

미세먼지의 건강영향

경 선 영 · 정 성 환 | 가천의과대학교 길병원 내과

Adverse health effects of particulate matter

Sun Young Kyung, MD · Sung Hwan Jeong, MD

Department of Internal Medicine, Gachon University Gil Hospital, Incheon, Korea

Particulate matter (PM) is known to have serious health effects in individuals with respiratory or cardiovascular disease. Recent studies have shown that they also have noxious effects on cerebrovascular, metabolic, and neuropsychiatric disorders, as well as pregnancy. The aim of this study is to review the various diseases associated with PM in each human organ. Regarding respiratory diseases, PM has been associated with increased acute exacerbation in patients with chronic obstructive pulmonary disease, bronchial asthma, and several other respiratory diseases, resulting in increased hospitalization and mortality. In addition, PM increases the risk of lung cancer and accelerates the decline of lung function. Individuals with cardiovascular conditions such as ischemic heart disease, heart failure, hypertension, arrhythmia, and atherosclerosis have been also found to exhibit increased morbidity and mortality when exposed to PM. PM also has been reported to cause insulin resistance and to induce increasing rates of diabetes. During pregnancy, prolonged exposure to PM has been associated with increased rates of low birth weight and preterm birth. In individuals with neurological diseases, exposure to PM reduces cognitive ability and memory, and increases stroke incidence. It has been reported that PM also exacerbates psychiatric conditions, particularly depression and anxiety disorder. Thus, PM has been shown to exert very noxious health effects on the human body, with impacts including effects on respiratory and cerebrovascular diseases, cardiovascular diseases, neuropsychiatric diseases, and low birth weight.

Key Words: Asthma; Cardiovascular diseases; Lung neoplasms; Particulate matter; Pulmonary diseases

서론

미세먼지는 흡입이 가능한 다양한 크기, 구성, 그리고 발생원을 가지고 있는 대기오염물질로, 공기 중의 총 부유분진 중 보통 직경 10 μm 이하의 먼지를 PM10 (particulate matter

less than 10 μm in diameter)이라 하고, 2.5 μm 이하의 먼지를 초미세먼지(particulate matter less than 2.5 μm in diameter, PM2.5), 0.1 μm 이하의 먼지를 극미세먼지(particulate matter less than 0.1 μm in diameter, PM0.1)로 정의한다[1].

미세먼지는 크기가 작을수록 하부 기관지 및 폐 실질까지 침착하여 호흡기계에 손상을 크게 일으킬 수 있으며 대기 중의 미세먼지 농도가 높을수록 호흡기계 및 심혈관계 질환의 증상 악화를 초래하고 본 질환의 유병률 및 사망률을 증가시킬 수 있는 것으로 알려져 있다[1-4]. 유럽에서 진행된 전향적 코호트 연구(European Study of Cohorts for Air Pollution Effects, ESCAPE study)에서 미세먼지가 폐암 발생의

Received: March 18, 2017 Accepted: March 31, 2017

Corresponding author: Sung Hwan Jeong
E-mail: jsw@gilhospital.com

© 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.

Table 1. Influence on the major organs and diseases of human by particulate matter

Organ	Disease	Organ	Disease
Eyes	Inflammation Pruritus	Nose	Rhinitis
Lung	Pneumonia Lung cancer COPD Asthma	Brain	Cerebral stroke Neurodegenerative diseases Dementia Depressive disorder
Cardiovascular	Arrhythmia Myocardial infarction Heart failure Hypertensive disease Deep vein thrombosis	Pancreas	Type 2 diabetes Type 1 diabetes
Skin	Atopy Aging	Uterus	Premature birth Decreased birthweight Decreased fetal growth

COPD, chronic obstructive pulmonary disease.

위험인자임이 밝혀졌고, 세계보건기구는 미세먼지를 발암인자로 발표했다[5,6]. 미세먼지의 인체 영향은 2012년 전 세계적으로 약 3백만 명의 사망에 기여한 것으로 나타났다[7]. 또한 최근 연구결과에 의하면 미세먼지는 호흡기질환 및 심혈관질환 이외에 뇌졸중이나 인지장애 같은 중추신경계 이상, 미숙아 출산 증가, 당뇨 같은 대사성질환 악화, 악성종양의 증가 및 우울증과 같은 정신질환의 증가 등 인체의 건강문제에 상당히 다양하고 광범위하게 영향을 미치는 것으로 보고되었으며 이는 전 세계적으로 큰 문제로 대두되고 있다(Table 1) [8].

