

## 실내 공기정화 시스템에 의한 실내 오염입자의 제거특성에 관한 실험적 연구

김 성 찬, 이 창 건, 안 영 철, 이 재 근<sup>†</sup>, 강 태 욱<sup>\*</sup>, 이 감 규<sup>\*</sup>, 구 정 환<sup>\*</sup>  
부산대학교 기계공학과, \*LG 전자

### An Experimental Study on the Removal Characteristics of Indoor Air Pollutants using an Air Cleaning System

Seong-Chan Kim, Chang-Gun Lee, Young-Chull Ahn, Jae-Keun Lee<sup>†</sup>,  
Tae-Wook Kang<sup>\*</sup>, Kam-Gyu Lee<sup>\*</sup>, Jeong-Hwan Koo<sup>\*</sup>

Department of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

<sup>\*</sup>LG Electronics, Changwon 641-711, Korea

(Received February 7, 2003; Revision received July 29, 2003)

**ABSTRACT:** The purpose of this study is to analyze the particle removal characteristics of a commercial air cleaner based on the electrostatic precipitator. The air cleaner consists of a positive corona precharger to precharge particles and a collector to remove the charged particles. The test for particle removal efficiency is conducted with tobacco smoke particles of 1.27  $\mu\text{m}$  in mass median diameter. The result of one-pass filtration test shows that the filtration efficiency is more than 90% for the particles larger than 2.5  $\mu\text{m}$ , while the efficiency for the particles of 0.5~1.0  $\mu\text{m}$  in case of 4.18 CMM is 70%. For the test room of 5,800 $\times$ 3,400 $\times$ 2,600 mm<sup>3</sup>, the concentration of tobacco smoke particles decreases up to 30% of initial values within 30 minutes due to natural reduction and up to 90% of initial values within 30 minutes with the air cleaner operation.

**Key words:** Air cleaning system(공기정화장치), Air pollutant(실내 오염물), Indoor air quality (실내 공기질), Particle concentration(입자농도)

#### 기 호 설 명

#### 1. 서 론

$ACH$  : 환기횟수 [ $\text{h}^{-1}$ ]

$C_0$  : 초기 질량농도 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

$C_t$  : 시간에 따른 질량농도 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

$Q$  : 유량 [CMM]

현대인들은 90% 이상의 시간을 주택, 사무실, 지하공간 등의 실내 공간에서 지내고 있다. 따라서 인간의 생활, 휴식, 그 외의 행동을 무리 없이 행하기 위한 필요조건으로서 쾌적한 실내 환경이 요구되며 이것을 실현시켜 주는 것이 냉난방·공조설비이다. 일반적으로 실내 환경은 온도, 습도, 기류, 복사온도 등의 온열환경과 탄산가스, 일산화탄소, 분진, 냄새, 질소산화물, 공기 중 미생물 등의 오염물질에 관련한 공기질(청정) 환경으로 크게 구분할 수 있다. 종래에는 실내 공간을 단

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-51-510-2455; fax: +82-51-512-5236

