

미세먼지가 건강에 미치는 영향

장 안 수 | 순천향대학교 의과대학 부천병원 호흡기알레르기내과

Impact of particulate matter on health

An-Soo Jang, MD

Department of Internal Medicine, Soonchunhyang University Bucheon Hospital, Soonchunhyang University College of Medicine, Bucheon, Korea

Ambient air pollution, including particulate matter (PM) and gaseous pollutants, represents an important environmental factor that adversely affects human health. PM is a complex mixture of extremely small particles and liquid droplets. Particle pollution is made up of a number of components, including acids (such as nitrates and sulfates), organic chemicals, metals, and soil or dust particles. Subtypes of atmospheric PM include suspended particulate matter, respirable suspended particles (particles with a diameter of 10 μm or less), fine particles (diameter of 2.5 μm or less), ultrafine particles, and soot. Sources of particulate matter can be artificial or natural. The effects of inhaling PM that have been widely studied in humans and animals now include asthma, lung cancer, cardiovascular mortality, respiratory diseases, birth defects, and premature death. This review focus on the impact of PM on health outcomes such as respiratory disease, heart disease, and cancer.

Key Words: Air pollution; Particulate matter; Health

서론

최근 미세먼지의 농도가 증가하고 증가된 기간이 오래 지속되어 미세먼지에 대한 관심과 미세먼지가 인체에 미치는 영향에 대한 사회적 관심이 증가하고 있다. 미세먼지 내에는 탄소성분(검댕, 생물체 유기탄소), 이온성분(염소, 질산, 암모늄, 나트륨, 칼슘 등), 금속성분(비소, 납, 수은 등), 다환방향족 탄화수소(벤조피렌 등) 등 다양한 성분을 포함하고 있다[1]. 분자의 크기, 표면적, 숫자, 입자의 물리상태에 따라

건강에 다양한 영향을 미치고 주 노출부위는 호흡기이다[2]. 미세먼지가 증가하면 시야가 흐려지고 불편감을 느낄 뿐 아니라 결막염, 부비동염, 중이염, 기관지염, 천식 및 만성폐쇄성폐질환의 악화, 폐렴, 협심증, 심근경색, 폐암 등 심각한 질병을 초래한다[2,3]. 미세먼지 농도가 올라가면 심혈관계, 호흡기계 환자 수가 기하급수적으로 늘어나고 사망률도 높아진다. 따라서 미세먼지의 생성원을 알아보고 미세먼지의 건강유해성을 호흡기, 심장, 기타 장기로 나누어 본고에서 알아보고자 한다.

Received: June 26, 2014 Accepted: July 10, 2014

Corresponding author: An-Soo Jang
E-mail: jas877@schmc.ac.kr

© 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.

발생원

미세먼지는 입자의 크기에 의해 10 μm 이하를 미세먼지, 2.5 μm 이하를 초미세먼지, 0.1 μm 이하를 극미세먼지로 정의하고 있다(Table 1). 먼지는 공기 중의 미세먼지는 자연

Table 1. Comparison of particulate matter

	PM10	PM2.5	PM0.1
Size (μm)	2.5-10	01-2.5	0.1
Organic carbon content	+	++	+++
Metal content	+++	++	+
PAH content	+	+	+++
Reactive oxygen species	Transition metals	PAH, quinones	PAH, quinones

Content amount, + < ++ < +++

PM, particulate matter; PAH, polyacromatic hydrocarbon.

적으로 발생하는 것도 있지만 인위적인 오염에 의해 배출되는 것도 있다. 우리가 마시는 미세먼지의 평균 30~50%는 중국에서 기원한다. 계절적으로는 봄철 황사와 겨울철 스모그가 발생할 때 중국의 영향이 더욱 크다. 미세먼지의 주요 배출원은 발전소, 제조시설 등과 같은 연료 연소 사업장, 노후 자동차나 그 이외 장비 사용에 의한 매연, 생활폐기물과 농업 잔재물 노천소각 등 무분별한 연소에 의해 미세먼지 발생한다. 겨울철이 시작되면 기후적인 영향으로 연무에 의한 미세먼지 발생이 증가하고, 여기에 중국으로부터의 스모그 영향이 겹쳐 우리나라의 미세먼지 농도가 치솟는 경우가 빈번하게 발생하게 된다. 황사는 주로 봄철에 발생한 반면 미세먼지는 계절에 상관없이 증가하고 있다(Table 2).