미세먼지의 발생원은 크게 화석연료의 연소 과정에서 배출되는 인위적인 발생원과 황사처럼 자연환경 자체에 의한 발생원으로 나눌 수 있다. 우리나라에서 발생하는 미세먼지는 중국에서 날아오는 것과 국내에서 자체적으로 발생하는 대기오염물질들이 섞이면서 구성된다[9]. 특히 황사가 잘 알려진 국외 미세먼지 발생요인인데, 대부분 중국 북서부 건조지역이나 몽골에서 발생하여 직경이 큰 입자들은 발원지에 머물지만 미세먼지는 장거리 대기 이동을 통해 국내로 넘어올 수 있다. 이와 같이 국내 미세먼지는 국내외적 발생원을 갖고 있으며, 특히 중국이 급속한 산업화 과정에서 화석연료의 사용이 급증하면서 발생하는 미세먼지의 증가가 점차 심각해지는 상황이다. 환경부에서 미세먼지를 줄이기 위한 대기정책과 미세먼지 및 황사예보를 시행 중이나, 최

근 대기 중 미세먼지 농도가 ‘나쁨’ 이상의 날이 많아져서 미세먼지에 취약한 질환자, 어린이 및 노인은 물론 일반인을 포함한 불특정 다수에 대한 건강피해가 심각하게 우려되는 상황이다.

이에 본 문헌에서는 최근 연구결과들을 중심으로 대기 중 미세먼지가 구체적인 인체의 건강에 어떤 영향을 미치는지를 각 인체기관 및 질환별로 고찰하였다.

미세먼지와 호흡기질환 및 알레르기질환의 관계

호흡기도는 미세먼지가 인체 내로 들어오는 첫 번째 관문이며, 이 때문에 호흡기는 미세먼지의 건강영향을 직접적으로 많이 받을 수 있다. 미세먼지는 만성폐쇄성폐질환(chronic obstructive pulmonary disease, COPD), 천식을 비롯하여 여러 호흡기질환에서 기도염증, 기도개형, 기도와 민반응, 기도청소, 감염에 대한 면역기능 등에 영향을 줌으로써 발병과 악화, 사망률 증가를 초래하게 된다. 미세먼지에 의한 호흡기계 사망률 증가와 폐암 발생 증가는 매우 잘 알려져 있다[3,10].

1. 미세먼지와 폐기능

미세먼지 노출은 폐기능 감소와 관련되어 있고, 소아에서 폐기능 성장속도의 저하를 성인에서 폐기능 감소속도 증가를 유도할 수 있다[11-13]. 소아를 대상으로 한 전향적 코호트연구들에서 수년 간 미세먼지 농도가 높은 지역에 살았던 소아들은 1초 간 강제호기량(forced expiratory volume in one second, FEV1)과 노력성 폐활량(forced vital capacity, FVC)이 모두 유의하게 감소하였으며, 이는 PM2.5의 경우 영향이 더 컸다[11,12]. 성인의 경우 SAPALDIA (The Swiss Study on Air Pollution and Lung Disease in Adults) 연구

에서 PM10 연간 평균농도가 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가 시 각각 FVC 3.4%, FEV1 1.6% 감소하였다[13]. 이런 결과로 장기간의 미세먼지 노출이 폐기능에 부정적인 영향을 줄 수 있다는 것을 알 수 있다.

2. 미세먼지와 COPD

미세먼지 노출은 COPD 증상의 악화, 그로 인한 응급실 방문이나 입원 증가를 초래하며 나아가 COPD 사망률을 증가시킨다[1, 14, 15]. 미세먼지와 COPD 발생의 관계는 아직 명확치 않다[16]. 장기간의 미세먼지 노출이 성인에서 폐기능 감소속도 증가를 유발할 수 있으므로 미세먼지는 잠재적인 COPD 발병 위험인자로 생각할 수 있다.

3. 미세먼지와 폐암

2013년 세계보건기구와 International Agency for Research on Cancer에서 미세먼지를 발암물질로 발표하였으며, 미세먼지는 폐암과 방광암의 발병 위험을 높이고, 암 사망률을 증가시킨다[3, 6]. 유럽의 다국가 전향적 코호트 ESCAPE 연구에서 PM10이 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가 시 폐암 발생 위험비는 1.22였으며, PM2.5는 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가 시 1.18이었다[5].

