
저자 (Authors)	조용민, 이지호
출처 (Source)	의료정책포럼 12(2) , 2014.11, 45-54(10 pages) Research Institute for Healthcare Policy Korean Medical Association 12(2) , 2014.11, 45-54(10 pages)
발행처 (Publisher)	대한의사협회 의료정책연구소 Korean Medical Association
URL	http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE06095027
APA Style	조용민, 이지호 (2014). 미세먼지 노출에 의한 건강영향과 공기청정기의 효율적 사용. 의료정책포럼, 12(2), 45-54
이용정보 (Accessed)	이화여자대학교 211.48.46.*** 2020/01/08 16:08 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

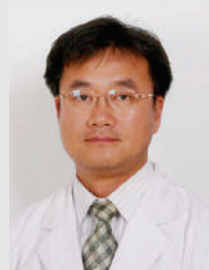
Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

미세먼지 노출에 의한 건강영향과 공기청정기의 효율적 사용



조 용 민

대한의사협회 국민건강보호위원회 환경건강분과
고려대 환경의학연구소, 보건대학원 연구교수
neworder@korea.ac.kr



이 지 호

대한의사협회 국민건강보호위원회 환경건강분과
울산의대 직업환경의학과 교수
oemdoc@naver.com

서론

오늘날 건강결정요인을 설명하는데 있어 환경적 요인의 중요성이 강조된다. 환경오염과 같은 외부 환경의 변화는 국민건강보호의 측면에서 단순히 우려의 수준이 아니라 이미 환경성질환의 증가와 질병부담 증가와 같은 부정적인 현상을 야기하고 있다. 특히 대기환경의 오염은 환경성질환의 발생과 악화 모두에 영향을 주게 되며, 황사와 미세먼지 등 대기환경오염인자는 호흡기질환의 양

상뿐만 아니라 국민들의 삶의 질, 생활패턴의 변화를 불러오게 된다.

지난 몇 년간 환경보건 분야에서 가장 많은 이슈가 되었던 주제 중 하나는 미세먼지라고 해도 과언이 아니다. 특히 황사와 더불어 겨울철 중국의 난방으로 인한 미세먼지의 유입은 “중국발 미세먼지의 위협”이라는 인식과 함께 사회적 이슈가 되기에 충분하였다. 이러한 현상은 단기간 내에 극복되기 어려울 것으로 여겨지고 있으며, 금년 겨울철에도 작년과 유사한 현상이 되풀이될 것으

로 예상된다.

한편, 이러한 사회적 분위기는 결과적으로 공기청정기의 시장규모를 확대시키게 되었다. 관련 업체를 중심으로 미세먼지를 비롯한 각종 오염물질의 농도를 저감하기 위한 공기청정기의 개발과 판매가 경쟁적으로 이루어지고 있으며, 지속적인 대기오염과 실내공기질 관리에 대한 사회적 인식 확산과 함께 공기청정기의 보급과 시장규모는 더욱 커질 것으로 예상된다.

이는 국민건강보호라는 측면에서 중요한 의미를 가진다. 미세먼지의 발생과 노출저감을 위한 근본적인 책임은 원인 제공자에게 주어져야 하지만 이러한 원인 제공자의 개념이 모호한 상황에서 미세먼지 노출로 인한 건강영향 예방활동의 부담이 실질적으로 개인에게 주어지게 되는 현상을 야기할 수 있다. 공기청정기 시장의 비약적인 발전과 규모의 확대에도 불구하고, 공기청정기의 효과와 올바른 사용방법에 대한 국민들의 인지정도는 아직 높지 않은 것으로 생각된다. 특히 제품당 수십만원에서 수백만원에 이르는 공기청정기의 가격을 감안하였을 때, 공기청정기의 특성과 효과에 대하여 정확하게 이해하지 못하는 일반 국민들에게 있어 고가의 제품이 높은 효율을 보일 것으로 인식될 수 있고 이는 잘못된 선택과 소비를 야기할 수 있다. 또한 공기청정기 관리방법 및 제한에 대하여 인지하고 있지 못한 소비자들에게 있어 공기청정기의 가동에만 의존한 실내공기질 관리는 오히려 실내공기질을 악화시키는 결과를 초래할 수 있다.

