

공기정화기 가동에 따른 사무실 재실자들의 행동성과 입자상 오염물질의 농도 분포 관계에 관한 연구

김기연*,*** · 박재범* · 김치년** · 이경종*†

*아주대학교 의과대학 예방의학교실, **연세대학교 의과대학 산업보건연구소,
***신시내티대학교 환경보건학과
(2007. 8. 2. 접수/2007. 8. 14. 채택)

Relationship between Office Residents' Activities and Concentration Distribution of Particulate Contaminants Distribution by Operation of Air Cleaner

Ki Youn Kim*,*** · Jae Beom Park* · Chi Nyon Kim* · Kyung Jong Lee*†

*Department of Preventive Medicine & Public Health, School of Medicine, Ajou University

**Institute for Occupational Health, College of Medicine, Yonsei University

***Department of Environmental Health, University of Cincinnati

(Received August 2, 2007/Accepted August 14, 2007)

ABSTRACT

The reduction efficiency of air cleaner on particulate contaminants such as dust, airborne bacteria and fungi distributed in the office was relatively higher in case of office with workers than office without workers. This result would be attributed to workers' activities and physical characteristics of particulate contaminants. The air cleaner decreased a concentration of airborne bacteria more than airborne fungi, which implicates that difference of dust adsorption between airborne bacteria and fungi would affect an operation efficiency of air cleaner.

Keywords : air cleaner, dust, airborne bacteria, airborne fungi

I. 서 론

일반 사람들이 거주하고 생활하고 있는 다중이용시설의 실내공기질에 사회적 관심과 더불어 사무실 실내공기질 관리에 대한 관심도 동시에 증대하고 있다. 사무실 근로자들의 경우 다중이용시설을 이용하는 불특정 일반 사람들에 비해 사무실 공간 내 근무시간이 거의 일률적으로 고정되어 있고 체류시간 또한 상대적으로 많기 때문에 실내공기 오염물질의 잠재 노출량도 더 높다고 추정할 수 있다. 이러한 이유로 노동부에서는 2003년 7월 산업보건기준에 관한 규칙 조항에 “사무실 오염으로 인한 건강장해의 예방”을 신설하여 사무실 근로자의 건강을 보호하고 사무실의 실내공기 질을 관리

하고 개선한다는 취지에서 미세먼지, 이산화탄소, 포름알데히드, 일산화탄소에 대한 관리기준을 설정하였다.¹⁾ 사무실 실내공기오염물질의 관리항목의 확대 필요성이 제기되어 현재는 종전 4가지 규제물질에 총부유세균, 이산화질소, 총휘발성유기화합물, 석면, 오존이 추가되어 현재는 총 9가지 실내공기오염물질이 법적으로 관리되고 있다.²⁾

사무실 근로자들이 실내에서 장시간 활동하면서 실내공기오염물질에 노출되어 나타나는 자각증상은 두통, 현기증, 메스꺼움 등의 빌딩증후군(Sick Building Syndrome; SBS) 증세와 유사하며 국내에서도 몇몇 연구자들이 현장 측정과 설문 조사 방법을 활용하여 보고한 바 있다.^{3,4)} 이러한 사무실 근로자들의 건강 자각증상을 예방하기 위한 방안 중 하나로 사무실 내 공기오염물질을 효과적으로 저감시킬 수 있는 공기정화기의 적용을 들 수 있다. 공기정화기의 효율성 평가는 주로 밀폐된 챔버 안에서 계획된 환경 조건하에서 수행

†Corresponding author : Department of Preventive Medicine & Public Health, School of Medicine, Ajou University
Tel: 82-31-219-5292, Fax: 82-31-219-5084
E-mail : leekj@ajou.ac.kr

되어진 실험 결과들이 대부분이며,^{5,7)} 그 외 일반 실내 환경 조건하에서 공기정화기와 자연환기 시스템의 효율성을 비교한 case by case 연구가 있다.^{8,9)} 하지만 공기정화기의 처리 효율성과 가동시 부가적으로 발생되는 오존 등의 2차 유해물질 노출로 인한 건강 위해성에 대해 아직까지 국내외적으로 명확한 결론이 도출된 상황은 아니다.¹⁰⁻¹²⁾

사무실 실내공기오염물질 중 분진 등의 입자상 오염물질은 생물학상 오염물질인 부유 미생물들을 흡착,^{13,14)} 공기 중에 전파되어 근로자들의 호흡시 천식, 비염, 폐렴 등의 과민성 알러지 질환을 유발하는 것으로 알려져 있다.^{15,16)} 일반적으로 부유 미생물을 포함한 바이오에어로졸의 주요 발생원 중 하나가 실내공간에 거주하고 있는 사람들인 것으로 보고되고 있고,^{17,18)} 이러한 사실에 근거를 두면 거주자들의 활동 패턴 및 정도에 따라 입자상 물질의 농도 분포 양상 또한 달라질 수 있다. 따라서 공기정화기 가동에 따른 사무실 내 입자상 물질의 저감 효과를 객관적으로 평가하기 위해서는 근로자들의 활동성을 동시에 고려한 현장 실증 평가가 요구되는 바이다.