4. 미세먼지와 기관지천식

미세먼지에 노출되면 알레르기 물질의 감작 및 천식 악화가 있을 수 있으며, 천식 환자의 폐기능 감소, 기침, 천명, 호흡곤란 등과 같은 증상의 악화 및 병원 이용의 증가를 초래한다(천식 악화 20–30% 증가)[17, 18]. 미세먼지 중 PM2.5는 천식의 발생률과 유병률을 유의하게 높여주는 결과를 보여주었다[17]. 미세먼지는 천식 환자에게 이로써 미세먼지 단기 노출에 의해 천식 악화에 따른 입원 증가가 초래되고, 장기 노출되면 천식 유병률이 증가함을 알 수 있었다[17].

5. 미세먼지와 기타 호흡기질환

미세먼지는 폐렴, 급성기관지염, 만성기관지염과 유의한 상관관계가 있으며, 폐렴의 경우 소아와 성인 모두에서 발생 위험이 높아지며, 이로 인한 사망률도 증가한다[19, 20].

6. 미세먼지와 호흡기 생체표지자

미세먼지에 의해 폐 내 기도 염증이 증가하는데, 이는 기관지폐포세척액 또는 유도객담에서 염증 사이토카인이나 호중구 증가를 보이거나 혈중 8-isoprostane 증가를 보일 수 있다. 또한 알레르기 염증반응의 악화로 호기 산화질소 증가, 천식 환자의 기도과민성 증가를 보이기도 한다. 폐기능 검사 상 폐용적이나 폐확산능 감소를 보일 수 있다[8, 21].

미세먼지와 심장순환기질환과의 관계

미세먼지는 호흡기로도 흡입된 후 혈관 내로 흡수되어 혈관 내 염증반응을 증가시키며, 이로 인해 허혈성심장질환, 고혈압, 죽상경화증과 같은 혈관성질환을 악화시키거나 사망률 증가를 초래할 수 있다. 또한 심부전, 부정맥과 같은 여러 심장질환에 악영향을 줄 수 있다.

1. 미세먼지와 허혈성심장질환

미세먼지 중 PM2.5가 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 상승 시 허혈성심장질환의 위험도가 1.18배 증가함이 보고되었고, PM2.5의 장기간 노출이 허혈성심질환에 의한 사망률을 증가시키는 결과를 보여주었다. 이어진 US Medicare 연구에서는 PM2.5 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소가 허혈성심질환에 의한 입원을 감소시킨다는 것을 보고하였고, 최근의 대규모 European Cohort 연구에서도 대기 중 PM2.5가 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가될 경우 허혈성관상동맥질환을 약 13% 증가시킴을 보고하여, 대기 중 PM2.5가 허혈성심장질환의 발생과 악화에 깊이 관여함을 알 수 있다[22, 23].

2. 미세먼지와 심부전

미세먼지 중 PM2.5 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가가 심부전에 의한 입원율을 1.28% 증가시키는 것으로 나타났는데, 미국 7개 도시에서 수행한 US Medicare의 다른 분석에서는, PM10 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가도 심부전에 의한 입원율을 0.72% 증가시키는 것으로 나타나, PM10과 PM2.5 모두 심부전의 악화와 이로 인한 사망률의 증가에 유의한 영향을 미치는 결과를 보여주었다[24].

3. 미세먼지와 부정맥 및 고혈압

부정맥과 관련해서는 제세동기를 삽입한 환자들을 대상으로, PM_{2.5} 증가가 부정맥을 증가시킨다는 몇 가지 연구가 있었으나, 대기오염 중 미세먼지 증가와 부정맥과의 관계가 아직 명확하게 밝혀지진 않은 상황이다. 혈압과의 연관성에서 PM_{2.5} 10 µg/m³ 증가가 1주 내의 단기간에는 1–2 mmHg의 상승을 유발할 수 있으나 30일에서 1년간의 장기 노출 시에는 혈압 5–10 mmHg 상승을 유발할 수 있다고 보고되어 있어, 장기간의 PM_{2.5} 노출은 고혈압 환자들에게 뇌졸중 발생비율을 올릴 수 있는 요소가 될 수 있다 [25,26].