인체에 미치는 영향에 대한 기전

미세먼지가 인체에 미치는 영향은 선천면역, 후천면역, 산화스트레스 등 크게 세 가지 기전에 의해서 설명되어지고 있다. 미세먼지에 노출되면 급성염증을 일으키고 케모카인이나 사이토카인 등이 동원되어 선천면역에 관여한다[4]. 입자의 크기가 10 μm 이상인 경우에는 코나 후인두에서 걸러지며 입자의 크기가 작은 경우에 폐에 흡입되어 호산구나, 호중구, 탐식세포 등이 작동되고 섬모운동에 의해서 미세먼지가 제거된다. 미세먼지는 면역세포나 기도세포에서 IL-6, IL-8, GM-CSF, TNF-α 등을 분비시킨다[5].

미세먼지를 노출하면 폐탐식세포가 작동하고 IL-13등이 분비되어 기도와 폐포에 염증을 일으키며 기도상피세포에

Table 2. Differences between PM2.5 and Asian dust

	PM2.5	Asian dust
Particle size (μm)	< 2.5	4-10
Seson prevalence	Autumn, Winter	Spring
Containg materials	NO3-, SO4-, NH4-	Ca, Fe, Al, Mg

PM, particulate matter.

미세먼지를 노출하고 단백분석을 보면 미세먼지노출로 산화스트레스가 증가하여 방어기전, 세포활성화, 세포구조와 연관된 단백질이 증가하며[6]. 미세먼지노출에 의해 특히 탐식세포 migration-inhibitory factor 인자가 상피세포에서 발현이 증가하고 폐기관지폐포세척액, 폐포에서 단백질이 증가하여 중요한 역할을 할 것으로 여겨진다. 미세먼지는 예민한 사람에서 기도염증과 염증매개인자를 증가시켜 폐질환을 악화시키고[7] 폐감염을 증가시키고, 미세먼지나 초미세먼지가 탐식세포나 상피세포를 자극하여 TNF-α, TGF-β1, GM-CSF, PDGF, IL-6, IL-8 등을 증가시키고, 반응성 산소종이 급성 및 만성 폐염증을 일으킨다[8]. 후천면역으로 미세먼지는 IL-4나 IL-13을 증가시킨다[6]. 미세먼지와 알러젠을 동시에 줄 때 T세포 매개 염증을 더 증가시킨다. IL-4, IL-5, IL-13, GM-CSF, RANTES, MCP-3, MIP-1 등을 증가시킨다[9]. 반응성산소종 등 산화스트레스는 산화항산화 효소의 반응균형이 불균형되면서 기도에 염증을 일으키게 된다[10].

인체에 대한 건강영향

1. 호흡기 영향

미세먼지는 입자의 크기가 0.1 μm 이하, 0.1~2.5 μm, 2.5~10 μm인 분진으로 나뉘며 입자가 큰 분진은 기계적인 조작과정에서 연소나 화학반응으로 생성되며 분진농도가 증가하게 되면 코, 기관지, 결막에 접촉되어 천식, 알러르기비염, 결막염 등을 악화시키며 폐기능의 감소, 호흡기증상의 증가, 병원방문 횟수 증가, 병원입원의 증가를 가져오고 때로는 호흡기질환으로 인한 사망률의 증가를 초래하기도 한다. 그리고 호흡기계 방어기전이 약한 영아나 노인에서 호흡