E-mail address: jklee@pusan.ac.kr

지 작업공간이라는 관점 하에서 주로 온·습도 등 규정된 일정치를 유지하는 데에만 관심을 기울이고, 확실적인 상태의 형성에 주안점을 두어 단순하게 온도, 습도와 같은 온열환경의 조절만 수행하던 에어컨을 위주로 연구가 진행되었으나, 최근 건물의 기밀화와 실외 공기질의 악화 등의 원인으로 실내에서 발생하는 오염물을 공기정화장치를 통해 제어하는 것에 관심이 집중되고 있다. 실내 공기오염에 대한 제어방안으로 실내 공기오염의 발생원을 제거 또는 대체, 개선, 환기, 공기정화장치 등에 의한 공기청정 등이 제안되고 있다. 기존의 환기방식은 실내 공기오염 제어방법 중 가장 중요한 사항이나 최근 건물의 기밀화와 실외 공기질의 악화로 인하여 내부의 입자상 오염물질의 제거를 위한 고효율의 전기집진 원리와 가스상 오염물질의 제거를 위하여 방전 플라즈마 원리를 적용한 공기정화장치에 의한 실내 공기오염 제어방식이 적극 활용되고 있다.<sup>(1-3)</sup> 많은 연구자들이 상용화된 공기정화장치의 성능평가에 관한 연구를 수행하여 왔는데, Offermann<sup>(4)</sup>은 11종류의 상용화된 공기정화장치를 이용하여 담배연기 제거성능평가를 수행하였고, Cheng<sup>(5)</sup>은 오염입자로 꽃가루와 균질물을 사용하여 환기와 공기정화장치를 동시에 적용하여 실공간에서 오염입자 제거성능을 분석하였다. 그리고, Choi and Ahn<sup>(6)</sup>은 동적 특성 방법을 이용하여 공기청정기의 효율평가를 수행했으며, Korean Air Cleaning Association<sup>(7)</sup>는 실내 공기청정기 규격을 통해 공기정화 시스템의 성능평가방법을 확립하였다.

본 연구는 쾌적한 실내 공기질을 유지하기 위하여 요구되어지는 공기정화장치의 오염입자 제거특성을 분석하는 연구로서, 대표적인 실내 오염입자인 담배입자를 이용하여 공기정화기 실제 제품의 단품입자 제거특성과 실공간에서 오염입자 제거특성을 파악하는 것을 목적으로 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

본 연구는 선행연구<sup>(8)</sup>와 동일한 방법으로 공기정화장치의 실내 오염입자 제거특성을 분석하기 위하여, 현재 시판중인 공기정화기 실제 제품을 이용하여 단품실험을 통한 입경별 오염입자 제거실험과 실공간에서의 위치별, 오염입자의 입경별 농도변화 측정실험을 수행하였다. Fig. 1은 본 연구

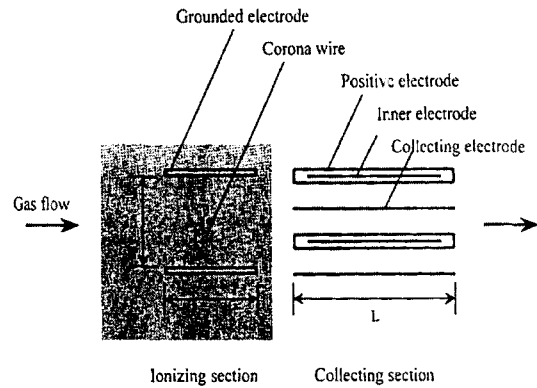


Fig. 1 Schematics of a scroll-type air cleaner.

에 사용된 실내 공기정화기의 전기집진장치의 개략도로써 공기가 유입되는 쪽에 코로나를 발생시켜 입자들을 대전시키기 위한 하전부와 대전된 입자를 포집하기 위한 포집부로 구성된다.

### 2.1 단품입자 제거성능평가

공기정화기의 단품입자 제거성능실험은 공기정화기 자체에 의한 오염입자 제거성능을 평가하는 것으로, 공기정화기 입구와 출구에서의 입자농도를 비교하여 평가할 수 있다. 단품실험장치는 공기정화장치에 직경 100 mm의 원형 덕트와 유입구 및 토출구의 크기에 맞는 사각 덕트를 제작하여 설치하였다. 또한 각각의 덕트는 공기정화장치의 유입구와 토출구에서 압력손실이 최소화되도록 설계되었고, 상류측의 담배입자 공급부에는 담배입자를 발생시키기 위해 Compressor(CAMPBELL HAUSFELD, UD 1012)와 Vacuum Transducer(AIR-VAC, TD260 H)를 조합하여 입자 발생장치를 구성하였으며, 스크린을 부착하여 원형 덕트 내에 담배입자의 균일한 공급을 유도하였다. 덕트 내의 입자 샘플링 위치는 입자가 충분히 혼합되어 대표값을 가지는 위치를 선정하였다. 집진성능평가용 시험분진은 담배입자를 이용하였으며, 공기정화장치가 작동되는 상태에서 토출구에 연결된 덕트의 입구부에서 담배입자를 발생시키고, 광산란 입자 카운터(HIAC/ROYCO, FE-80)를 이용하여 공기정화장치의 상류측과 하류측의 담배입자 농도를 측정하여 입경별로 공기정화장치에 의하여 제거된 입자의 개수를 측정하였다. 본 실험에 사용된 공기정화기의 집진부는 전기집진