본 연구는 일반 사무실을 대상으로 근로자들의 재실 유무에 따른 공기정화기의 입자상 오염물질 제거율을 상대적으로 비교함으로써 사무실 근로자들의 입자상 오염물질 노출 저감을 위한 공기정화기의 실질적인 효율성 고찰과 동시에 공기정화기의 성능 평가에 관한 기초자료를 제공하는 데 목적을 두고 있다.

II. 실험대상 및 방법

본 연구에 적용된 공기정화기의 유형은 습식방식으로 면적 10-20 m²에 해당되는 일반 사무실용인 것을 선정하였다. 공기정화기의 처리 용량과 상응한 일반 사무실(45 m³; L×W×H=6 m×3 m×2.5 m) 1개소를 대상으로 10명의 사무실 근로자들이 일상적으로 근무하는 환경 조건과 부재시의 환경 조건하에서 공기정화기를 가동하여 시간 경과에 따른 처리 효율성을 비교 평가하였다. 측정 시간은 가동 전(0h), 가동 후 30분(1/2 h), 2시간(2h), 4시간(4h)의 조건으로 설정하였고, 5회 반복하여 측정된 값을 평균값으로 하였다.

입자상 오염물질의 측정 항목으로는 부유분진, 부유세균, 부유진균을 선정하였고, 사무실 바닥으로부터 1 m 떨어진 중앙 지점을 측정 대표 지점으로 하였다. 부유분진의 경우 광산란 방식의 직독식 부유분진 측정기(Dust mate, Turnkey Inc, England)를 설치하여 TSP, PM₁₀, PM_{2.5}의 농도를 측정하였다. 부유세균과 부유진

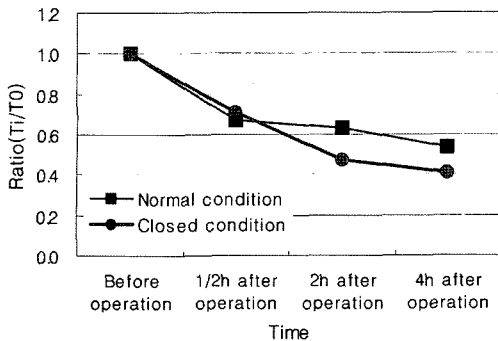
균의 경우 채취 유량이 100 l/min로 설정된 관성충돌법 원리의 공기포집기(Oxoid air sampler, MAQSI, USA)를 이용하여 2분 동안 공기를 포집하였다. 시료 채취 전에 70% alcohol로 포집기 내부를 소독처리한 후, 부유세균은 진균의 성장을 억제하기 위해 cycloheximide 500 mg이 첨가된 Trypticase soy agar (Lot 2087730, Becton Dickinson and Company, USA) 배지를, 부유진균은 세균의 성장을 억제하기 위해 세균의 성장을 억제하기 위해 chloramphenicol 100 mg이 첨가된 Sabouraud dextrose agar(Lot 3111376, Becton Dickinson and Company, USA) 배지를 사용기에 장착하였다. 포집이 완료된 배지는 미생물 분석실로 운반하여 부유세균은 37°C 조건하의 배양기에서 1-2일 동안, 부유진균은 실온 조건(20~25°C) 하에서 3-5일 동안 배양하였다. 배양 후 배지에 형성된 집락(colony)을 계수한 값에 공기량(m³)으로 나누는 방법으로 부유 미생물의 농도(CFU/m³)를 나타냈다.

입자상 물질에 대한 본 연구에 적용된 공기정화기의 제거 효율성 평가 방법으로 시간 경과에 따른 농도 변화율(dC/dt)의 원리를 적용하여 공기정화기 가동 전 초기 농도(C₀)를 기준으로 시간 경과에 따른 농도(C_t)의 비율(C_t/C₀)을 산출하여 사무실 근로자들이 재실한 환경조건과 그렇지 않은 환경조건과의 농도 비교도 동시에 조사하였다.