기감염의 가능성이 높아진다. 분진은 오존보다 대기 중에 머물며 천식의 악화 및 폐기능 감소에 오존보다 더 강하게 영향을 미친다[11]. 천식아동을 대상으로 한 연구에서 실내, 실외, 동일지역 중앙제어시스템에서 분진을 측정하고 폐기능의 변화를 관찰 하였을 때 실내, 실외, 중앙 지역 PM_{2.5}, PM₁₀의 증가와 폐기능의 감소가 유의한 연관관계를 보였다[12]. 디젤분진은 PM_{2.5}의 대표적인 물질로 면역글로불린 E 및 알레르기성 기도염증을 일으키고 기도과민성을 유발시킨다는 것이 알려져 있다[13,14]. 디젤분진을 노출 후 기관지폐포세척액에서 폐대식세포, 호중구, 림프구의 증가가 관찰되며 폐조직에 호중구의 증가와 기관조직에 림프구, 비만세포, IL-8 mRNA 발현의 증가를 보인다[15]. 알레르기 비염에서 디젤분진 노출 후에 재채기, 코분비물이 증가, 특이 anti-ovalbumin (OVA)-IgG와 anti-OVA-IgE가 증가하고 코상피에 호산구침착, 배상세포 등이 증가하여 코에 디젤분진 노출이 알레르기 반응을 일으킨다[16]. 디젤분진은 기도염증을 일으키고 디젤분진과 꽃가루 감작에 상승작용을 나타낸다[17].

대기오염의 증가는 알레르기질환의 증가를 가져오고 어린이에서 급성 노출은 호흡기증상증가, 폐기능감소를 가져오며, 장기적 노출은 만성기침, 천식, 만성기도질환의 발생을 3배 이상 증가시킨다[18]. 자동차도로에서 발생하는 디젤분진은 도로주위에 사는 어린이의 폐기능을 감소시킨다[19]. 대기오염은 폐기능의 감소, 기도과민성증가, 천식악화를 일으키며 병원방문, 입원, 약물사용증가, 호흡기증상의 증가를 초래한다. 디젤분진에 급성노출은 코, 눈의 자극, 두통, 폐기능감소, 피곤감, 구역 등의 증상이 나오고 만성노출 시 기침, 객담, 폐기능감소를 가져온다[20]. 날씨, 계절, 시간, 나이, 병원조건 등 다양한 요소를 감안하여도 분진과 응급실방문과 유의한 관계가 있었다[21]. 어린이연구에서 실내 초미세먼지 노출 시 폐기능감소와 밀접한 관계가 있었다[22]. 마찬가지로 미세먼지도 천식의 증상과 밀접한 관계를 보였다[23]. PM₁₀의 증가는 0.6-2.2%의 호흡기사망률을 증가시키고 많은 코호트연구에서도 호흡기 유병률과 사망률에 중요한 인자로 보고하였다[24]. 4,400명을 대상으로 한 영국연구에서 학동전기아동에서 가정에서의 PM₁₀노출과 기침과

관련이 있으며[24], 미국 건강영양조사(1988-1994)에서 흡연노출이 소아천식, 천명, 만성기관지염과 관련이 있음을 보고하였다[25]. 대기오염에 노출은 만성폐쇄성폐질환의 기전에 중요한 영향을 미치며 그 기전은 어린이에서 대기오염노출은 폐성장에 영향을 주어 성인 호흡기질환에 영향을 주고[26], 소아에서 대기오염노출은 폐의 선천면역에 영향을 주어 세포 및 분자적기전으로 영향을 주며, 만성폐쇄성폐질환에 감염을 일으키게 할 수 있다. 그리고 소아에서 폐손상은 만성폐쇄성폐질환 예후에 영향을 준다. 흡연노출이 만성폐쇄성폐질환 발생과 관계하며, 소아에서 미세먼지노출은 성인에서 호흡기질환의 증가 및 악화를 가져온다. 미세먼지 만성노출은 소아에서 폐의 미성숙을 초래하고 성인에서 급속한 폐기능저하, 기도점액증가, 폐선천면역력감소를 가져온다[27,28].

2. 심혈관계 영향

미세먼지가 심장질환의 유병률과 사망률과의 관계는 잘 알려져 있으며 미세먼지와 초미세먼지 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소는 미국에서 연당 1,500건의 허혈성 심장질환 입원을 줄인다[29]. 성인 32명에 초미세먼지를 2시간 노출하였을 때 그렇지 않은 군에 비해 수축기와 이완기 혈압이 초미세먼지 노출 10분 후부터 증가하였고 심박수도 유의하게 증가하였다[30].

