

실내 알레르겐 특성과 공기청정기의 알레르겐 제거 및 비염 환자의 효과

○ 이 성 화 | LG전자(주) L&A연구센터
기술고문
E-Mail : sunghwa.lee@lge.com

박 중 원 | 연세의대 내과학교실
교수
E-Mail : parkjw@yuhs.ac

1. 서 론

대기 환경의 오염은 건강문제의 주요한 원인으로 잘 알려져 있고, 실내공기를 오염시키는 물질은 실내의 발생원에 따라 매우 다양하며, 외부 공기도 실내로 유입되어 실내공기 오염원으로 큰 역할을 한다. 일반인의 경우 하루 중 22시간을 실내에서 거주하므로 비록 오염물질의 농도가 높지 않더라도 거주자의 건강에 많은 영향을 줄 수 있으며, 특히 소아, 노인은 실내 오염 노출에 취약한 것으로 알려져 있다. 한국에서는 WHO의 보고서에 따르면 모든 질병의 24%와 전체 사망의 23%가 환경요인에 의해서 결정되며, 실내공기 오염도 우리의 건강을 결정하는 중요한 환경 요인이다.¹⁾

실내 주 오염원으로 담배연기, 알레르겐 및 부유 미생물 등의 입자상 물질과 휘발성유기화합물, 냄새 및 배기가스 등의 가스상 물질이 있으며, 이를 제거하기 위한 많은 연구가 선행되고 있다. 실내공기 오염원으로 가장 많이 언급되는 오염물질로는 PM10, PM2.5가 있으며, 거주자의 건강에 미치는 영향도 많은 연구가 되어 있다. PM2.5는 실내보다는 실외에서 유입되는 경우가 많으며, 실내에서는 요리, 난방, 흡연 등에 의해 발생되어 거주자의 활동에 의해서 먼

지가 재부유되어 노출이 된다. 특히 실내에서 발생되는 알레르겐 물질로는 집먼지진드기, 반려동물 털, 꽃가루 및 곰팡이 포자 등이 있으며, 호흡기 알레르기 천식과 알레르기 비염의 주요 원인 물질이다. 호흡기 알레르기는 전 국민의 25% 내외에서 이환되어 있어서 이로 인해 삶의 질이 저하되고, 의료비 증가는 국가 경제에 큰 부담이 되고 있다. 특히 한국의 경우 개나 고양이의 반려동물을 사육하는 가정이 10년 사이 3배나 증가하여 30%에 육박하고, 기후 온난화로 인하여 식물의 꽃가루 물질이 계절과 관계없이 급격히 증가되면서 알레르기 환자가 증대되고 있는 실정이다. 이에 가정용에 있어서 소비자들의 보다 쾌적한 공기질 환경에 대한 요구가 증대되어 국내외에서 공기청정기술 개발이 활발히 전개되고 있다.

알레르기 기본 치료법으로는 (1)원인물질 회피 (2)약물치료 (3)면역조절이 있는데, 가장 기본적이고 쉽게 활용할 수 있는 것이 원인물질 회피이다. 이를 위한 방법 중의 하나가 실내에서 공기청정기를 운전하여 원인 물질을 제거하는 것이다.

본 연구에서는 실내 알레르겐 오염물질 및 알레르기 발생 원리에 대한 개념을 간단히 설명하고 공기청정기를 이용하여 집먼지 진드기 알레르겐 및 개털 알레르겐의 제거 효과와 알레르기 비염 환자 가정에

서의 실 사용시 초미세먼지 제거에 의한 환자에 미치는 영향을 검토한 실증 사례를 소개코자 한다.

2. 본 론

2.1 실내 알레르겐 물질

일반적으로 알려진 실내 알레르겐 오염 물질은 집먼지진드기 분변이나 사체 가루, 바퀴벌레 분변이나 사체 가루, 반려동물의 비듬이나 털, 꽃가루,

곰팡이 포자 등으로 대체로 1 μm 이상의 크기를 갖는 입자상 물질로서 호흡기를 통하여 흡입이 되어 알레르기를 유발한다.²⁾ 그림 1은 실내 알레르겐의 SEM 사진이다. 표 1. 은 실내 알레르겐 오염물질 특성을 나타낸다.