방식의 제품으로서, 방전부와 집진부에 각각 5.29 kV, 2.64 kV의 전압을 인가하며, 처리유량은 사용 모드에 따라 각각 4.18 CMM, 5.12 CMM, 그리고 5.98 CMM이다. 본 연구에서는 공기정화기의 단품입자 제거성능을 분석하기 위하여 담배입자를 이용하여 각각의 처리유량에서의 입경별 입자 제거성능실험을 수행하였다.

### 2.2 실공간 입자 제거성능평가

실공간 입자 제거성능평가는 공기정화기를 가동하여 실공간 내의 오염입자 제거성능을 평가하는 것으로, 실공간에 오염입자를 균일하게 분포시킨 후 공기정화기를 가동하여 각 측정위치별로 시간에 따른 오염입자의 농도를 측정한다. Fig. 2는 본 연구를 수행한 실공간의 규모와 측정위치를 나타낸 것으로, 실공간의 규모는 51.27 m<sup>3</sup>(5,800 × 3,400 × 2,600 mm)이며, 인간의 활동시 호흡기관(코, 입)이 위치하는 지면에서 1.7 m 높이에서, 중앙을 중심으로 가로, 세로 각각 3등분하여 9개의 위치에서 측정하였다. 담배입자를 실공간 내에 발생시킨 후 담배입자의 균일한 혼합을 위해 혼합팬을 1분 동안 가동시킨다. 담배입자를 실공간 내에 균일하게 혼합한 후, 한쪽 벽면의 중앙에 설치되어 있는 공기정화장치를 가동시킨다. 각 위치별 오염입자의 농도변화 측정은 광산란입자 질량측정방식인 실내 오염 종합측정기(CASELLA, Microdust)를 이용하여 공기정화기 가동시간에 따른 오염입자 농도변화를 실공간 내의 9개 위치에서 측정하였다. 또한 실공간 중앙에서는 광산란입자 카운터를 이용하여 입경별 오염입자 농도변화 실험을 수행하였다.

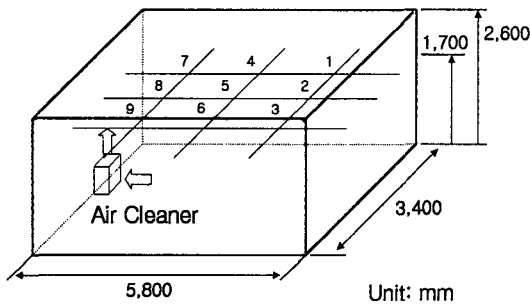


Fig. 2 Schematic diagram of test room and sampling point.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 단품입자 제거성능평가 결과