2001년부터 2007년 까지 홍콩지역의 PM₁₀과 관련된 허혈성심장질환 입원을 분석하였을 때 분진에 포함된 분진 종류에 따라 약간 차이가 있었지만 vehicle exhaust 1.87% (95% confidence interval [CI], 0.66-3.10; interquartile range [IQR], 4.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), secondary nitrate 2.28% (95% CI, 1.15-3.42; IQR, 8.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), aged sea salt 1.19% (95% CI, 0.04-2.36; IQR, 5.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 등이 유의한 허혈성 심장질환 입원과 관련이 있었다[31].

2004년부터 2010년까지 잉글랜드와 웨일즈지방에서 154,204명의 환자를 대상으로 3.7년 동안 추적관찰 하여 39,863명의 사망을 코호트 분석한 결과 PM_{2.5} 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가가 사망률을 1.2배(95% CI, 1.04-1.38)를 증가시켰다[32]. 분진의 구성, 실내에서 노출, 인구구성, 노출평가방법, 변수 등에 다양한 영향을 받지만 PM_{2.5}의 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

증가는 전체사망률 6% (95% CI, 4-8), 심장혈관계 사망률 15% (95% CI, 4-27)증가를 가져왔다. PM_{2.5} 장기간 노출은 비암성 호흡기질환에 비해 특히 심장의 허혈성 심장질환의 사망률 3% 증가를 가져온다[33]. 일본에서 78,057명에서 (37,121 남성; 40,936 여성) 미세먼지 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가가 흡연자에서 관상동맥질환 1.39 (95% CI, 1.01-1.93), 심근경색 1.52 (95% CI, 1.08-2.13)증가시키고 여성에서는 관상동맥질환 1.63 (95% CI, 0.91-2.92), 심근경색 1.99 (95% CI, 1.07-3.70) 증가시켰으며, 사망률은 미세먼지 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가에 1.11 (95% CI, 0.92-1.33)를 증가시켰다[34].

3. 사망과 암

미국 메사추세츠에서 2000-2008년까지 추적조사에서 PM_{2.5} 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 급성노출 시 심장이나 호흡기 사망률 2.8% 증가(95% CI, 2.0-3.5)를 가져오고 장기간 노출 시 PM_{2.5} 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가 시 1.6배 증가(95% CI, 1.5-1.8)하였다[35]. 성인 사망률에서 심장호흡기 사망률에 8%, 폐암 사망률에 12.8%, 허혈성심장질환 사망률에 9.4%에 영향을 미치는 것으로 조사되고 있다[36].

1982년부터 2008년까지 미국암협회 모집된 120만 암예방연구에 등록된 비흡연자 188,699명에서 폐암환자 사망과 PM_{2.5}의 연관성분석에서 1,100 폐암사망을 26년 추적관찰에서 PM_{2.5} 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가는 폐암사망률을 증가시켰다[37].

유럽 9개국 17개의 코호트연구에서 312,944명을 대상으로 한 연구에서 12.8년 간 추적관찰하여 2,095명의 폐암을 분석하였을 때 PM₁₀ 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가가 위험도를 1.22배(95% CI, 1.03-1.45)증가시켰고, PM_{2.5} 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가는 1.18배(95% CI, 0.96-1.46)증가시켰으며, 선암인 경우 PM₁₀은 1.51배(95% CI, 1.10-2.08), PM_{2.5}는 1.55배(95% CI, 1.05-2.29) 각각 증가시켰다. 특히 자동차도로 근처 거주자는 1.09배(95% CI, 0.99-1.21) 폐암발생이 증가하였다[38].

4. 동반질환

1990년부터 2003년까지 10년 동안 캐나다 몬트리올주 퀘벡에서 65세 이상 노인을 대상으로 추적분석한 결과 PM_{2.5}

를 포함한 대기오염물질 NO₂, CO, SO₂ 등이 심장혈관질환, 심부전, 심방세동, 당뇨병 등의 사망률과 관련이 있었다[39].