2.2 알레르기 발생 원리 및 알레르겐의 계절별 특성

실내 부유하는 알레르겐이 호흡을 통하여 호흡기

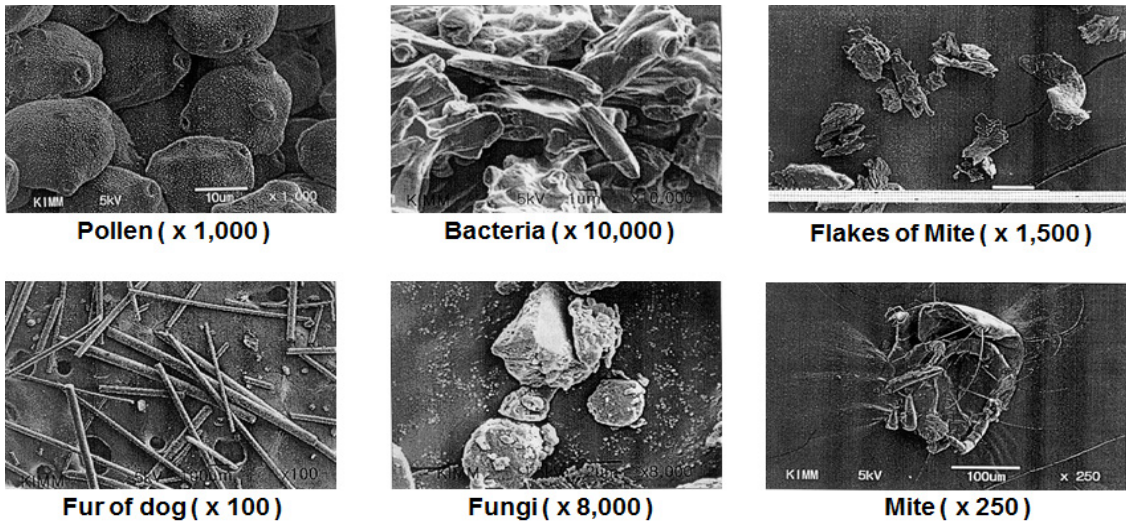


그림 1. 실내 알레르겐 오염물질 SEM 사진

표 1 실내 알레르겐 오염물질 특성

발생원	알레르겐	특 성
집먼지진드기	1) 분변 2) 사체 가루	1) 10~32℃, 65~70% 상대습도에서 최적 서식 2) 1년내내 알레르기 증상을 유발하며, 집먼지진드기 분변이 주 원인
바퀴벌레	1) 분변 2) 사체 가루	1) 여름과 가을에 많이 발생
애완동물	개, 고양이 등의 비듬, 털	1) 일년내내 알레르기 증상을 유발 2) 최근 10년간 입양가정이 3배 증가 3) 반려동물이 있는 가정에서 알레르기 질환으로 의료비 지출이 많음
꽃가루	참나무, 쑥, 환삼덩쿨 등	1) 봄, 가을철에 발생 2) 지구 온난화와 이에 따른 CO2 농도가 높아져 꽃가루 생산이 증가 추세
곰팡이	Aspergillus, Alternaria, Cladosporium 등	1) 곰팡이 포자가 원인 2) 여름철에 활발히 성장하여 포자 발생

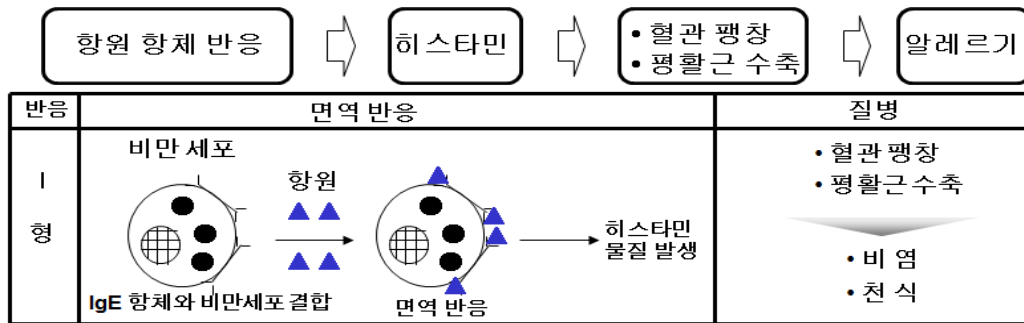


그림 2. 알레르기 발생 원리

관지로 흡입이 되면 몸 속에 있는 비만세포에 부착된 IgE 항체와 항원항체 반응을 일으키면 과민반응으로 히스타민 물질을 발생시킨다. 히스타민 등은 혈관을 팽창시키거나 기관지 평활근을 수축시켜 알레르기 비염이나 알레르기 천식을 일으킨다. 그림 2는 알레르기 반응 발생 원리를 보여준다.