또한 국민건강보호의 책임을 가지는 보건 의료 분야 전문가 집단에게 있어, 미세먼지로 인한 건강영향 정보와 이를 예방하기 위한 대책에 대한

정보가 정확히 전달될 수 있도록 해야 한다. 이에, 국민건강보호위원회 환경분과위원회에서는 미세먼지로 인한 건강영향에 대하여 고찰하였으며, 공기청정기의 기술적 특성과 분류, 올바른 사용 및 관리방법 등에 대하여 정리하고자 하였다. 이는 공기청정기에 대한 정확한 지식전달을 통하여 미세먼지를 비롯한 실내외 대기오염물질 노출 저감이라는 공기청정기 본래의 목적을 높이고 국민들로 하여금 공기청정기에 대한 이해와 지식을 높이는 데 기여하기 위함이다.

미세먼지의 건강영향

미세먼지에 의한 건강영향은 호흡기질환(폐암, 급성하기도 폐질환, 만성 폐쇄성 질환)과 심혈관계 질환(뇌졸중, 허혈성 심질환)으로 크게 구별된다. 건강영향의 정도는 먼지의 크기(지름), 하루 중 활동양상, 노출대상의 취약성 등 다양한 요인에 따라 달라질 수 있다. 우선, 흡입된 미세먼지의 공기역학적 지름(mass median aerodynamic diameter ; MMAD)에 따른 인체 내 분포와 침착 정도는 다음과 같다. 지름이 10 μ m 이상의 경우 대부분 비인두에 침전되고, 후두는 통과하지 못한다. 2.5~6 μ m 범위는 일반적으로 후두 아래의 전도 기도(conducting airway)에, 0.5~2.5 μ m 범위의 분진은 원위 기도와 폐포에 침전된다. 0.1 μ m 범위의 분진은 초미세 "ultrafine"이라고 하며, 이런 물질들은 특히 더 독성이 강하다고 하는 증거가 있어 관심을 받고 있다(Ladou, 2007). 둘째, 하루 중 활동양상이 어린이, 어른, 노인에게 다르므로 개인의 총 노출의 개념을 비교적 일정한

미세 환경 오염농도의 시간 가중 평균을 대표하여 적용하는 것이 건강영향을 파악하는데 도움이 된다(Rosenstock, 2005). 셋째, 감수성을 결정하는 요인에는 유전적인 특성(성별, 나이, 기도 반응성, 알파-1-안티트립신 결핍)과 흡연과 석면 같이 유해한 영향을 미치는 다른 물질에 노출되는 경우, 대상인구의 취약성(아이, 노인, 심폐질환자들)이 있으며, 이들은 건강한 사람보다 낮은 농도

에서 유해한 영향을 경험 할 수 있다. 만성 호흡기 질환자는 건강한 사람에게 하찮은 것으로 보이는 노출에 의해서도 유해한 영향을 받을 수 있다.

메타분석결과를 중심으로 살펴본 미세먼지의 영향은 아래 <표 1>과 같다. 미세먼지의 농도와 사망자수는 직접적인 관련성이 있으며, 그 원인은 호흡기 및 순환기계 질환에 의한 것이다. 또한 크기가 작을수록 유해한 경향이 있다(표 2).

표 1. PM₁₀, PM_{2.5}에 대한 메타분석

문헌	논문선택	결과
Bell ML (2013) 1996~2012	772 papers 중 108개 inclusion criteria 만족	① PM ₁₀ 미세먼지 노출에서 노인사망 증가 - 사망위험증가 백분율: 노인 vs 젊은이 (0.64% vs 0.34%) per 10 μ g/m ³ ② PM ₁₀ 미세먼지 노출에서 여성 사망 증가 - 사망위험증가 백분율: 여성 vs 남성 : (0.55% vs 0.50%) per 10 μ g/m ³
Shah (2013) 1948~2012	1,146 papers 중 35개 inclusion criteria 만족	① 심부전 환자들에서 미세먼지 농도가 증가함에 따라 입원 및 사망이 증가 - PM _{2.5} : 2.12% per 10 μ g/m ³ - PM ₁₀ : 1.63% per 10 μ g/m ³
Shang Y (2013) 1990~2012	504 papers 중 33개 inclusion criteria 만족	① PM _{2.5} 농도가 증가하면 사망 증가 - 총사망: 0.38% per 10 μ g/m ³ - 호흡기사망: 0.51% per 10 μ g/m ³ - 심혈관사망: 0.44% per 10 μ g/m ³
Pelucchi C (2009) 2002~2007	4,497 papers 중 - cohort 4개, - case-control 1개, - ecologic studies 4개	① 모든 분석적 연구에서 총사망은 PM (PM ₁₀ , PM _{2.5})의 장기간 노출과 직접적인 연관성이 있음 ② 사망증가는 심혈관 및 호흡기 원인에 기인