본 연구에서는 시험입자로 주요 실내 오염원 중의 하나인 담배입자를 이용하였으며, 담배입자의 입경에 따른 공기정화기의 입자 제거성능을 평가하였다. Fig. 3은 담배입자의 입경분포를 측정된 것으로 공기역학평균경(Aerodynamic Mean Diameter)은 1.266 μm이다. 일반적으로 0.1~1.0 μm의 입자에 대한 필터의 집진성능이 가장 낮은 것으로 알려져 있으며, 공기정화장치의 입자 제거성능평가에 주로 사용이 된다. 본 연구에서 사용된 공기정화장치는 전기집진의 원리를 이용한 것으로, 방전부(Ionizer)의 방전 와이어에 고전압(5.29 kV)을 인가하여 코로나 방전으로 입자를 대전시키고 집진부에서는 전기장을 형성하여 정전기력을 이용하여 입자를 포집한다. Fig. 4는 공기정화장치에 의한 입자 제거효율을 나타낸 것으로, 공기정화기의 입구와 출구 측에 덕트를 설치하고 입구 측에 담배입자를 발생시키고, 입구 측과 출구 측의 담배입자 농도를 입경별로 측정, 각 입경에 대한 공기정화기의 입자 제거성능을 평가하였다. 실험결과, 2.5 μm 이상의 입자에 대해서는 공기정화기의 처리유량에 관계없이 90% 이상의 높은 제거효율을 나타내고 있으며, 그 이하의 입자에 대해서는 제거효율이 낮아짐을 알 수 있다. 특히, 5 μm 이상의 초대입자의 경우는 공기정화기에 의해 100% 제거가 가능하며, 처리

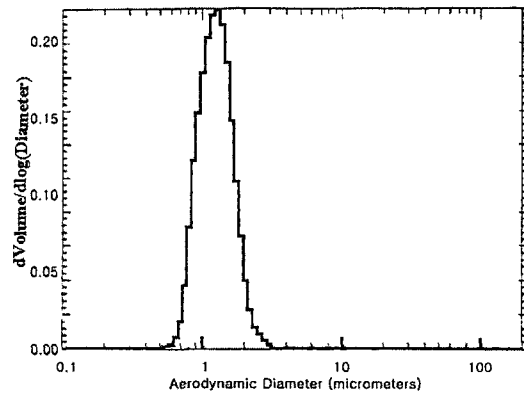


Fig. 3 Size distribution of tobacco smoke particle.

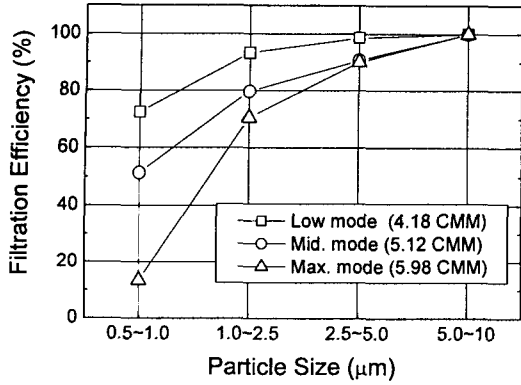


Fig. 4 Collection efficiency as a function of particle size.

유량이 4.18CMM인 경우 1 μm 이상의 입자에 대해 90% 이상의 제거효율을 나타내었으며, 0.5~1.0 μm의 입자에 대하여도 70% 이상의 높은 제거율을 보였다. 반면에 처리용량이 5.98CMM의 경우 2.5~5.0 μm의 입자에 대하여 90% 정도의 입자 제거효율을 나타내고 있으나, 0.5~1.0 μm 입자의 집진효율은 20% 이하로서 미세입자에 대한 집진효율이 급격하게 떨어짐을 알 수 있다. 처리용량이 클수록 집진부를 통과하는 입자의 속도가 커서 입자가 집진부 내에 잔류하는 시간이 짧아진다. 이로 인해 입자의 하진량이 작아지고 또한 집진부에서 집진효율이 떨어지게 된다.

3.2 실공간 입자 제거성능

실공간 입자 제거성능은 공기정화기를 실공간

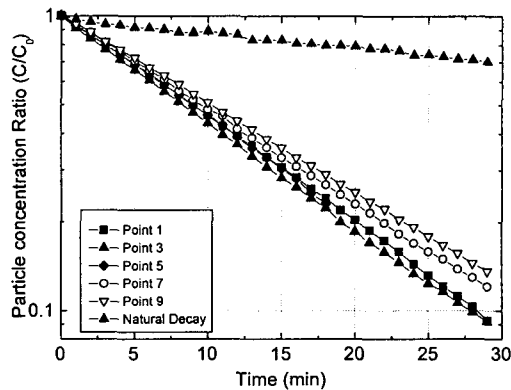


Fig. 5 Variation of particle concentration with each test point (ACH=7.0 h<sup>-1</sup>).