알레르기 발생의 가장 큰 원인 물질은 계절에 관계없이 집먼지 진드기이며, 반려동물 사육 가구 수가 급격히 증가하면서 애완동물에 의한 원인도 크게 증가하는 추세이며, 꽃가루의 경우 계절성을 갖는 것으로 사료된다.

2.3 실내 공기오염이 호흡기 알레르기에 미치는 영향

실내 공기오염이 호흡기 알레르기 질환에 다양한 영향을 미칠 수 있다.³⁾ 실제로 PM_{2.5}가 10 μg/m³ 증가할 때 마다 소아 천식환자에서 기침, 호흡곤란 증상이 6% 증가하는 것으로 보고되었다.⁴⁾ 실내 공기오염 물질은 면역학적으로 면역반응 강화제로서 역할을 할 수 있으며, 집먼지 진드기, 꽃가루, 반려동물의 털과 같이 중요한 흡입 알레르겐에 대한 면역 감작율을 높이고, 이를 통해 호흡기 알레르기 질환의 유병률을 높일 수 있다. 또한 미세먼지, 담배연기, 질소산화물, 등은 호흡기에 Oxidative Stress를 일으키며,⁵⁾ 이를 통해서 만성폐쇄성폐질환, 천식,

그리고 알레르기성 비염의 발병 및 악화에 관여한다. 먼지 입자의 크기는 건강에 큰 영향을 미칠 수 있다. 입자 크기가 상대적으로 큰 부유먼지 (2.5~10 μm)는 코, 인후두까지 도달할 수 있는 반면에 미세먼지 (0.1~2.5 μm)는 기관지, 폐포까지 도달이 가능하며, 나노입자 크기의 먼지 (< 0.1 μm)는 폐혈관과 코를 통해서 뇌를 포함한 우리 몸, 전신에 도달할 수 있다. 또한 미세먼지의 크기가 작을수록 상대적으로 먼지입자 표면적의 비율이 훨씬 클 수밖에 없으며, 이 입자 표면에 다양한 알레르기 유발물질 혹은 유해물질이 결합하여 우리의 호흡기관에 침입할 수 있는 운송자 역할을 한다. 담배연기에는 4,000여개의 화학물질이 입자나 가스 상태로 유리되며, 폐암을 유발하고, 간접흡연에 의해서 소아에서는 천식의 발생을 2배 정도 높인다.⁶⁾ 간접흡연에 노출된 소아의 폐기능이 저하되어 있는 것으로 알려져 있다.⁷⁾ 전자 담배의 경우에는 Nicotine만을 흡입하도록 되어 있어서 실내 오염물질 배출이 적고, 기관지 염증 및 폐기능에 미치는 영향이 적은 것으로 알려져 있지만 전자담배의 독성에 대해서는 아직 자료가 부족한 실정이다.⁸⁾

역학조사에 의하면 집먼지 진드기, 바퀴벌레, 반려동물, 그리고 실내 곰팡이 포자는 알레르기성 비염과 천식의 위험을 높이는 것으로 잘 증명되어 있으며, 이로 인해 일반 국민의 삶의 질과 경제적으로 큰 부담을 지우고 있다. 따라서 환경관리는 호흡기

알레르기 환자 치료의 기본적인 원칙이며, 실제로 환자의 주거 환경 특성에 맞춘 환경관리에 의해서 호흡기 알레르기의 중증도가 경감되는 것으로 증명되어 있다.⁹⁾

2.4 공기청정기의 부유 알레르겐 제거 성능 평가

I사에서 판매 중인 공기청정기를 이용하여 시중에서 입수한 집먼지 진드기 알레르겐 및 개 털 알레르겐의 밀폐 챔버 (30 m³)에서의 제거율을 평가하고 알레르기 비염 환자를 대상으로 공기청정기를 사용한 후 미세먼지 제거 효과 및 임상 시험을 실시하였다.