표 2. 초미세먼지(Ultrafine particle, UFP: PM_{0.1})에 대한 고찰논문

문헌	결과	참고사항
Terzano C (2010) Review	① UFP는 세포탐식을 방해함 ② 염증반응을 자극함 ③ 천신에서 폐기능 저하를 초래함(FEV1, FVC) ④ 만성노출에서 폐에 산화스트레스, 염증작용 등 유해한 영향을 초래함 ⑤ 순환계로 이동하여 심혈관계영향을 초래함 즉 혈관내벽독성 및 혈액응고 이상을 초래함 ⑥ UFP가 폐 깊숙하게 침투하여 혈류를 통해 뇌로 갈 경우 신경독성이 유발될 수도 있음	UFP의 발생원 - 내연기관, 발전소, 소각로 등
Kumar S (2013) Review	① UFP는 조직 깊숙이 침투하여 조직사이 또는 세포내 침착함 ③ UFP는 호흡, 심혈관, 신경 독성을 지님 ④ 세포수준에서 신호전달체계(signaling cascade)에 영향을 미침으로써 염증반응, 변이원성, 발암성 영향을 나타냄	① UFP의 농도는 도심에서 수만 배 더 높음

공기청정기의 정의와 국내 시장규모

공기청정기는 미국 공조냉동 공학회(ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers)에서는 “건물 내부의 공기조화를 위한 환기(ventilation air)와 재순환 공기(recirculated air)의 정화를 위한 장치”로, 한국 산업규격 KS C 9314 및 일본 산업규격 JIS C 9615에서는 “주로 일반가정, 사무실 등에 설치하여 공기 중에 부유하는 분진을 포집 또는 이와 병행하여 가스제거를 위하여 사용되는 송풍기 내장의 장치”로 규정하고 있다(중소기업청, 2009).

국내에서 공기청정기의 보급은 1990년대 중반 이후부터 활성화되기 시작하였으며, 2000년대 이후 웰빙 가전이라는 개념과 함께 공기청정기의 판매가 급증한 것으로 알려져 있다(한국과학기술정보연구원, 2007). 국내 공기청정기 시장규모는 2002년 2,400억원, 2004년 4,200억원, 2007년 약 8,000억원, 2010년 약 1조 8,000억원(추정)으로 성장하고 있으며, 수입 규모 또한 지속적으로 커지고 있다(중소기업청, 2009). 국내에서 판매된 공기청정기의 대수는 2006년 한해에만 101,333대였으며(환경부, 2007), 시장의 증가와 함께 공기청정기를 제조, 판매하는 기업의 수도 증가하고 있다. 또한 신제품의 출시와 신기술의 개발도 활발히 이루어지고 있는데 1986년부터 2006년까지 공기청정기와 관련하여 등록된 특허의 수도 666개에 이르는 것으로 보고되고 있다(한국과학기술정보연구원, 2007).

공기청정기의 분류

공기청정기는 정화방식, 사용용도 등에 따라 다양한 분류가 가능하지만, 정화방식에 따라 구분하였을 때 일반적으로 크게 필터 방식, 전기집진 방식, 습식 방식 등으로 구분되며 최근에는 다양한 필터가 복합되어 설치된 단계별 입체 필터 시스템을 도입한 제품들이 주류를 이루고 있다(김기연 외, 2006).

필터 방식 제품은 기본적으로 입자가 큰 섬유 먼지 등을 걸러주는 1단계 필터가 부착되어 있고, 이후 초극세 섬유를 사용해 강한 정전기로 미립자를 집진하는 헤파 필터가 부착되어 있는 경우가 일반적이다. 헤파 필터는 공기 중 부유하는 $0.3\mu\text{m}$ 의 미세먼지까지 제거해 줌으로써 미세먼지를 제거하는데 있어 매우 효과적인 것으로 알려져 있으나 필터를 주기적으로 교체하지 않을 경우 효율이 감소하는 단점이 있다. 전기집진 방식은 전기적인 방전원리를 이용, 강력한 집진력을 가진 집진판에서 오염된 공기를 정화한다. 미세먼지 저감의 기능은 상대적으로 미흡한 것으로 알려져 있으나 필터를 반영구적으로 사용할 수 있다는 장점이 있다. 습식(물 정화) 방식은 물의 표면장력을 이용하여 $0.3\mu\text{m}$ 이하의 먼지도 크기에 상관없이 포집할 수 있다는 장점을 가지고 있으며 가습효과까지 기대할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 고여 있는 물에서 미생물이 발생하기 때문에 물의 교체가 필요하고 유해성이 완전히 검증되지 않은 항세균제, 녹조제거용 첨가제 등을 넣어야 한다는 단점도 가진다.