결론

미세먼지의 노출은 폐, 심장과 다양한 장기에 영향을 미치며 병원방문, 입원 증가와 사망률을 증가시키고 있다. 따라서 미세먼지를 모니터링하고 미세먼지가 인체에 미치는 영향에 대한 다양한 분야의 연구와 대책이 수립되어 안전하고 건강한 생활을 유지할 수 있도록 하여야 할 것이다.

Acknowledgement

This subject is supported by Korea Ministry of Environment (2012001360001) as “The Environmental Health Action Program” and was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (2013R1A1A2005465).

찾아보기말: 대기오염; 미세먼지; 건강영향

ORCID

An-Soo Jang, <http://orcid.org/0000-0001-5343-023X>

REFERENCES

1. Pagan I, Costa DL, McGee JK, Richards JH, Dye JA. Metals mimic airway epithelial injury induced by in vitro exposure to Utah Valley ambient particulate matter extracts. *J Toxicol Environ Health A* 2003;66:1087-1112.
2. Ristovski ZD, Miljevic B, Surawski NC, Morawska L, Fong KM, Goh F, Yang IA. Respiratory health effects of diesel particulate matter. *Respirology* 2012;17:201-212.
3. Ayres JG, Borm P, Cassee FR, Castranova V, Donaldson K, Ghio A, Harrison RM, Hider R, Kelly F, Kooter IM, Marano F, Maynard RL, Mudway I, Nel A, Sioutas C, Smith S, Baeza-Squiban A, Cho A, Duggan S, Froines J. Evaluating the toxicity