(1) 시험분진 제조

실내 부유 알레르겐의 시험 규격은 아직 미흡한 실정이며 더욱이 시험 분진에 대한 관련 규격도 없는 상태이다. 이에 개 알레르겐의 경우 실제 개를 사육하는 일반 가정, 병원 및 Cafe에서 청소기로 실내 먼지를 흡입하여 샘플링한 후 동결 및 분쇄하여 개 알레르겐 분진을 제조하고, 집먼지 진드기의 경우는 사육하는 진드기를 동결 및 분쇄하여 집먼지

진드기 알레르겐을 제조하였다. 이를 이용하여 시험 분진을 제조하고자 시험용 표준먼지 (JIS 11종) 50%에 집먼지 진드기 알레르겐 분진 25%, 개털 알레르겐 분진 25%를 각각 혼합하여 시험 분진으로 사용하였다. 표 2는 필드에서 채취한 개털 분진 및 알레르겐 양을 측정된 결과로서 개를 사육하는 가정에서 많은 개털 알레르겐이 분석되었다.

표 2. 필드에서 채취한 개털 알레르겐 양 측정

구 분	분진의 양 (g)	개털 알레르겐의 양 (Can f1, ng/g)
Pet Cafe 1	2.1	13.74
Pet Cafe 2	2.4	17.6
Pet Hospital 1	0.1	5.55
Pet Hospital 2	3.3	44.36
Dog Breeder 1	0.4	78.91
Dog Breeder 2	0.2	491.07
Dog Breeder 3	0.7	284.49
Dog Breeder 4	2.3	170.08
Dog Breeder 5	0.5	279.30



(a) 개털 알레르겐 분진



(b) 진드기 알레르겐 분진



(c) 표준먼지(JIS 11 종)

그림 3. 시험용 분진

(2) 시험 방법

실내 알레르겐 시험 방법은 부유 알레르겐이 입자상 물질이기에 공기청정기의 성능 평가 챔버 (30 m³)를 이용하여 부유 알레르겐 제거 능력을 평가하였다.

그림 4는 밀폐실 시험 챔버를 이용한 평가 방법이다. 시험 제품은 L사에서 시판 중인 Circulator 기능이 부착된 몽블랑 D 모델을 이용하여 평가하였다.

그림 5은 연구에 사용된 공기청정기 사진이다.

밀폐된 표준 챔버에 필드에서 채집한 알레르겐 복합 분진을 입자 농도가 108 ~ 1010 개/m³에 도달할 때까지 비산장치를 통하여 0.2~0.25 g을 투입, 분산시킨 다음, 2분 후부터 입자 농도 측정을 시작

하여 1분 간격으로 60분간 공기청정기 작동 유무에 따른 챔버 내 알레르겐 먼지 수 농도 분포를 광학입자계수기 (Dust Monitor, 1.109, Grimm)를 이용하여 실시간 측정하였다. 또한 동시에 진공펌프를 이용하여 챔버 내에 8개의 Aerosol Sampling Filter에 부유 분진을 포집하였고, 이를 집먼지 진드기 알레르겐 및 개털 알레르겐을 각각 효소면역정량법을 사용하여 제거 농도를 실시간 측정하였다.

그림 6은 효소면역정량법 (ELISA 시험법)의 개념도로서 항원항체 면역 반응에 의한 발광량을 측정하여 알레르겐 농도를 측정한다.