에서 가동시켰을 경우, 공기정화기의 가동시간에 따른 실공간 내에 분포해 있는 오염입자 농도의 변화를 공간 분포적으로 해석하는 것으로, 공기정화기의 실내 공기정화 능력에 대한 실질적인 가시화 자료로서 주로 사용된다. Fig. 5는 체적이 51.27 m<sup>3</sup>(5,800×3,400×2,600 mm)인 실공간에서 환기횟수가 7.0 h<sup>-1</sup>(5.98 CMM)인 조건에서 측정위치별 오염입자 제거성능 결과와 자연감소 결과를 보여준다. 자연감소란 실내에서 공기정화장치를 가동하지 않은 경우 담배연기를 공급하여 입자의 확산에 의한 벽면부착과 중력침강에 의한 입자농도의 감소를 의미한다. 본 실험에서 나타난 자연감소의 경우는 실공간의 중앙에서 측정된 실험결과로서, 실공간이 완전 밀폐되어 있지 않기 때문에 위에서 언급한 입자의 확산에 의한 벽면부착, 중력침강 이외에 틈새에 의한 환기의 메커니즘도 포함된 결과를 나타낸다. 담배입자의 초기농도(C<sub>0</sub>)는 449 μg/m<sup>3</sup>이고, 자연감소의 경우 30분이 경과하여도 초기 농도의 30% 이하의 농도 감소를 나타내고, 공기정화장치를 가동하였을 경우는 30분 경과 시 측정 위치에 관계없이 초기 농도의 90%가 제거됨을 알 수 있다. 일반적으로 학교 건물에서는 시간당 6회의 환기횟수를 필요로 하며, 사무실과 같은 실내 공간에서는 시간당 6회에서 10회 정도가 적당하다고 할 때, 체적이 51.27 m<sup>3</sup>인 공간에서 전 공간에 대해 효율적으로 오염입자를 제거할 수 있는 것으로 판단된다. Fig. 6은 실내에서 자연감소와 공기정화장치를 가동하였을 때의 입경별 담배입자 제거성능을 측정 한 결과로서, 실공간의 중앙에서 각각의 경우에

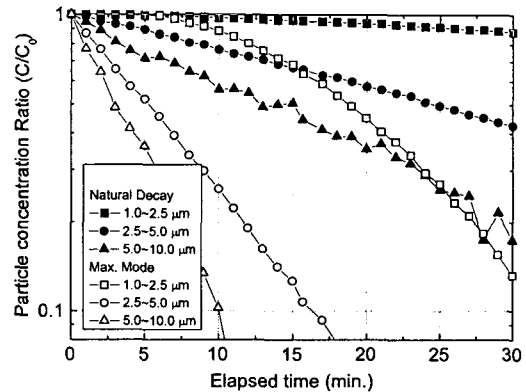


Fig. 6 Variation of particle concentration with particle size (ACH=7.0 h<sup>-1</sup>).