표 3. 공기청정기 정화방식별 비교

구분	필터 방식	전기집진 방식	습식 방식
원리	부직포류의 필터 활용	전기적 방전 원리	물의 흡착력 이용
장점	집진성능 우수(HEPA 필터)	반영구적 필터 사용	반영구적 사용 가습 효과
단점	주기적 청소 필요 필터 관리 비용 높음	정화 능력 낮음 주기적 청소 필요	세균 번식 주기적 청소/관리 필요

출처: 한국과학기술정보연구원, 2007

공기청정기의 효능에 대한 연구동향

실내에서 사용되는 공기청정기의 경우, 가장 큰 사용목적은 무엇보다 실내 오염물질 농도의 저감이라고 할 수 있다. 공기청정기의 효능에 대한 연구들은 주로 공기청정기의 가동에 따른 실내 오염물질 농도의 저감효과를 평가한 실험 연구들이다.

본 논문에서는 체계적 문헌고찰의 방법을 통하여 현재까지 보고된 공기청정기 효능 연구들을 수집하고 각 연구들에서 보고된 공기청정기의 효과들을 정리하였다. 이는 결국 공기청정기를 사용하는 것이 실내 오염물질 제거에 효과적인가하는 물음에 대한 해답을 찾고자 하는 것이다.

체계적 문헌고찰에서 정의한 공기청정기는 일반 산업용 혹은 자동차 배출저감용 등의 특수목적이 아닌 가정용 혹은 일반 실내공기용 공기청정기, 공기정화기로 정의된다. 또한 미세먼지를 제외한 다른 환경오염인자(생물학적 요인, 휘발성 유기화합물 등)의 저감 효과를 구분하여 고찰을 진행하였다. 그 결과, 공기청정기 사용에 따른 미세먼지의 저감 효율에 대하여 실증적 평가를 수행하였으며 공기청정기 제조자 혹은 판매자로부터의 연구비 지원 사실이 명시되지 않은 13편의 논문을 검색할 수 있었다.

공기청정기의 성능 평가가 Environmental chamber와 같이 통제된 밀폐환경에서 이루어진 네 편의 연구에서 공기청정기의 가동은 미세먼지를 저감시키는데 기여하고 있음이 확인되었다. 일반가정, 사무실, 공공장소(병원, 유치원) 등과 같이 개방된 공간(open space)에서 수행된 연구들은 총 열 건의 실험결과를 보고하고 있었는데, 그 중 여덟 건의 실험결과에서 공기청정기의 사용에 따른 통계적으로 유의한 미세먼지 농도의 저감이 나타났다. 하지만 1편의 연구에서, closed chamber와는 대조적으로 open space에서는 미세먼지 농도의 저감이 확인되지 않았다. 또 다른 연구에서, 유치원에 설치된 공기청정기는 미세먼지 농도를 낮추는 역할을 하였지만, 일정 규모의 면적 이상에서는 공기청정기의 효능이 나타나지 않는 것으로 보고하였다(부록 참조).

공기청정기의 사용 시 발생할 수 있는 문제점

최근 공기청정기는 단순한 실내공기 중 유해물질 농도의 저감에서 벗어나 가습, 오존발생 등 다양한 기능을 결합한 제품들이 시장에 출시되고 있다. 2013년 10월에 이루어진 (사)소비자시민모임

에서 실시한 일부 에어워셔(기화식 가습기) 제품의 성능 시험 결과, 많은 제품들에서 가습능력 및 미생물 오염도 등은 기준에 부합하였으나, 공기청정기의 주된 기능인 미세먼지 제거 능력과 유해가스 제거 능력은 미흡한 것으로 나타난 바 있다. 동 조사에서는 또한 소비자들에 대한 에어워셔라는 제품군은 제품분류상 가습기로 분류됨에도 불구하고 제품을 구입하는 소비자들은 공기청정기로 인식하고 있음을 보고한 바 있다.