4. 미세먼지와 혈관의 죽상경화증

미세먼지 중 PM_{2.5}의 증가는 경동맥과 관상동맥을 포함한 혈관의 벽을 두껍게 하고 죽상경화를 증가시키고 혈전의 발생빈도를 늘리는 것으로 밝혀졌으며 이로 인해 혈관의 기능이 감소되면서 혈류의 흐름이 저하되어 심근경색증과 뇌졸중의 발생을 증가시키는 것으로 보고되고 있다 [27].

5. 미세먼지와 심장순환기 생체표지자

미세먼지 노출로 심박수 변동성이 감소되고, 혈관 내의 섬유소 용해 기능이 손상되고, 혈소판 침착 기능이 증가하여 혈전 형성이 증가되고, 혈액 내에서 C-reactive protein, interleukin-6, tumour necrosis factor- α , fibrinogen 등이 유의하게 증가한다 [8,28].

미세먼지와 대사성질환과의 관계

미세먼지에 노출 시 전신 염증이 발생하면서 당화혈색소 증가와 인슐린저항성이 증가하면서 2형 당뇨병의 발생이 증가할 수 있으며 특히 남성보다는 여성에서 영향을 크게 받는 것으로 조사되어 있다. 아울러 장기간의 미세먼지 노출로 인한 인슐린저항성의 증가는 어린이 지방조직에서 당 및 지방 대사에 문제를 일으켜 비만을 유도하는 것으로 보고되어 있다 [29,30].

미세먼지와 임신과의 관계

임신기간 중 미세먼지의 노출에 제일 문제되는 것은 2,500 g 이하의 저체중출산과 37주 이내의 조기출산 문제이다. 저체중출산은 태아사망률을 증가시키고 장기미숙 등에 따른 여러 가지 부작용을 발생시킬 수 있다. 기존의 연구에 의하면 PM₁₀과 PM_{2.5} 모두 연관성이 있는 것으로 알려져 있으며, 특히 대기 중 PM_{2.5}가 5 µg/m³ 감소되면 약 11%의 저체중출산을 감소시켜줄 수 있는 것으로 보고되어 있다. 사산과 태아의 선천적 이상과 미세먼지 노출과의 연관성은 아직은 불확실한 것으로 알려져 있다 [31,32].

미세먼지와 신경질환 및 정신질환과의 관계

미세먼지에 노출 시 인지기능과 기억력을 감소시킨다는 보고가 있다. 특히 PM_{2.5}에 연중 장기간 노출될 경우 알츠하이머 환자나 혈관성치매 환자들에서 인지기능 저하와 기억력 저하 현상이 유의한 것으로 알려져 있다. 일부의 연구에서는 임신 시 모체가 미세먼지에 대한 노출이 심했을 경우 태어난 아이는 유년기 시절 인지기능 저하와 과잉행동, 주의 결핍 등을 보일 수 있음이 보고되었다. 또한 PM_{2.5}에의 노출은 뇌신경계중 도파민 분비에 영향을 미쳐 우울증 및 불안 장애를 증가시키고 이에 따른 자살률을 상승시키는 것으로 보고되어 있다 [33–36].

결론

최근의 연구에 따르면 미세먼지는 호흡기질환이나 심장 순환기질환 이외에도 뇌혈관질환이나 대사성질환, 신경계 질환 및 정신질환에도 영향을 미쳤으며, 임신 및 출산에도 영향을 주어 다양한 질환으로 전신적인 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다 (Figure 1) [8]. 호흡기질환과의 연관성에서는 COPD나 기관지천식 환자에서 급성악화를 일으킬 수 있으며, 이로 인해 응급실 방문, 입원 및 사망률 증가를