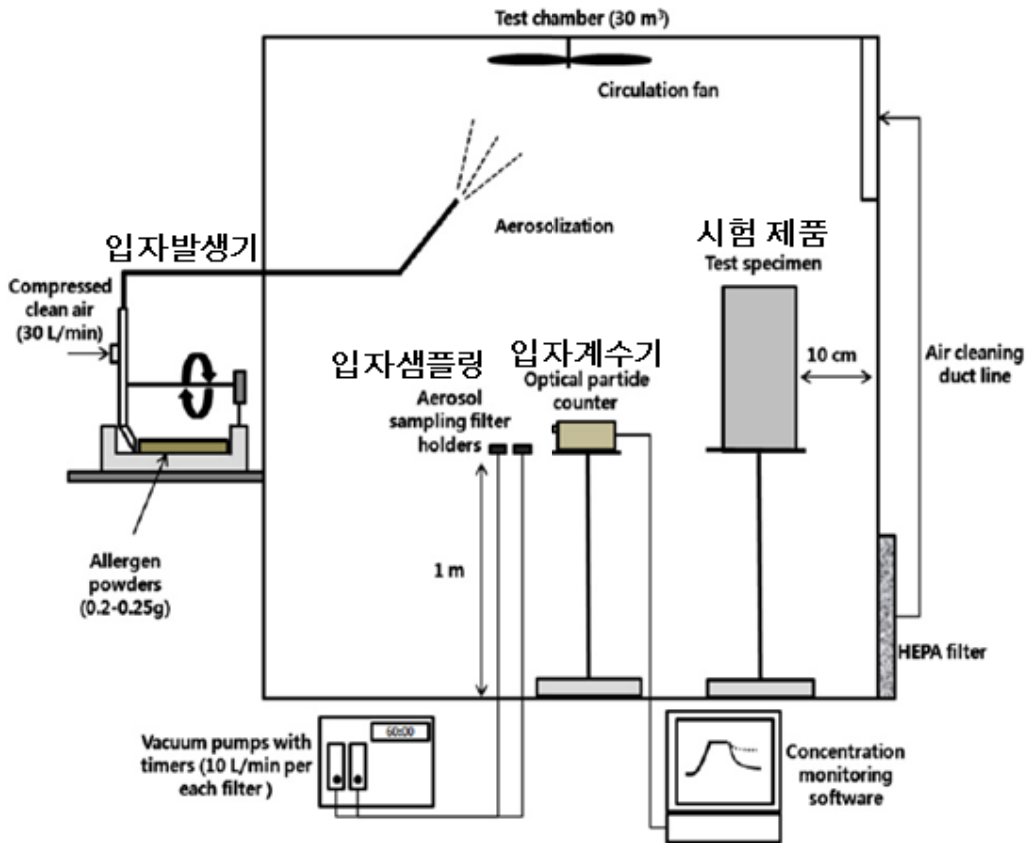


그림 4. 시험 챔버 및 시험 장치



그림 5. 1사 공기청정기 (2단) 및 필터 구조

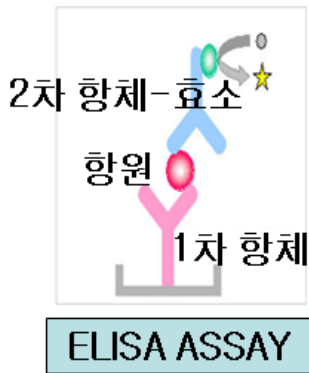


그림 6. 효소면역정량법(ELISA 시험법)의 개념도

(3) 부유 알레르겐 제거율 시험 결과

그림 7은 밀폐된 챔버에서 공기청정기 운전 시 자연감소 대비 0.37 μm 크기 입자의 제거율을 비

교한 결과이다.

공기청정기를 30분 가동하면 99% 이상 제거됨을 할 수 있고, 자연감소 시에는 거의 제거가 되지 않음을 알 수 있다. 또한 적은 공간에서는 Circulator에 의한 효과는 적으나 넓은 공간에서는 환기 횟수 증가로 높은 집진효율이 예상되어 Circulator 사용을 추천하는 바이다.

그림 8는 밀폐 챔버에서 공기청정기 운전 시 자연감소 대비 집먼지 진드기 알레르겐 및 개털 알레르겐을 각각 효소면역정량법을 사용하여 측정된 결과이다. 자연감소에 비하여 공기청정기를 운전한 경우에는 집먼지 진드기 알레르겐이 평균 92%, 개털 알레르겐이 95% 이상 제거됨을 알 수 있어 부유 알레르겐 제거에 공기청정기가 매우 유효함을 알 수 있다.