이와 같이 다양해지는 공기청정기 혹은 공기정화기 제품들에 대한 홍보 시 제품의 기능을 과장하는 광고는 소비자들로 하여금 혼란을 야기할 수 있다.

공기 중 오염물질에 대한 인체노출을 방지하기 위하여 가장 근본적인 방법은 오염원에서의 발생 차단이며, 공기 중 오염물질의 농도를 낮추기 위한 효율적인 방법은 환기라고 할 수 있다. 하지만 일반 국민들에게 있어 외부 공기의 오염과 실내 유해물질의 발생을 대하여 근본적으로 차단하는 것은 실질적으로 불가능하다. 또한 외부 공기의 오염은 자연환기를 통한 공기 순환 및 오염물질 희석의 효과를 기대하기 어렵게 한다. 따라서 공기청정기를 통한 오염물질 농도 저감은 발생의 차단, 오염공기의 희석이라는 보다 원천적인 예방 대책을 적용하지 못하는 상황에서 적용될 수 있는 사후개선 대책이라 할 수 있다. 즉, 공기청정기를 통한 오염물질의 저감은 실내오염물질로부터 재실자의 노출수준을 낮추기 위한 근본적인 대책이 될 수 없음을 의미하며 실내공기질 관리에 있어 최후의 수단으로 적용되어야 하는 방법이라고 볼 수 있다.

공기청정기의 사용은 실내오염물질의 감소와

환경성질환 예방에 대하여 그 자체로서 완전한 대책이 될 수 없다. 특히 공기청정기의 종류와 작동 특성 등에 따라 기대할 수 있는 효과가 달리 나타날 수 있고 기기의 노후와 외부 환경조건에 따라 유해물질 저감효율의 저하가 나타나기 때문에 지속적인 유지관리가 필요하다. 또한 대부분의 공기청정기 성능평가 결과는 밀폐된 공간에서 최적의 기능을 유지하였을 때를 기준으로 하므로 실제 생활공간에서 공기청정기를 가동하였을 때의 조건은 공기청정기 공급사에서 제공하는 사양과 차이가 있음을 이해하여야 한다.

제언 및 결론

공기청정기에 대한 수요 증가와 함께, 국내외 많은 공기청정기 제조 혹은 판매업체에서는 자신들의 제품에 대한 홍보와 판매에 많은 투자를 하고 있다. 특히 제품의 경쟁력을 높이기 위하여 보다 다양한 환경오염물질(바이러스, 독성화학물질, 꽃가루 등)에 대한 저감 능력이 있음을 광고한다.

초기의 공기청정기는 입자상물질을 포집하여 제거하기 위하여 개발되었고, 현재까지도 보편적으로 적용되고 있는 필터형 방식은 미세먼지와 같은 입자상 물질을 포집하는데 효율적이다. 공기청정기의 효율을 평가한 국내외의 연구들을 보았을 때, 미세먼지의 저감 효율은 실제로 높을 것으로 예상된다. 하지만 입자상 물질을 제외한 환경오염물질군(가스상 물질, 생물학적인자 등)에 있어서는 아직까지 그 효과의 검증이 미흡한 것으로 보인다. 또한 밀폐공간과 같은 최적의 실험조건에서 공기청정기는 좋은 성능을 나타내지만 실험환경

이 아닌 실제 생활환경에서는 실험조건과 같은 효율이 재연되지 않는다는 연구결과도 일부 보고된 바 있다. 게다가 적절한 운영보수의 미흡, 기기의 노후 등과 같은 상황에서 공기청정기는 제 효율을 기대하기 어렵게 된다.

따라서 공기청정기의 구매 단계에서는 실내환경 중 저감하고자 하는 오염인자에 맞는 제품군에 대한 고려가 필요하다. 또한 공기청정기가 가동되는 환경에서도 실내환기, 외부 오염물질 전달의 차단(의복 혹은 신발 등의 오염인자), 주기적인 청소와 소독 등의 일반적인 실내환경관리 대책이 반드시 이루어져야 한다. 적절히 관리되지 않는 공기청정기는 오히려 실내공기질을 악화시키고 오염물질을 확산시키게 됨을 주지하여야 하며, 공기청정기 제조, 판매업체는 이를 소비자에게 명시하여야 할 것으로 판단된다.