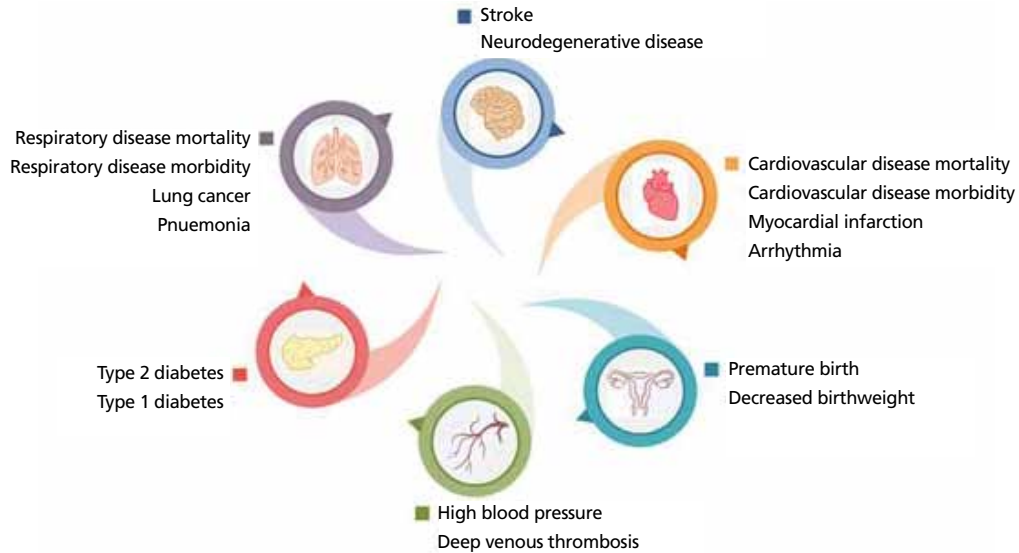


Figure 1. Overview of diseases conditions and biomarkers affected by the particulate matter (Modified from Thurston GD, et al. Eur Respir J 2017 Jan 11 [Epub]. <https://doi.org/10.1183/13993003.00419-2016>) [8].

초래하는 것으로 알려져 있다. 또한 미세먼지는 폐암 발생 위험도를 높이며, 성인이나 소아에서 폐기능 저하나 폐기능 감소 속도를 증가시키는 것으로 알려져 있다. 심장순환 기질환과의 연관성에서도 허혈성심장질환과 심부전 및 고혈압의 발생 및 악화를 증가시키면서 사망률을 올릴 수 있는 것으로 알려져 있으며, PM_{2.5}의 노출에 더욱 연관성을 보여주었다. 아울러 혈관의 죽상경화 및 혈전을 증가시킬 수 있는 것으로 보고되어 있다. 대사성질환과의 관련은 인슐린저항성에 문제를 발생시켜, 당뇨병과 비만을 증가시킬 수 있는 것으로 보고되어 있다. 임신 시 미세먼지에 노출이 장기화되면 저체중출산과 조기출산을 유의하게 증가시키는 소견을 보여주었다. 신경질환 환자들에서는 미세먼지에의 노출로 인지능력과 기억력을 감소시켰고 뇌졸중의 발생을 증가시켰으며 특히 PM_{2.5}의 노출과 더욱 밀접한 연관성을 보여주었다. 정신질환 악화도 발생하는데 주로 우울증 및 불안장애를 증가시키거나 악화시키는 것으로 보고되어 있다.

이와 같이 미세먼지는 전신적으로 여러 가지 질환들을 악화 혹은 발생을 증가시키는데 특히 폐암 발생 및 뇌혈관질환이나 심장질환, 신경계질환, 저체중출산 등에서

PM₁₀보다는 PM_{2.5}가 연관성이 더 큰 것으로 알려져 있다. 전반적으로 미세먼지는 인체건강에 매우 다양하고 치명적인 악영향을 미치며, 이로 인해 국가적으로 의료부담의 증가는 물론 개인적으로 정상적인 삶이 영위되지 못해서 발생하는 경제적 손실과 삶의 질 저하에 매우 심각한 영향을 미친다. 향후 미세먼지의 인체 유해 영향은 장기간으로 지속적이고 면밀한 의학적 관찰이 필요하며 국가 차원으로 주된 원인인 화석연료의 사용으로 인한 발생원을 감소시키는 정책이 시급하고, 미세먼지 증가 시 일반인을 포함해서 특히 노약자 및 만성질환자, 임신부 등에서 노출피해를 적극적으로 줄일 수 있는 다양한 방법에 대한 연구가 필요한 상황이다.