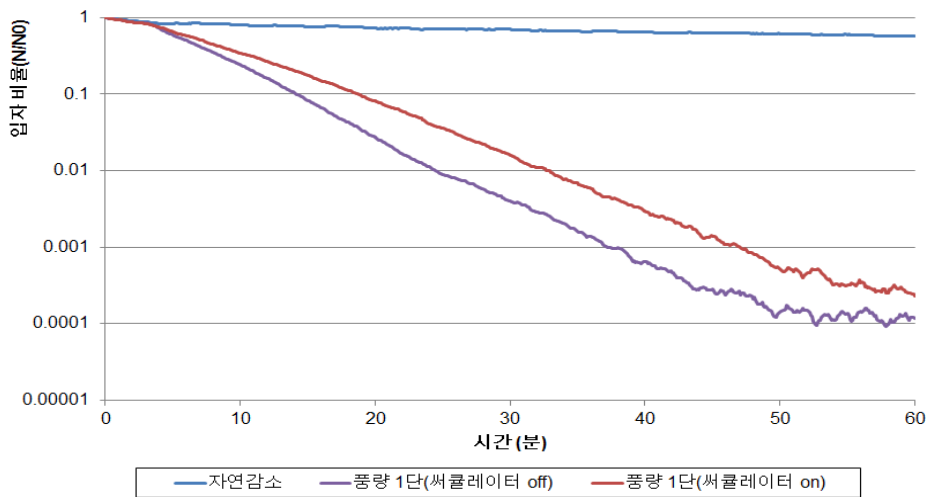


그림 7. 공기청정기 운전에 따른 0.37 μm 입자 제거율 비교

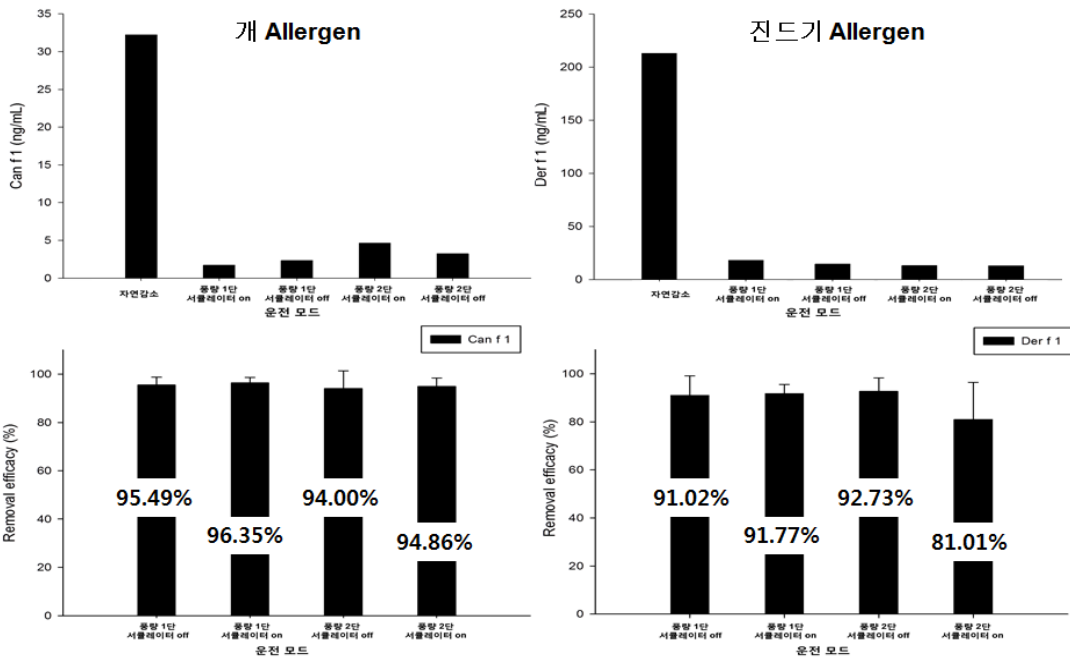


그림 8. 공기청정기 운전에 따른 부유 알레르겐 제거율 비교 (개털 알레르겐 및 집먼지 진드기 알레르겐)

