 달라지기 때문에 황사로 인한 건강피해를 예방하기 위해서는 이 부분을 고려한 예보체계를 갖추는 것이 필요하다. 또한 황사와 관련된 건강영향을 등을 상시적으로 모니터링할 수 있는 체계를 갖추으로써 황사의 피해를 정확히 모니터링하고 연구할 수 있도록 하는 것이 중요하다.

핵심용어: 황사; 역학연구; 대응체계

REFERENCES

1. Chun Y. From historical dustfall to early warning of Asian dust events in Korea. J Korean Med Assoc 2004;47:446-452.
2. Kwon HJ, Cho SH. The health effects of Asian dust event. J Korean Med Assoc 2004;47:465-470.
3. National Institute of Environmental Research. Annual report of

- air quality in Korea 2010. Gwacheon: Ministry of Environment; 2011. 444 p.
4. Qian W, Zhu Y. Climate change in China from 1880 to 1998 and its impact on the environmental condition. *Clim Change* 2001;50:419-444.
 5. Kim HS, Chung YS, Lee SG. Characteristics of aerosol types during large-scale transport of air pollution over the Yellow Sea region and at Cheongwon, Korea, in 2008. *Environ Monit Assess* 2011 May 14 [Epub]. DOI: 10.1007/s10661-011-2092-9.
 6. Kim MY. Physical and chemical characteristics of Asian dust. *J Korean Med Assoc* 2004;47:453-464.
 7. Lee S, Choi B, Yi SM, Ko G. Characterization of microbial community during Asian dust events in Korea. *Sci Total Environ* 2009;407:5308-5314.
 8. Zanobetti A, Schwartz J, Gold D. Are there sensitive subgroups for the effects of airborne particles? *Environ Health Perspect* 2000;108:841-845.
 9. Donaldson K, Stone V, Borm PJ, Jimenez LA, Gilmour PS, Schins RP, Knaapen AM, Rahman I, Faux SP, Brown DM, MacNee W. Oxidative stress and calcium signaling in the adverse effects of environmental particles (PM10). *Free Radic Biol Med* 2003;34:1369-1382.
 10. Committee on Research Priorities for Airborne Particulate Matter, National Research Council (US). Research priorities for airborne particulate matter. IV. Continuing research progress. Washington, DC: National Academies Press; 2004. 372 p.
 11. Kim YH, Kim KS, Kwak NJ, Lee KH, Kweon SA, Lim Y. Cytotoxicity of yellow sand in lung epithelial cells. *J Biosci* 2003;28:77-81.
 12. Lei YC, Chan CC, Wang PY, Lee CT, Cheng TJ. Effects of Asian dust event particles on inflammation markers in peripheral blood and bronchoalveolar lavage in pulmonary hypertensive rats. *Environ Res* 2004;95:71-76.
 13. Hiyoshi K, Ichinose T, Sadakane K, Takano H, Nishikawa M, Mori I, Yanagisawa R, Yoshida S, Kumagai Y, Tomura S, Shibamoto T. Asian sand dust enhances ovalbumin-induced eosinophil recruitment in the alveoli and airway of mice. *Environ Res* 2005;99:361-368.
 14. Naota M, Mukaiyama T, Shimada A, Yoshida A, Okajima M, Morita T, Inoue K, Takano H. Pathological study of acute pulmonary toxicity induced by intratracheally instilled Asian sand dust (kosa). *Toxicol Pathol* 2010;38:1099-1110.
 15. He M, Ichinose T, Yoshida S, Nishikawa M, Mori I, Yanagisawa R, Takano H, Inoue K, Sun G, Shibamoto T. Airborne Asian sand dust enhances murine lung eosinophilia. *Inhal Toxicol* 2010;22:1012-1025.
 16. He M, Ichinose T, Yoshida S, Yamamoto S, Inoue K, Takano H, Yanagisawa R, Nishikawa M, Mori I, Sun G, Shibamoto T. Asian sand dust enhances murine lung inflammation caused by *Klebsiella pneumoniae*. *Toxicol Appl Pharmacol* 2012;258:237-247.
 17. Yeo NK, Hwang YJ, Kim ST, Kwon HJ, Jang YJ. Asian sand dust enhances rhinovirus-induced cytokine secretion and viral replication in human nasal epithelial cells. *Inhal Toxicol* 2010;22:1038-1045.
 18. Kwon HJ, Cho SH, Chun Y, Lagarde F, Pershagen G. Effects of the Asian dust events on daily mortality in Seoul, Korea. *Environ Res* 2002;90:1-5.
 19. Lee BE, Wang SS, Park HS, Ha EH, Kwon HJ, Lee JT, Cho YS, Park YS, Leem JH, Hong YC, Cho SH, Pang MG. The effects of Asian dust events on perceived symptoms and behavior of elementary school students. *J Korean Soc Sch Health* 2003;16:1-8.
 20. Park JW, Lim YH, Kyung SY, An CH, Lee SP, Jeong SH, Ju YS. Effects of ambient particulate matter on peak expiratory flow rates and respiratory symptoms of asthmatics during Asian dust periods in Korea. *Respirology* 2005;10:470-476.
 21. Yoo Y, Choung JT, Yu J, Kim DK, Koh YY. Acute effects of Asian dust events on respiratory symptoms and peak expiratory flow in children with mild asthma. *J Korean Med Sci* 2008;23:66-71.
 22. Hong YC, Pan XC, Kim SY, Park K, Park EJ, Jin X, Yi SM, Kim YH, Park CH, Song S, Kim H. Asian dust storm and pulmonary function of school children in Seoul. *Sci Total Environ* 2010;408:754-759.
 23. Kim JY, Baek KJ, Lee KR, Lee YJ, Hong DY. Effect of the Asian dust events on respiratory disease during the spring. *J Korean Soc Emerg Med* 2007;18:326-332.
 24. Hwang SS, Cho SH, Kwon HJ. Effects of the severe Asian dust events on daily mortality during the spring of 2002, in Seoul, Korea. *J Prev Med Public Health* 2005;38:197-202.
 25. Lee JT, Son JY, Cho YS. A comparison of mortality related to urban air particles between periods with Asian dust days and without Asian dust days in Seoul, Korea, 2000-2004. *Environ Res* 2007;105:409-413.
 26. Chen YS, Sheen PC, Chen ER, Liu YK, Wu TN, Yang CY. Effects of Asian dust storm events on daily mortality in Taipei, Taiwan. *Environ Res* 2004;95:151-155.
 27. Chiu HF, Tiao MM, Ho SC, Kuo HW, Wu TN, Yang CY. Effects of Asian dust storm events on hospital admissions for chronic obstructive pulmonary disease in Taipei, Taiwan. *Inhal Toxicol* 2008;20:777-781.
 28. Cheng MF, Ho SC, Chiu HF, Wu TN, Chen PS, Yang CY. Consequences of exposure to Asian dust storm events on daily pneumonia hospital admissions in Taipei, Taiwan. *J Toxicol Environ Health A* 2008;71:1295-1299.
 29. Yang CY, Cheng MH, Chen CC. Effects of Asian dust storm events on hospital admissions for congestive heart failure in Taipei, Taiwan. *J Toxicol Environ Health A* 2009;72:324-328.