생활환경에서 미세먼지의 노출을 저감하고 호흡기질환을 예방하기 위하여, 공기청정기의 사용은 좋은 방법이 될 수 있다. 하지만 공기청정기의 사용이 반드시 실내 오염물질의 저감 및 질병 예

방을 보장하지는 않는다. 효율적인 공기청정기 사용을 위하여 다음과 같은 주의와 인식이 필요하다.

- 1) 공기청정기 제조사에서 제시하는 공기청정기의 성능은 밀폐 조건 실험을 기준으로 하며, 실제 생활공간에서의 미세먼지 포집효율은 이와 다를 수 있다.
- 2) 공기청정기는 생활환경 오염인자의 저감에 효과적이지만, 적절한 관리가 이루어지지 않는다면 오히려 생활환경에 좋지 않은 부작용을 초래할 수 있다. 또한 환기, 실내 청결유지 등과 같은 생활습관이 따르지 않는 상태에서 공기청정기만에 의한 실내환경 개선은 기대하기 어렵다.
- 3) 공기청정기는 입자상물질 저감, 실내 제습, 산소 혹은 오존 공급 등 종류와 역할이 다양하다. 실내환경관리의 목표를 세우고 해당 목적에 적합한 공기청정기 혹은 정화기를 갖추는 것이 바람직하다.

부록 1. 체계적 문헌고찰 연구전략

- 자료검색 기간: 2014년 6월
- 검색어: “air cleaner” OR “air purifier” AND “dust” / “air cleaner” OR “air purifier” AND “particle(particulate matter)” / “air cleaner” OR “air purifier” AND “effect” / “air cleaner” OR “air purifier” AND “efficiency”
- 고찰 포함 기준(inclusion criteria): 1) 공기청정기의 가동과 환경 유해인자 농도의 변화 양상을 평가한 관찰/실험 연구일 것, 2) 한국어 또는 영어로 작성되었을 것
- 고찰 제외 기준(exclusion criteria): 1) 리뷰 혹은 커멘터리 등의 형식으로 작성된 논문, 2) 일반 생활환경이 아닌 특수조건에서의 연구(작업환경, 자동차 배출 등)

부록 2. 미세먼지 농도 실측으로써 공기청정기 효능을 평가한 문헌들의 주요 연구결과

Reference	Target factor	Experimental condition / area	Type of equipment	Efficiency	Remark	Grant
국내 학술지						
Cho et al., 1998	Particles	Experimental chamber	HEPA filter + charcoal	Positive 79.7% when smoking		없음
Kim et al., 2004	PM ₁₀ , PM _{2.5}	Dwelling, public area (hospital)	HEPA filter	Positive PM ₁₀ 25.84% PM _{2.5} 4.78% 저감	Ethylbenzene 증가	없음
Na et al., 2005	PM, VOCs, Virus	chamber test	Filter/wet/multi	Positive 80.2–91.3%	부유세균의 경우 복합식 기기의 효율이 가장 높았음 다섯 제품 모두 VOCs 농도의 변화가 없었음	없음
Kim et al., 2007	TSP, PM(10/2.5), Bioaerosol	Offices	Wet type	Positive – 40–50% (TSP, PM in closed condition)		없음
Kim et al., 2007	TSP, PM(10/2.5)	Open room Closed chamber	Wet type	Partially steady reduction for closed test but not for open room test		없음
Lee, 2008	Pollen	Environmental chamber	Plasma + filter	Positive – 80%, 94% reduction		없음

Reference	Target factor	Experimental condition / area	Type of equipment	Efficiency	Remark	Grant
Na et al., 2008	PM	Kindergarten	all type (epidemiological observation)	Partially	실면적이 400m ² 을 초과할 경우 공기청정기의 효과는 떨어짐을 확인	없음
Park et al., 2013	PM ₁₀ , PM _{2.5} , Other pollutants	Dwelling	Multi filtration	Positive for PM(10/2.5), VOCs Negative for CO, NO ₂ , HCHO, bacteria, fungus		정부 기관
국외 학술지						
Reisman et al., 1990	PM($\geq 0.3\mu\text{m}$)	Dwelling	HEPA filter	Positive PM reduction (70%) Respiratory symptoms		없음
Batterman et al., 2003	PM concentration, Hospital visits for asthma	Dwelling	HEPA filter	Positive both PM concentration and asthma severity	free-standing filters	정부 기관
Barn et al., 2008	PM _{2.5}	Dwelling homes	HEPA filter	Positive		정부 기관
Hart et al., 2011	PM _{2.5}	Dwelling	Electrostatic filter	Positive 61–85%		없음
Kanatani et al., 2013	PM	Dwelling	non HEPA filter	Positive in all sizes		정부 기관