- of airborne particulate matter and nanoparticles by measuring oxidative stress potential: a workshop report and consensus statement. *Inhal Toxicol* 2008;20:75-99.
4. Seagrave J. Mechanisms and implications of air pollution particle associations with chemokines. *Toxicol Appl Pharmacol* 2008;232:469-477.
5. Totlandsdal AI, Cassee FR, Schwarze P, Refsnes M, Lag M. Diesel exhaust particles induce CYP1A1 and pro-inflammatory responses via differential pathways in human bronchial epithelial cells. *Part Fibre Toxicol* 2010;7:41.
6. Kang CM, Jang AS, Ahn MH, Shin JA, Kim JH, Choi YS, Rhim TY, Park CS. Interleukin-25 and interleukin-13 production by alveolar macrophages in response to particles. *Am J Respir Cell Mol Biol* 2005;33:290-296.
7. Seaton A, MacNee W, Donaldson K, Godden D. Particulate air pollution and acute health effects. *Lancet* 1995;345:176-178.
8. Zelikoff JT, Chen LC, Cohen MD, Fang K, Gordon T, Li Y, Nadziejko C, Schlesinger RB. Effects of inhaled ambient particulate matter on pulmonary antimicrobial immune defense. *Inhal Toxicol* 2003;15:131-150.
9. Hamilton RF Jr, Holian A, Morandi MT. A comparison of asbestos and urban particulate matter in the in vitro modification of human alveolar macrophage antigen-presenting cell function. *Exp Lung Res* 2004;30:147-162.
10. Malik AI, Storey KB. Transcriptional regulation of antioxidant enzymes by FoxO1 under dehydration stress. *Gene* 2011;485:114-119.
11. Salvador P, Artinano B, Querol X, Alastuey A. A combined analysis of backward trajectories and aerosol chemistry to characterise long-range transport episodes of particulate matter: the Madrid air basin, a case study. *Sci Total Environ* 2008;390:495-506.
12. Delfino RJ, Quintana PJ, Floro J, Gastanaga VM, Samimi BS, Kleinman MT, Liu LJ, Bufalino C, Wu CF, McLaren CE. Association of FEV1 in asthmatic children with personal and microenvironmental exposure to airborne particulate matter. *Environ Health Perspect* 2004;112:932-941.
13. Fujieda S, Diaz-Sanchez D, Saxon A. Combined nasal challenge with diesel exhaust particles and allergen induces In vivo IgE isotype switching. *Am J Respir Cell Mol Biol* 1998;19:507-512.
14. Ohta K, Yamashita N, Tajima M, Miyasaka T, Nakano J, Nakajima M, Ishii A, Horiuchi T, Mano K, Miyamoto T. Diesel exhaust particulate induces airway hyperresponsiveness in a murine model: essential role of GM-CSF. *J Allergy Clin Immunol* 1999;104:1024-1030.
15. Salvi SS, Frew A, Holgate S. Is diesel exhaust a cause for increasing allergies? *Clin Exp Allergy* 1999;29:4-8.
16. Terada N, Maesako K, Hiruma K, Hamano N, Houki G, Konno A, Ikeda T, Sai M. Diesel exhaust particulates enhance eosinophil adhesion to nasal epithelial cells and cause degranulation. *Int Arch Allergy Immunol* 1997;114:167-174.
17. Riedl M, Diaz-Sanchez D. Biology of diesel exhaust effects on respiratory function. *J Allergy Clin Immunol* 2005;115:221-228.
18. Nicolai T. Air pollution and respiratory disease in children: what is the clinically relevant impact? *Pediatr Pulmonol Suppl* 1999;18:9-13.
19. Brunekreef B, Janssen NA, de Hartog J, Harssema H, Knappe M, van Vliet P. Air pollution from truck traffic and lung function in children living near motorways. *Epidemiology* 1997;8:298-303.
20. McCreanor J, Cullinan P, Nieuwenhuijsen MJ, Stewart-Evans J, Malliarou E, Jarup L, Harrington R, Svartengren M, Han IK, Ohman-Strickland P, Chung KF, Zhang J. Respiratory effects of exposure to diesel traffic in persons with asthma. *N Engl J Med* 2007;357:2348-2358.
21. Mortimer KM, Neas LM, Dockery DW, Redline S, Tager IB. The effect of air pollution on inner-city children with asthma. *Eur Respir J* 2002;19:699-705.
22. McConnell R, Berhane K, Gilliland F, Molitor J, Thomas D, Lurmann F, Avol E, Gauderman WJ, Peters JM. Prospective study of air pollution and bronchitic symptoms in children with asthma. *Am J Respir Crit Care Med* 2003;168:790-797.
23. Breyse PN, Diette GB, Matsui EC, Butz AM, Hansel NN, McCormack MC. Indoor air pollution and asthma in children. *Proc Am Thorac Soc* 2010;7:102-106.
24. Pierse N, Rushton L, Harris RS, Kuehni CE, Silverman M, Grigg J. Locally generated particulate pollution and respiratory symptoms in young children. *Thorax* 2006;61:216-220.
25. Gergen PJ, Fowler JA, Maurer KR, Davis WW, Overpeck MD. The burden of environmental tobacco smoke exposure on the respiratory health of children 2 months through 5 years of age in the United States: Third National Health and Nutrition Examination Survey, 1988 to 1994. *Pediatrics* 1998;101:E8.
26. Grigg J. Particulate matter exposure in children: relevance to chronic obstructive pulmonary disease. *Proc Am Thorac Soc* 2009;6:564-569.
27. Pope CA 3rd, Ezzati M, Dockery DW. Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States. *N Engl J Med* 2009;360:376-386.
28. Yang Q, Chen Y, Krewski D, Burnett RT, Shi Y, McGrail KM. Effect of short-term exposure to low levels of gaseous pollutants on chronic obstructive pulmonary disease hospitalizations. *Environ Res* 2005;99:99-105.
29. Dominici F, Peng RD, Bell ML, Pham L, McDermott A, Zeger SL, Samet JM. Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases. *JAMA* 2006;295:1127-1134.
30. Brook RD, Bard RL, Morishita M, Dvonch JT, Wang L, Yang HY, Spino C, Mukherjee B, Kaplan MJ, Yalavarthi S, Oral EA, Ajluni N, Sun Q, Brook JR, Harkema J, Rajagopalan S. Hemodynamic, autonomic, and vascular effects of exposure to coarse particulate matter air pollution from a rural location. *Environ Health Perspect* 2014;122:624-630.
31. Pun VC, Yu IT, Ho KF, Qiu H, Sun Z, Tian L. Differential effects of source-specific particulate matter on emergency hospitalizations for ischemic heart disease in Hong Kong. *Environ Health Perspect* 2014;122:391-396.
32. Tonne C, Wilkinson P. Long-term exposure to air pollution is associated with survival following acute coronary syndrome. *Eur Heart J* 2013;34:1306-1311.