찾아보기말: 천식; 심혈관질환; 폐암; 미세먼지; 호흡기질환

ORCID

Sun Young Kyung, <http://orcid.org/0000-0001-6822-1027>

Sung Hwan Jeong, <http://orcid.org/0000-0002-2182-8523>

REFERENCES

1. World Health Organization. WHO air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2005 [cited 2017 May 2]. Available from: http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf.
2. Dockery DW, Pope CA 3rd, Xu X, Spengler JD, Ware JH, Fay ME, Ferris BG Jr, Speizer FE. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N Engl J Med* 1993; 329:1753-1759.
3. Pope CA 3rd, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, Thurston GD. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA* 2002;287:1132-1141.
4. World Health Organization Regional Office for Europe. Review of evidence on health aspects of air pollution: REVIHAAP project [Internet]. Copenhagen: World Health Organization Regional Office for Europe; 2013 [cited 2017 May 2]. Available from: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf?ua=1.
5. 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, Sorensen M, Tjonneland 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.
6. International Agency for Research on Cancer. Air pollution and cancer [Internet]. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 2013 [cited 2017 May 2]. Available from: <http://www.iarc.fr/en/publications/books/sp161/AirPollutionandCancer161.pdf>.
7. World Health Organization. Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2016 [cited 2017 May 2]. Available from: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/250141/1/9789241511353-eng.pdf?ua=1>.
8. Thurston GD, Kipen H, Annesi-Maesano I, Balmes J, Brook RD, Cromar K, De Matteis S, Forastiere F, Forsberg B, Frampton MW, Grigg J, Heederik D, Kelly FJ, Kuenzli N, Laumbach R, Peters A, Rajagopalan ST, Rich D, Ritz B, Samet JM, Sandstrom T, Sigsgaard T, Sunyer J, Brunekreef B. A joint ERS/ATS policy statement: what constitutes an adverse health effect of air pollution? An analytical framework. *Eur Respir J* 2017 Jan 11 [Epub]. <https://doi.org/10.1183/13993003.00419-2016>.
9. Ministry of Environment. What is the particulate matter? [Internet]. Sejong: Ministry of Environment; 2016 [cited 2017 May 2]. Available from: <http://www.me.go.kr/ebook/svs/gt/view/159>.
10. Atkinson RW, Kang S, Anderson HR, Mills IC, Walton HA. Epidemiological time series studies of PM_{2.5} and daily mortality and hospital admissions: a systematic review and meta-analysis. *Thorax* 2014;69:660-665.
11. Gauderman WJ, McConnell R, Gilliland F, London S, Thomas D, Avol E, Vora H, Berhane K, Rappaport EB, Lurmann F, Margolis HG, Peters J. Association between air pollution and lung function growth in southern California children. *Am J Respir Crit Care Med* 2000;162(4 Pt 1):1383-1390.
12. Gehring U, Gruzieva O, Agius RM, Beelen R, Custovic A, Cyrus J, Eeftens M, Flexeder C, Fuertes E, Heinrich J, Hoffmann B, de Jongste JC, Kerkhof M, Klumper C, Korek M, Molter A, Schultz ES, Simpson A, Sugiri D, Svartengren M, von Berg A, Wijga AH, Pershagen G, Brunekreef B. Air pollution exposure and lung function in children: the ESCAPE project. *Environ Health Perspect* 2013;121:1357-1364.
13. Downs SH, Schindler C, Liu LJ, Keidel D, Bayer-Oglesby L, Brutsche MH, Gerbase MW, Keller R, Kunzli N, Leuenberger P, Probst-Hensch NM, Tschopp JM, Zellweger JP, Rochat T, Schwartz J, Ackermann-Liebrich U; SAPALDIA Team. Reduced exposure to PM₁₀ and attenuated age-related decline in lung function. *N Engl J Med* 2007;357:2338-2347.
14. Gan WQ, FitzGerald JM, Carlsen C, Sadatsafavi M, Brauer M. Associations of ambient air pollution with chronic obstructive pulmonary disease hospitalization and mortality. *Am J Respir Crit Care Med* 2013;187:721-727.
15. Kyung SY, Kim YS, Kim WJ, Park MS, Song WJ, Yum H, Yoon HK, Rhee CK, Jeong SH. Guideline for the prevention and management of particulate matter/Asian dust particle-induced adverse health effect on the patients with pulmonary diseases. *J Korean Med Assoc* 2015;58:1060-1069.
16. Schikowski T, Adam M, Marcon A, Cai Y, Vierkötter A, Carsin AE, Jacquemin B, Al Kanani Z, Beelen R, Birk M, Bridevaux PO, Brunekreef B, Burney P, Cirach M, Cyrus J, de Hoogh K, de Marco R, de Nazelle A, Declercq C, Forsberg B, Hardy R, Heinrich J, Hoek G, Jarvis D, Keidel D, Kuh D, Kuhlbusch T, Migliore E, Mosler G, Nieuwenhuijsen MJ, Phuleria H, Rochat T, Schindler C, Villani S, Tsai MY, Zemp