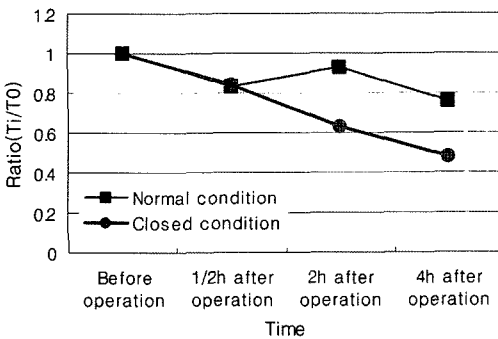
III. 실험결과

1. 부유분진

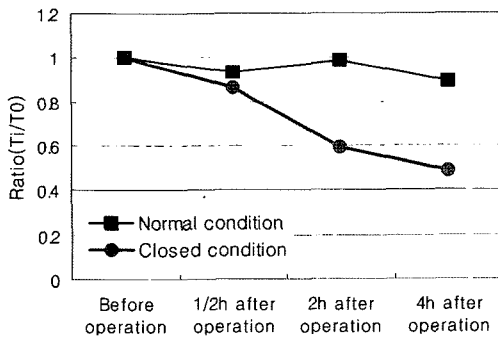
Fig. 1에 나타난 바와 같이 공기정화기 가동에 따른 총부유분진(TSP; Total Suspended Particle), PM₁₀, PM_{2.5}의 감소율을 살펴보면 사무실 근로자들이 일상적으로 활동하는 환경조건(일상조건; normal condition) 하에서 공기정화기를 가동한 경우와 근로자들이 사무실에 부재한 환경조건(밀폐조건; closed condition) 하에서 공기청정기를 가동한 경우 모두 공기정화기의 가동 시간이 증가함에 따라 입자상 오염물질의 감소율도 같이 증가하는 것으로 조사되었다. 가동 후 30분(1/2 h)에는 사무실 근로자들의 재실 유무에 상관없이 두 경우 모두 총부유분진은 약 30%, PM₁₀과 PM_{2.5}는 약 20%의 감소율을 보이는 것으로 분석되었다. 총부유분진의 경우 가동 후 2시간(2h)과 4시간(4h) 후의 감소율이 일상 조건에서 약 40%와 50%, 밀폐조건에서의 감소율이 약 50%와 60% 정도로 나타나 사무실 근로자들이 없는 상황에서의 공기정화기 효율이 약 10% 정도 높은 것을 알 수 있었다. PM₁₀과 PM_{2.5}의 경우 밀폐조건



(a) TSP



(b) PM10



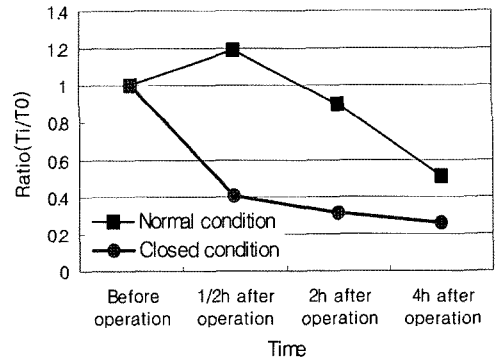
(c) PM2.5

Fig. 1. Time-based variation of particulate contaminants concentration by operation of air cleaner.

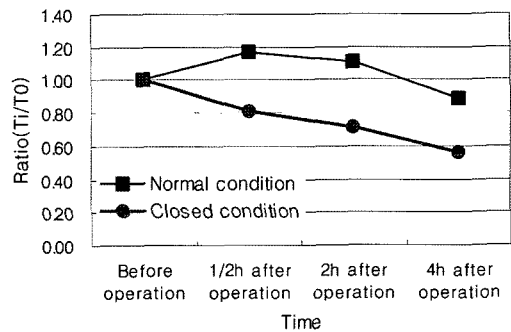
하에서 공기정화기 가동 후 2시간, 4시간에 측정된 값을 보면 가동 후 30분에 측정된 값보다 낮은 것으로 나타나 시간 경과에 따라 저감 현상이 계속 지속되는 것으로 관찰되었다. 하지만 일반조건 하에서는 가동 후 30분에 측정된 값과 2시간, 4시간 측정값과 비교시 불규칙적으로 증감하는 것으로 보여 공기정화기의 제거 효율성이 명확하지 않은 것으로 나타났다.

2. 부유세균과 부유진균

Fig. 2는 사무실의 일상조건과 밀폐조건에 따른 공기



(a) Airborne bacteria



(b) Airborne fungi

Fig. 2. Time-based variation of airborne bacteria and fungi by operation of air cleaner.