30. Yang CY, Chen YS, Chiu HF, Goggins WB. Effects of Asian dust storm events on daily stroke admissions in Taipei, Taiwan. *Environ Res* 2005;99:79-84.
31. Yang CY, Tsai SS, Chang CC, Ho SC. Effects of Asian dust storm events on daily admissions for asthma in Taipei, Taiwan. *Inhal Toxicol* 2005;17:817-821.
32. Chang CC, Lee IM, Tsai SS, Yang CY. Correlation of Asian dust storm events with daily clinic visits for allergic rhinitis in Taipei, Taiwan. *J Toxicol Environ Health A* 2006;69:229-235.
33. Yang CY. Effects of Asian dust storm events on daily clinical visits for conjunctivitis in Taipei, Taiwan. *J Toxicol Environ Health A* 2006;69:1673-1680.
34. Otani S, Onishi K, Mu H, Kurozawa Y. The effect of Asian dust events on the daily symptoms in Yonago, Japan: a pilot study on healthy subjects. *Arch Environ Occup Health* 2011;66:43-46.
35. Watanabe M, Yamasaki A, Burioka N, Kurai J, Yoneda K, Yoshida A, Igishi T, Fukuoka Y, Nakamoto M, Takeuchi H, Suyama H, Tatsukawa T, Chikumi H, Matsumoto S, Sako T, Hasegawa Y, Okazaki R, Horasaki K, Shimizu E. Correlation between Asian dust storms and worsening asthma in western Japan. *Allergol Int* 2011;60:267-275.
36. Ueda K, Nitta H, Odajima H. The effects of weather, air pollutants, and Asian dust on hospitalization for asthma in Fukuoka. *Environ Health Prev Med* 2010;15:350-357.



Peer Reviewers' Commentary

본 논문은 최근에 발표된 황사 관련 연구를 반영하여 황사 발생 현황 및 황사 먼지의 특성, 황사 먼지의 독성에 대한 실험적 연구, 황사의 건강영향에 대한 역학조사결과 순으로 황사의 건강영향을 체계적으로 잘 고찰한 연구이다. 그 내용을 보면 황사는 호흡기계나 안구 증상을 유발하고 폐기능을 감소시키며 병원이용을 증가시키며 호흡기계질환으로 인한 사망위험을 증가시킬 수 있다. 또한 황사의 건강영향은 먼지의 화학적조성이나 미생물의 분포 등에 의해 건강영향의 종류나 크기가 달라질 수 있는데, 황사 먼지의 화학적 또는 생물학적 조성은 발원지와 이동경로에 따라 달라지기 때문에 황사로 인한 건강피해를 규명하고 예방하기 위해서는 이 부분을 고려해야 한다. 이 논문에서는 황사와 관련된 건강영향을 등을 상시적으로 모니터링 할 수 있는 체계를 갖춤으로써 황사의 피해를 정확히 모니터링하고 연구할 수 있도록 하는 것을 제안하고 있다. 이 논문은 황사의 건강영향을 잘 고찰하면서 향후 모니터링의 기본 방향을 제시함으로써 황사의 건강피해를 규명하고 예방하는데 크게 기여할 것으로 판단된다.

[정리·편집위원회]