- E, Hansell A, Kauffmann F, Sunyer J, Probst-Hensch N, Kramer U, Kunzli N. Association of ambient air pollution with the prevalence and incidence of COPD. *Eur Respir J* 2014;44: 614-626.
17. Guarnieri M, Balmes JR. Outdoor air pollution and asthma. *Lancet* 2014;383:1581-1592.
 18. Yang HJ, Kim SH, Jang AS, Kim SH, Song WJ, Kim TB, Ye YM, Yoo Y, Yu J, Yoon JS, Jee HM, Suh DI, Kim CW. Guideline for the prevention and management of particulate matter/yellow dust-induced adverse health effects on the patients with bronchial asthma. *J Korean Med Assoc* 2015; 58:1034-1043.
 19. MacIntyre EA, Gehring U, Molter A, Fuertes E, Klumper C, Kramer U, Quass U, Hoffmann B, Gascon M, Brunekreef B, Koppelman GH, Beelen R, Hoek G, Birk M, de Jongste JC, Smit HA, Cyrus J, Gruzdeva O, Korek M, Bergstrom A, Agius RM, de Vocht F, Simpson A, Porta D, Forastiere F, Badaloni C, Cesaroni G, Esplugues A, Fernandez-Somoano A, Lerxundi A, Sunyer J, Cirach M, Nieuwenhuijsen MJ, Pershagen G, Heinrich J. Air pollution and respiratory infections during early childhood: an analysis of 10 European birth cohorts within the ESCAPE Project. *Environ Health Perspect* 2014; 122:107-113.
 20. Cai Y, Schikowski T, Adam M, Buschka A, Carsin AE, Jacquemin B, Marcon A, Sanchez M, Vierkötter A, Al-Kanaani Z, Beelen R, Birk M, Brunekreef B, Cirach M, Clavel-Chapelon F, Declercq C, de Hoogh K, de Nazelle A, Ducret-Stich RE, Valeria Ferretti V, Forsberg B, Gerbase MW, Hardy R, Heinrich J, Hoek G, Jarvis D, Keidel D, Kuh D, Nieuwenhuijsen MJ, Ragettli MS, Ranzi A, Rochat T, Schindler C, Sugiri D, Temam S, Tsai MY, Varraso R, Kauffmann F, Kramer U, Sunyer J, Kunzli N, Probst-Hensch N, Hansell AL. Cross-sectional associations between air pollution and chronic bronchitis: an ESCAPE meta-analysis across five cohorts. *Thorax* 2014;69:1005-1014.
 21. Suhaimi NF, Jalaludin J. Biomarker as a research tool in linking exposure to air particles and respiratory health. *Biomed Res Int* 2015;2015:962853.
 22. Puett RC, Hart JE, Yanosky JD, Paciorek C, Schwartz J, Suh H, Speizer FE, Laden F. Chronic fine and coarse particulate exposure, mortality, and coronary heart disease in the Nurses' Health Study. *Environ Health Perspect* 2009;117:1697-1701.
 23. Cesaroni G, Forastiere F, Stafoggia M, Andersen ZJ, Badaloni C, Beelen R, Caracciolo B, de Faire U, Erbel R, Eriksen KT, Fratiglioni L, Galassi C, Hampel R, Heier M, Hennig F, Hilding A, Hoffmann B, Houthuijs D, Jockel KH, Korek M, Lanki T, Leander K, Magnusson PK, Migliore E, Ostenson CG, Overvad K, Pedersen NL, J JP, Penell J, Pershagen G, Pyko A, Raaschou-Nielsen O, Ranzi A, Ricceri F, Sacerdote C, Salomaa V, Swart W, Turunen AW, Vineis P, Weinmayr G, Wolf K, de Hoogh K, Hoek G, Brunekreef B, Peters A. Long term exposure to ambient air pollution and incidence of acute coronary events: prospective cohort study and meta-analysis in 11 European cohorts from the ESCAPE Project. *BMJ* 2014; 348:f7412.
 24. Shah AS, Langrish JP, Nair H, McAllister DA, Hunter AL, Donaldson K, Newby DE, Mills NL. Global association of air pollution and heart failure: a systematic review and meta-analysis. *Lancet* 2013;382:1039-1048.
 25. Link MS, Dockery DW. Air pollution and the triggering of cardiac arrhythmias. *Curr Opin Cardiol* 2010;25:16-22.
 26. Chen H, Burnett RT, Kwong JC, Villeneuve PJ, Goldberg MS, Brook RD, van Donkelaar A, Jerrett M, Martin RV, Kopp A, Brook JR, Copes R. Spatial association between ambient fine particulate matter and incident hypertension. *Circulation* 2014;129:562-569.
 27. Kunzli N, Jerrett M, Mack WJ, Beckerman B, LaBree L, Gilliland F, Thomas D, Peters J, Hodis HN. Ambient air pollution and atherosclerosis in Los Angeles. *Environ Health Perspect* 2005;113:201-206.
 28. Kim IS, Jang JY, Kim TH, Park J, Shim J, Kim JB, Byun YS, Sung JH, Yoon YW, Kim JY, Cho YJ, Kim C, Joung B. Guidelines for the prevention and management of cardiovascular disease associated with fine dust/Asian dust exposure. *Korean Med Assoc* 2015;58:1044-1059.
 29. Rao X, Patel P, Puett R, Rajagopalan S. Air pollution as a risk factor for type 2 diabetes. *Toxicol Sci* 2015;143:231-241.
 30. Eze IC, Hemkens LG, Bucher HC, Hoffmann B, Schindler C, Kunzli N, Schikowski T, Probst-Hensch NM. Association between ambient air pollution and diabetes mellitus in Europe and North America: systematic review and meta-analysis. *Environ Health Perspect* 2015;123:381-389.
 31. McIntire DD, Bloom SL, Casey BM, Leveno KJ. Birth weight in relation to morbidity and mortality among newborn infants. *N Engl J Med* 1999;340:1234-1238.
 32. Pedersen M, Giorgis-Allemand L, Bernard C, Aguilera I, Andersen AM, Ballester F, Beelen RM, Chatzi L, Cirach M, Danileviciute A, Dedele A, Eijdsden Mv, Estarlich M, Fernandez-Somoano A, Fernandez ME, Forastiere F, Gehring U, Grazuleviciene R, Gruzdeva O, Heude B, Hoek G, de Hoogh K, van den Hooven EH, Haberg SE, Jaddoe VW, Klumper C, Korek M, Kramer U, Lerchundi A, Lepeule J, Nafstad P, Nystad W, Patelarou E, Porta D, Postma D, Raaschou-Nielsen O, Rudnai P, Sunyer J, Stephanou E, Sorensen M, Thiering E, Tuffnell D, Varro MJ, Vrijkotte TG, Wijga A, Wilhelm M, Wright J, Nieuwenhuijsen MJ, Pershagen G, Brunekreef B, Kogevinas M, Slama R. Ambient air pollution and low birth-