33. Hoek G, Krishnan RM, Beelen R, Peters A, Ostro B, Brunekreef B, Kaufman JD. Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: a review. *Environ Health* 2013;12:43.
34. Nishiaki Y, Michikawa T, Takebayashi T, Nitta H, Iso H, Inoue M, Tsugane S; Japan Public Health Center-based Prospective Study Group. Long-term exposure to particulate matter in relation to mortality and incidence of cardiovascular disease: the JPHC Study. *J Atheroscler Thromb* 2013;20:296-309.
35. Kloog I, Ridgway B, Koutrakis P, Coull BA, Schwartz JD. Long- and short-term exposure to PM_{2.5} and mortality: using novel exposure models. *Epidemiology* 2013;24:555-561.
36. Evans J, van Donkelaar A, Martin RV, Burnett R, Rainham DG, Birkett NJ, Krewski D. Estimates of global mortality attributable to particulate air pollution using satellite imagery. *Environ Res* 2013;120:33-42.
37. Turner MC, Krewski D, Pope CA 3rd, Chen Y, Gapstur SM, Thun MJ. Long-term ambient fine particulate matter air pollution and lung cancer in a large cohort of never-smokers. *Am J Respir Crit Care Med* 2011;184:1374-1381.
38. Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Beelen R, Samoli E, Stafoggia M, Weinmayr G, Hoffmann B, Fischer P, Nieuwenhuijsen MJ, Brunekreef B, Xun WW, Katsouyanni K, Dimakopoulou K, Sommar J, Forsberg B, Modig L, Oudin A, Oftedal B, Schwarze PE, Nafstad P, De Faire U, Pedersen NL, Ostenson CG, Fratiglioni L, Penell J, Korek M, Pershagen G, Eriksen KT, Sørensen M, Tjønneland A, Ellermann T, Eeftens M, Peeters PH, Meliefste K, Wang M, Bueno-de-Mesquita B, Key TJ, de Hoogh K, Concin H, Nagel G, Vilier A, Grioni S, Krogh V, Tsai MY, Ricceri F, Sacerdote C, Galassi C, Migliore E, Ranzi A, Cesaroni G, Badaloni C, Forastiere F, Tamayo I, Amiano

P, Dorronsoro M, Trichopoulou A, Bamia C, Vineis P, Hoek G. Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *Lancet Oncol* 2013;14:813-822.

39. Goldberg MS, Burnett RT, Stieb DM, Brophy JM, Daskalopoulou SS, Valois MF, Brook JR. Associations between ambient air pollution and daily mortality among elderly persons in Montreal, Quebec. *Sci Total Environ* 2013;463-464:931-942.

Peer Reviewers' Commentary

본 논문은 미세먼지 노출이 건강에 미치는 영향을 검토한 논문이다. 미세먼지가 인체에 미치는 영향을 면역학적 및 비면역학적 기전으로 나누어 기존에 보고된 연구와 자료를 근거로 체계적으로 기술하였다. 또한 미세먼지 노출로 인하여 나타나는 건강영향을 역학 연구 및 코호트 자료 결과 위주로 명확히 분석하였으며, 이를 천식, 호흡기계, 심혈관계, 그리고 암과 같은 주요 질환별로 나누어 상세히 평가하였다. 최근 미세먼지 발생 증가에 따른 사회적 관심의 증가로 인하여 미세먼지로 인한 건강피해 우려가 주요한 사회적 이슈로 제기되고 있으나, 이에 대한 국내 연구 및 대책은 부족한 상태이다. 이러한 시점에 미세먼지가 건강에 미치는 영향을 발생원, 기전 및 임상 질환별로 검토한 후 향후의 연구 및 대처 방향에 대한 제시를 했다는 점에서 의의가 있는 논문이라 판단된다.

[정리: 편집위원회]