정화기의 가동 시간별 부유세균과 부유진균의 농도 변화 추이를 보여주고 있다. 사무실에 근로자들이 부재 중인 밀폐조건인 경우 부유세균과 부유진균 모두 공기정화기 가동 전의 초기 농도에서 시간이 지남에 따라 순차적으로 감소되고 있음이 관찰되었다. 최종 측정 시간인 가동 후 4시간에는 초기 농도에 비해 부유세균이 약 70%, 부유진균이 약 40% 정도 감소되는 것으로 보여 부유진균보다는 부유세균에 대해 공기정화기의 제거 효율이 상대적으로 높음을 알 수 있다. 하지만, 근로자들이 사무실에 재입하여 일상 활동을 하고 있는 조건하에서는 공기정화기 가동 후 30분에 측정된 부유세균과 부유진균의 농도가 초기 농도보다 오히려 더 높게 나타났으며, 가동 시간에 따른 감소율도 가동 후 4시간을 기준으로 부유세균은 약 50% 정도, 부유진균은 초기 농도와 거의 비슷한 수준으로 분석되었다.

IV. 고 찰

전반적으로 입자상 오염물질인 부유분진, 부유세균, 부유진균 모두 사무실 근로자들이 부재 중인 밀폐조건

보다 근로자들이 사무실에서 활동하고 있는 일상조건에서 공기정화기의 제거 효율이 상대적으로 높은 것으로 분석되었다. 본 연구 결과는 사무실에 재실하고 있는 근로자들의 활동성과 입자상 오염물질의 물리적 특성에 기인한 것으로 사료된다. Otten과 Burge¹⁷⁾와 Pastuszka 등¹⁸⁾의 연구 결과에 의하면 부유세균과 부유진균을 포함한 바이오에어로졸의 실내 주요 발생원 중 하나가 거주하는 사람들이라 보고하고 있다. 다시 말해 거주자들의 머리, 피부, 옷 등에 부착되고 있던 입자들이 그들의 활동성에 의해 공기 중으로 방출되어 실내 농도를 증가시키는 인자로 작용한다는 것이다. 따라서 사무실의 경우도 재실하고 있는 근로자들이 곧 입자상 오염물질의 실내 발생원이라 할 수 있다. 또한 중력에 의해 사무실 바닥에 침착된 입자상 오염물질들이 근로자들이 공간 내에서 이동하게 되면 다시 공기 중으로 재부유(resuspended)하게 되는 물리적 특성이 실내 농도 증가의 한 원인으로 작용한 것이라 판단된다. 결론적으로 사무실에 재실해서 활동하고 있는 근로자들이 입자상 오염물질 제거에 대한 공기정화기의 성능을 저해하는 인자로 영향을 준 것이다.

측정 장소, 시간, 장비 등 실험 방법적 측면에서 서로 상이한 선행 연구들과 본 연구의 결과를 비교하는 것은 다소 무리가 있으나, 가정집과 병원을 대상으로 공기정화기의 입자상 오염물질의 제거효율이 약 28.5%라고 보고한 이 등⁹⁾의 연구결과와 비슷한 수준인 것으로 분석되었다. 일반적으로 부유 입자가 클수록 공기정화기의 처리 효율이 높다고 입자역학 측면에서 알려져 있으며, 이는 공기정화기의 처리 효과가 TSP > PM₁₀ > PM_{2.5} 순서로 나타난 본 연구 결과에 의해서 다시 입증되었다. 또한 챔버 실험을 통해 공기정화기의 부유 바이러스와 부유세균 저감 정도를 관찰한 Grinshpun 등¹⁹⁾의 연구 결과에 의하면 부유 바이러스의 제거 효율이 부유세균에 비해 월등히 높은 것으로 나타났으며, 그 이유를 부유 바이러스와 부유세균간의 분진에 대한 흡착성 차이에 의한 것으로 보고하고 있다. 따라서 공기정화기의 제거 효율이 부유진균보다는 부유세균에 대해 상대적으로 높게 나타난 본 연구 결과는 그것들의 입자 크기 차이에 의한 것보다는 분진에 대한 흡착성이 부유진균보다 부유세균이 높기 때문에 나타난 결과라 사료된다.