weight: a European cohort study (ESCAPE). *Lancet Respir Med* 2013;1:695-704.

33. Ailshire JA, Crimmins EM. Fine particulate matter air pollution and cognitive function among older US adults. *Am J Epidemiol* 2014;180:359-366.
34. Wang Y, Eliot MN, Koutrakis P, Gryparis A, Schwartz JD, Coull BA, Mittleman MA, Milberg WP, Lipsitz LA, Wellenius GA. Ambient air pollution and depressive symptoms in older adults: results from the MOBILIZE Boston study. *Environ Health Perspect* 2014;122:553-558.
35. Brauer M. Air pollution, stroke, and anxiety. *BMJ* 2015;350:h1510.
36. Power MC, Kioumourtoglou MA, Hart JE, Okereke OI, Laden F, Weiskopf MG. The relation between past exposure to fine particulate air pollution and prevalent anxiety: observational cohort study. *BMJ* 2015;350:h1111.

Peer Reviewers' Commentary

본 논문은 최근 의료계뿐만 아니라 사회적으로 문제가 되고 있는 미세먼지의 건강영향에 대하여 살펴본 종설 논문이다. 미세먼지의 종류 및 미세먼지가 인체에 미치는 영향을 호흡기, 알레르기, 심혈관계, 대사성 질환, 임신 등과 같은 인체 기관 및 개별 질환별로 체계적으로 정리하고 기술하였다. 미세먼지가 건강에 미치는 영향에 관심이 많은 일반인도 쉽게 알 수 있도록 정리하였으며, 이를 통하여 미세먼지가 건강 및 개별 질환에 미치는 영향을 효과적으로 파악할 수 있다. 또한 미세먼지의 건강영향을 줄이기 위해서 현재 부족한 부분이 무엇인지, 그리고 어떤 점이 보완되어야 하는지 등을 기술하여 장단기적인 대책을 세우는 데 좋은 자료가 될 수 있는 논문이라 판단된다.

[정리: 편집위원회]