2.5 알레르기 비염환자에서의 공기청정기 운전에 의한 효과 평가

집먼지 진드기 또는 반려동물에 노출 시 악화되는 알레르기 비염환자 44명을 대상으로 L사에서 개발한 공기청정기의 효과를 평가하기 위해 1:1 배정 이중맹검무작위배정 시험을 시행한 바 있다. 공기청정기 가동 전 24시간 평균 PM2.5는 침실에서 $27.1 \pm 7.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (평균 \pm 평균의 표준오차), 거실 $19.0 \pm 4.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 통계학적으로 유의미하게 침실에서 높았다 ($P < 0.001$). 이는 공기청정기 가동 전 침실의 24시간 평균 PM2.5 농도는 WHO 권고 기준인 $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 상회한 가정이 많음을 보여주고 있다. 실외 미세먼지 뿐만 아니라 침실의 미세먼지 농도가 높음을 소비자 및 일반 대중에게 알리고, 이에 대한 관심이 시급함을 확인할 수 있었다. 실내공간에 구역에 따라 PM10 농도를 보면 침실에서 $33.2 \pm 9.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 거실에서는 $22.8 \pm 6.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 통계학적으로 유의미하게 침실에서 거실보다 높았다 ($P < 0.001$). WHO에서는 24시간 평균 PM10을 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 유지할 것을 권고하고 있는데, PM10 측정값 측면에서 보면 기준을 충족시키고 있다.

실내공기 오염은 거주자의 다양한 실내 활동에 의해서 급격하게 악화되는 양상이 매우 특징적이다. 그림 9는 실시간으로 전송된 실내 PM2.5의 일중 변화 그래프로 공기청정기 가동에 따른(A) PM2.5 농

도를 공기청정기 가동 전(B)과 비교하였을 때 공기청정기를 가동한 가정에서는 PM2.5의 농도가 상승하는 상황이 발생하여도, 그 농도가 급격히 감소하였다. 그러나 mock 공기청정기를 가동한 가정에서는 감소 속도가 훨씬 느린 느낌을 확인할 수 있었다. 이를 바탕으로 공기청정기 가동 시 평균 농도의 감소뿐 아니라 고농도 미세먼지에 노출되는 시간을 감소시킬 수 있음을 유추해 볼 수 있다.

mock 공기청정기를 가동한 가정의 실내 일중 평균 침실의 PM2.5 농도는 $27.1 \pm 7.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (평균 \pm 평균의 표준오차) 인 반면에 공기청정기를 사용한 군에서는 $13.1 \pm 1.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 51.5% 낮았다 ($P < 0.001$). mock 공기청정기를 사용한 가정의 거실공기의 PM2.5 농도는 $19.0 \pm 4.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 반면에 공기청정기를 작동한 가정에서는 $11.6 \pm 2.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 39.2% 낮은 값을 보여주었다 ($P < 0.001$). 침실/거실 모두 일중평균 PM2.5에 관한 WHO 권장 기준을 상회하는 날이 없었다. 실내공기의 PM10 농도도 PM2.5와 유사한 결과를 보였다. mock 공기청정기를 가동한 가정의 침실에서의 일중 평균 PM10 농도는 $33.2 \pm 9.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (평균 \pm 평균의 표준오차)이며, 공기청정기를 사용한 군은 $15.6 \pm 2.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 대조군에 비해 53.0% 낮았다 ($P < 0.001$). 거실에서의 PM10 농도는 mock 공기청정기 사용군이 $22.8 \pm 6.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며, 공기청정기 사용군에서는 $13.6 \pm 3.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 평균 농도가 40.6% 낮았다 ($P < 0.001$).