참고문헌

- 김기연, 김치년, 김윤신, 노영만, 이철민. 2006. 복합식 공기청정기의 물리적 및 생물학적 입자상 물질의 제거 효과. *한국환경보건학회지* 32(5): 478-484.
- 김기연, 박재범, 김치년, 이경중. 2007. 공기정화기 가동에 따른 사무실 재실자들의 행동성과 입자상 오염물질의 농도 분포 관계에 관한 연구. *한국환경보건학회지* 33(4): 250-254.
- 김윤신, 심인숙, 김기연, 노영만, 이철민. 2007. 실내 주거인 활동성이 공기청정기 효능에 미치는 영향. 2007년 환경공 동학술대회 논문집 1485-1488.
- 김윤신, 홍승철, 이철민, 이태형, 조정현, 전형진, 김중호, 김영생. 2004. 공기청정기 사용에 따른 실내 오염물질 제거효 과에 관한 연구. *한국대기환경학회 2004 춘계학술대회 논문집* 503-504.
- 나경호, 손진석, 성기준, 장영기. 2005. 실내용 공기청정기 유형별 실내환경개선 성능에 대한 비교평가. *환경영향평가* 14(5): 109-115.
- 나재성, 임지혜, 손장열. 2008. 보육시설에서 공기청정기와 환기가 실내공기질에 미치는 영향. *대한건축학회 학술발표 대회 논문집* 28(1): 719-722.
- 박현철, 김영훈, 김정은, 고주연, 남궁선주, 이철민, 김윤신, 노영석. 2013. 공기청정기의 실내공기 질 및 아토피피부염 에 대한 영향. *Allergy Asthma Respir Dis* 1(3): 248-256.
- 조우진, 윤동원, 손장열. 1998. 실내형 공기청정기의 부유분진 제거효율평가. *대한건축학회 학술발표논문집* 18(1): 559-564.
- 중소기업청. 공기청정기의 시장 기술 보고서. 2009.
- 한국과학기술정보연구원. 공기청정기. 2007.
- 환경부. 친환경상품의 환경·경제적 편익분석 연구(II). 2007.
- Agrawal SR, Kim HJ, Lee YW, Sohn JH, Lee JH, Kim YJ, Lee SH, Hong CS, Park JW. 2010. Effect of an air cleaner with electrostatic filter on the removal of airborne house dust mite allergens. *Yonsei Med J* 51(6): 918-923.
- Bell ML, Zanobetti A, Dominici F. Evidence on Vulnerability and Susceptibility to Health Risks Associated With Short-Term Exposure to Particulate Matter: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Am J Epidemiol*. 2013;178(6): 865-876.
- Delfino LJ, Sioutas C, Malik S. Potential Role of Ultrafine Particles in Associations between Airborne Particle Mass and Cardiovascular Health. *Environmental Health Perspectives* 2005 113(8) 934-946
- Gore RB, Bishop S, Durrell B, Curbishley L, Woodcock A, Custovic A. 2003. Air filtration units in homes with cats: can they reduce personal exposure to cat allergen? *Clin Exp Allergy*. 33(6): 765-769.
- Kampa M, Castanas E. Human health effects of air pollution. *Environmental Pollution* 151 (2008) 362-367.
- Pelucchi C, Negri E, Gallus S, Boffetta P, Tramacere I, Vecchia CL. Long-term particulate matter exposure and mortality: a review of European epidemiological studies. *BMC Public Health* 2009, 9:453
- Shah ASV, 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.
- Shang Y, Sun Z, Cao J, Wang X, Zhong L, Bi X, Li H, Liu W, Zhu T, Huang W. Systematic review of Chinese studies of short-term exposure to air pollution and daily mortality. *Environment International* 54 (2013) 100-111.
- Stuart Batterman, Liuliu Du, Edith Parker, Thomas Robins, Toby Lewis, Bhramar Mukherjee, Erminia Ramirez, Zachary Rowe, Wilma Brakefield-Caldwell 2013. *Air Qual Atmos Health* (2013) 6:759-767.