대한 입경별 담배입자의 농도를 시간에 따라 측정하였다. 결과에 알 수 있듯이 자연감쇠의 경우 1.0~2.5  $\mu\text{m}$ 의 미세입자에 대해서는 실험시간 30분 경과 후 10% 정도의 감쇠를 보여, 미세입자에 대한 자연감쇠량은 매우 미비함을 알 수 있으며, 5.0~10.0  $\mu\text{m}$ 의 입자는 30분 경과 후 입자의 농도가 초기 농도의 20%까지 감소하여 조대입자에 대해서는 자연감쇠량이 비교적 큼을 알 수 있다. 반면에 공기정화기를 가동한 경우에는, 5.0~10.0  $\mu\text{m}$  입자의 경우 15분 경과 후 100% 제거되었으며, 1.0~2.5  $\mu\text{m}$ 의 미세입자에 대해서도 30분 경과 후 초기 농도의 20%까지 제거되어, 자연감쇠와 비교해 높은 입자감쇠 경향을 나타낸다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 담배입자를 이용한 공기정화장치에 의한 오염입자 제거성능을 평가하였다. 현재 상용화된 공기정화기는 담배입자를 제거하는 데 효율적임을 확인할 수 있었으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 본 연구에서는 시험입자로 담배입자를 이용하였으며, 담배입자의 공기역학 평균경은 1.266  $\mu\text{m}$ 로 대부분의 입자가 1.0  $\mu\text{m}$  이하의 입자이다.

(2) 공기정화기의 단품입자 제거성능평가 결과, 2.5  $\mu\text{m}$  이상의 입자에 대해서는 공기정화기의 처리용량에 관계없이 90% 이상의 높은 제거효율을 나타내고 있으며, 미세입자에 대해서는 처리용량이 4.18 CMM인 경우 0.5~1.0  $\mu\text{m}$ 의 입자에 대하여 70% 이상의 높은 제거율을 보였으나, 처리용량이 5.98 CMM의 경우 0.5~1.0  $\mu\text{m}$  입자의 집진효율은 20% 이하로 급격하게 떨어진다.

(3) 공간체적이 51.27  $\text{m}^3$ (환기횟수 7.0  $\text{h}^{-1}$ )인 실공간에서 자연감소의 경우 30분 경과시 담배입자는 초기 농도의 30% 정도 제거되었으나, 공기정화장치를 가동하였을 때, 측정위치에 관계없이 초기 농도의 90%까지 감소됨을 확인할 수 있었다.

(4) 실공간에서의 입경별 담배입자 제거성능평가 결과, 자연감쇠의 경우 1.0~2.5  $\mu\text{m}$ 의 미세입자에 대해서는 실험시간 30분 경과 후 10% 정도

의 감쇠를 보였으나, 공기정화기를 가동한 경우에는 공기정화기 가동 30분 경과 후 초기 농도의 20%까지 제거되어 자연감쇠와 비교할 때 높은 입자감쇠 경향을 나타내고 있다.

#### 후 기

본 연구는 (주)LG전자의 지원 하에 수행되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Bearg, D. W., 1993, Indoor Air Quality and HVAC Systems, Lewis Publishers.
2. Liu, B. Y. H., Lee, J. K., Mullins, H. and Danish, S. G., 1993, Respirator leak detection by ultrafine aerosols: A predictive model and experimental study, Aerosol Science and Technology, Vol. 19, No. 3, pp. 15-26.
3. Godish, T., 1990, Indoor Air Pollution Control, Lewis Publishers.
4. Offermann, F. J., 1985, Control of respirable particles in indoor air with portable air cleaners, Atmospheric Environment, Vol. 19, No. 11, pp. 1761-1771.
5. Cheng, Y. S., 1998, Efficiency of a portable indoor air cleaner in removing pollens and fungal spores, Aerosol Science and Technology, Vol. 29, No. 92.
6. Choi, S. H. and Ahn, K. H., 1997, Evaluation of a room-size air cleaner by dynamic method, Proceedings of the SAREK 1997 Summer Annual Conference, pp. 273-278.
7. Korean Air Cleaning Association, 1998, Standards of Indoor Air Cleaning System.
8. Koo, J. H., Kim, S. C., Kim, D. H., Lee, J. K., Kang, T. W. and Lee, K. G., 2000, A study on the removal characteristics of indoor air using the pollutants air cleaning system, The 2nd Korean Conference on Aerosol and Particle Technology, Yongpyung, pp. 145-146.