V. 결 론

사무실 내부에 분포하고 있는 입자상 오염물질에 대한 공기정화기의 성능은 근로자들이 일상적으로 활동

하고 있는 경우보다 부재 중인 상황에서 더 효과적인 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 사무실에 재실하고 있는 근로자들의 활동성과 입자상 오염물질의 물리적 특성에 의한 것으로 판단된다. 부유진균보다는 부유세균에 대해 공기정화기의 제거 효율이 상대적으로 높게 나타났는데, 이는 공기정화기에 의해 제거되는 분진에 대한 흡착성이 부유진균보다 부유세균이 높기 때문이다.

참고문헌

1. 노동부 : 산업안전보건법, 2003.
2. 노영만, 이철민, 김윤신, 김석원, 김치년, 김현욱, 조기홍, 최호춘, 김정만 : 건강위해성평가에 의한 사무실 실내공기오염물질의 관리항목 확대. 한국산업위생학회지 **1**, 54-67, 2006.
3. 노영만, 이철민, 김윤신, 김석원, 김치년, 김현욱, 조기홍, 최호춘, 김정만 : 사무실 내 실내공기질 특성 및 근무자의 자각증상에 관한 연구. 한국산업위생학회지 **14**, 270-279, 2004.
4. 김기연, 김혜정, 김현수, 김치년, 원종욱, 노영만, 노재훈 : 석유화학공장 사무실 공기질과 근로자 자각증상과의 연관성에 관한 연구. 한국실내환경학회지 **3**, 224-235, 2006.
5. 손종렬, 김영환, 우완기 : 실내용 공기청정기의 성능평가 및 인식도 조사. 대한위생학회지 **17**, 111-116, 2002.
6. 김용진 : 실내 공기청정기 인증을 위한 성능시험방법. 대한설비공학학회지 **33**, 22-27, 2004.
7. 나경호, 손진석, 성기준, 장영기 : 실내용 공기청정기 유형별 실내환경개선 성능에 대한 비교평가. 환경영향평가 **14**, 109-115, 2005.
8. 정윤희, 홍준배, 장윤희 : 생활환경과 실내 공기의 미생물학적 오염에 관한 연구. 한국환경위생학회지 **27**, 1-9, 2001.
9. 이태형, 김윤신, 홍승철, 이철민, 김종철, 전형진, 김중호 : 공기청정기의 일부 실내공기 오염물질 제거효율에 관한 연구. 한국환경과학회지 **14**, 491-497, 2005.
10. Foarde, K. K., Hanley, J. T., Ensor, D. S. and Roessler, P. : Development of a method for measuring single-pass bioaerosol removal efficiencies of a room air cleaner. *Aerosol Science and Technology* **30**, 223-234, 1999.
11. Tung, T. C. W., Niu, J. L., Burnett, J. and Hung, K. : Determination of ozone emission from a domestic air cleaner and decay parameters using environmental chamber tests. *Indoor Built and Environment* **14**, 29-37, 2005.
12. 김기연, 김치년, 김윤신, 노영만, 이철민 : 복합식 공기청정기의 물리적 및 생물학적 입자상 물질의 제거효과. 한국환경보건학회지 **32**, 478-484, 2006.
13. Donaldson, A. I. : Factors influencing the dispersal, survival and deposition of airborne pathogens of farm animals. *Veterinary Bulletin* **48**, 83-94, 1978.
14. Robertson, J. H. and Frieben, W. R. : Microbial validation of ven filters. *Biotechnology and Bioengineering* **26**, 828-835, 1984.

15. Dales, R. E. H., Burnet, Z. R. and Freanklin, C. A. : Respiratory health effects of home dampness and mold among Children. *American Journal of Epidemiology* **134**, 196-203, 1991.
16. Anthony, K. Y., Chau, C. K. and Gilbert, Y. S. : Characteristics of bioaerosol profile in office in Hong Kong. *Building and Environment* **36**, 527-541, 2001.
17. Otten, J. A. and Burge, H. A. : Bacteria. In: Macher, J. (Ed.), *Bioaerosols, Assessment and control*. ACGIH, Cincinnati, OH, pp. 200-214. 1999.
18. Pastuszka, J. S., Paw, U. K. T., Lis, D. O., Wlazlo, A. and Ulfig, K. : Bacterial and fungal aerosol in indoor environment in Upper Silesia, Poland. *Atmospheric Environment* **34**, 3833-3842, 2000.
19. Grinshpun, S. A., Adhikari, A., Honda, T., Kim, K. Y., Toivola, M., Rao, K. S. R. and Reponen, T. : Control of aerosol contaminants in indoor air: combining the particle concentration reduction with microbial inactivation. *Environmental Science and Technology* **41**, 606-612, 2007.