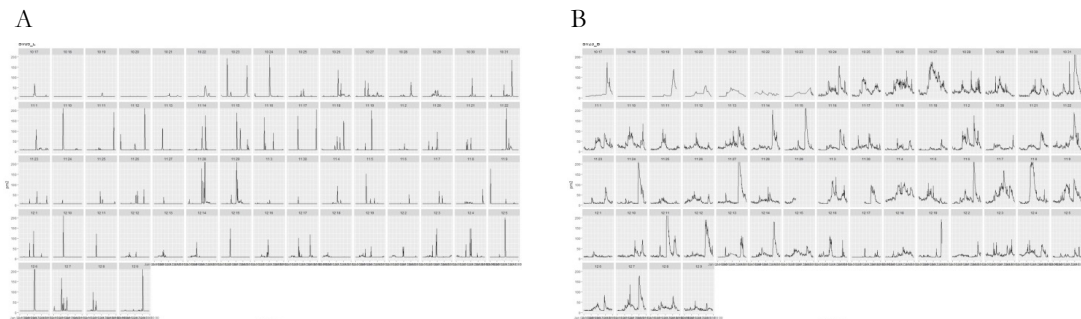


그림 9. 공기청정기(A)와 mock 공기청정기(B)를 사용하는 가정에서의 PM2.5 일중 변화 비교

또한 공기청정기가 환자들의 비염의 정도에 미치는 영향을 분석하였다. 비염 증상에 대한 주관적 지표는 공기청정기의 진위 여부와 관계없이 호전되는 패턴을 보였다. 환자 및 연구자는 이중맹검 과정을 통해 공기청정기 장비의 진위여부를 연구 진행 중에는 확인할 수 없었기에 이러한 경향성은 공기청정기 장비에 대한 위약효과 (Placebo effect)로 판단된다. 하지만 비염으로 인한 실제 약제 사용 점수 (객관적 지표)는 공기청정기의 진위 여부에 따라 확연한 차이를 보였다. 공기청정기를 가동한 그룹의 환자들은 6주 시점에서 비염으로 인한 약제 사용이 26.3% 감소 (0.95 versus 0.70) 하였으며, 이는 통계적으로 의미 있는 차이를 보였다. 이러한 차이는 가동 3주부터 나타나기 시작하였으며, 6주 동안 유지되는 패턴을 보였다. mock 공기청정기 사용군 대비 공기청정기 실험군은 공기청정기 가동 전에 비염 증상으로 인한 알레르기 치료제를 1.26배 많이 사용하였으나, 공기청정기를 6주 가동 후에는 비염으로 인한 약제 사용이 0.67배로 의미있게 감소하였다 (P = 0.034).

3. 결론

실내공기오염에 주로 문제 되는 요소는 PM2.5, 질소산화물, 담배연기, 그리고 실내 알레르겐이 있으며, 이로 인해서 거주자의 건강에 큰 영향을 미친다. 실내 공기오염은 외부공기, 거주자의 다양한 활동, 그리고 건축설계 및 시설의 적절성, 등 여러 요인에 의해서 영향을 받는다. 그러나 현실적으로 이러한 실내공기 오염 발생 요인을 통제하기에는 현실적인 어려움이 있다. 최근에는 공기청정기를 이용하여 실내 공기오염을 경감시키려는 가정이 급속도로 늘고 있다. 공기청정기는 실내 공기오염물질을 통제하는데 중요한 역할을 하며, 취약계층인 호흡기 알레르기 비염환자에서 약물사용을 의미있게 감소시키는 효과를 확인할 수 있었다.

- 참고 문헌 -

1. Pruss-Ustun A, Corvalan C, 2006, "Preventing

disease through healthy environments: towards an estimate of the environmental burden of disease", Geneva, Switzerland: World Health Organization

2. Sung Hwa Lee, 2003, "Development of Photocatalyst Plasma Air Cleaning Filter Used in Air Conditioner", J. of AOTs, Vol. 6, No. 1, pp. 66-69
3. Bernstein JA, Alexis N, Bacchus H, Bernstein IL, Fritz P, Horner E, Li N, Mason S, Nel A, Oullette J, et al, 2008, "The health effects of non-industrial indoor air pollution". J Allergy Clin Immunol, 121, pp. 85-591
4. Breyse PN, Diette GB, Matsui EC, Butz AM, Hansel NN, McCormack MC, 2010, "Indoor air pollution and asthma in children", Proc Am Thorac Soc.7, pp. 102-106.
5. Bowler RP, Crapo JD, 2002, "Oxidative stress in allergic respiratory diseases". J Allergy Clin Immunol 110, pp. 349-356
6. Gilliland FD, Li YF, Peters JM, 2001, "Effects of maternal smoking during pregnancy and environmental tobacco smoke on asthma and wheezing in children", Am J Respir Crit Care Med.163, pp. 429-436
7. He QQ, Wong TW, Du L, Jiang ZQ, Yu TS, Qiu H, Gao Y, Wong AH, Liu WJ, Wu JG, 2011, "Environmental tobacco smoke exposure and Chinese schoolchildren's respiratory health: a prospective cohort study", Am J Prev Med. 41, pp. 487-493
8. Sood AK, Kesic MJ, Hernandez ML, 2018, "Electronic cigarettes: One size does not fit all", J Allergy Clin Immunol. 141, pp. 1973-1982
9. Morgan WJ, Crain EF, Gruchalla RS, O'Connor GT, Kattan M, Evans R, 3rd, Stout J, Malindzak G, Smartt E, Plaut M, et al, 2004, "Results of a home-based environmental intervention among urban children with asthma", N Engl J Med. 351, pp. 1068-1080