

연구논문

실내용 공기청정기 유형별 실내환경개선 성능에 대한 비교평가

나경호 · 손진석 · 성기준* · 장영기**

경기도보건환경연구원, 부경대학교*, 수원대학교**

(2005년 3월 7일 접수, 2005년 4월 30일 승인)

Comparative Efficiency Evaluation of Air Cleaners for Improving Indoor Air Quality

Kyung-Ho Na · Jin-seok Son · Kijune Sung* · Young-Keek Jang**

Gyeonggi-Do Institute of Health and Environment, Pukyong National University*, Suwon University**

(Manuscript received 7 March 2005; accepted 30 April 2005)

Abstract

This study was conducted to evaluate the efficiency of indoor air cleaners and to inform how to select them correctly to the users. The efficiencies of removing suspended bacteria per hour were $64.3 \pm 13.1\%$ for filter, wet, and complex type, respectively, which showed the complex type was the most efficient. The removal efficiencies of formaldehyde (HCHO) after two hours operation of air cleaners showed 88.3% and 81.1% for filter and wet type, respectively. The efficiency of complex type, with removal rate of 55.5~58.4%, was decreased after 30 minutes operation. Therefore, it is recommended to perform over 60 minutes when doing air cleaner certification test for HCHO removal efficiency. Generally, air cleaners having low wind volume showed higher efficiency.

All tested air cleaners had no potential for removing of volatile organic compounds (VOCs), which is toxic substances, and it is desirable to develop a device which can control these substances. The results also confirmed that there was no ozone production from all tested air cleaners. And it is recommended to ventilate for 20 minutes every four hours to maintain 50% ventilation status.

Key words : indoor air cleaner, removal efficiency, ventilation

I. 서론

실내에서 인체로부터 방출되는 오염물질보다 건물 내부에서 발생하는 오염물질이 더 유해성을 가지고 있다는 사실이 이른바 건물증후군(Sick House Syndrome)이라는 이름으로 알려지면서 실내공기오염은 새로운 사회문제로 부각 되고 있다.

실내공기질은 1996년 지하공기질관리법에 의해 몇몇 지하시설에 국한하여 실시되어 왔으나 사회적 관심의 증가로 정부는 2004년 5월 다중이용시설등에 관한 실내공기질관리법을 제정하고 실내공기질에 대한 법적관리에 들어가기에 이르렀다.

가정용 공기청정기는 주로 실내공기의 분진이나 취기제거 및 살균등의 목적으로 제작 시판되고 있다. 그러나 업체마다 채용하고 있는 방식이 서로 다르고 제시된 정보만으로 제품의 특성을 파악키 어려운 점이 있다.

본 연구는 시판되고 있는 일부 공기청정기에 대해 제품들의 특성을 파악하고 실내에 미치는 영향을 파악하기 위해 실시하게 되었다.

II. 재료 및 방법

1. 실험대상

공기청정기의 정화방식은 설비형태에 따라 크게 기계식, 전기식, 복합식으로 구분된다. 기계식은 건식(여과식)과 습식으로 다시 나눌수 있으며 복합식은 여과식과 전기식이 혼재된 방식이라 할 수 있다. 기능별로는 집진, 탈취, 항균 및 살균 등으로 나눌 수 있다. 이들의 기능별 응용기술은 표 1과 같다.

본 연구를 위해 시판중인 공기청정기 중 적용평수 6평 내외의 복합식 3대와 기계식(여과식) 1대, 습식 1대 등 5개 제품(표 2)을 선정하였으며 실험대상항목으로는 실내공기관리법의 유지 및 권고기준 10개 항목 중 부유세균, HCHO, VOC, O₃ 등을 대상으로 하였다. 또한 이들 실험을 위해 1.5m × 1.5m × 1.5m

Table 1. Function and technique of the air cleaners

Function	Application Technique
Dust Removal	Electric precipitator, electric filter, HEPA filter, hybrid filter, wet type, plasma type
Deodorization	Active carbon, photo catalyst filter, water filter
Antibiosis and Disinfection	Catekin of apple and green tea, keto acid, apatite, hinokitiol, negative ion, cluster ion

Table 2. Characteristic of the air cleaners for testing

Model	Application area (pyung)	Type & components	Max. air flow (m ³ /min)
A	5.7	Filter 4step	2.5
B	5.0	Complex 9step	2.2
C	11.5	Complex 11step	5.0
D	7.8	Complex 4step	5.5
E	6.0	Wet 3step	3.0

크기의 아크릴 챔버를 제작하였다.

2. 실험방법

1) 총 부유세균

총 부유세균측정은 총돌식 샘플러를 이용, 100l/min속도로 5분간 흡입하여 아가배지에 총돌시켜 흡착된 부유세균을 항온배양기에서 36℃로 48시간 배양한 다음 세균집락수를 카운팅하였다. 실험공간은 아파트(34평형)를 대상으로 크기가 약 30m³ 인 방 3개를 선정하였다.

2) HCHO

HCHO분석을 위해 크로모토로프산 분석법을 이용하였으며 흡입유량은 100ml/min로 하고 실험의 조건에 따라 500ml~1l의 유량으로 샘플을 채취하였다. 실험을 위해 기 제작한 아크릴 챔버 내부에 공기청정기를 설치한 다음 가동전후의 농도를 비교 평가하는 방식을 취하였다.

Table 3. The operating parameters for GC & ATD

Parameter	Condition
ATD	Perkin elmer Turbo Matrix ATD
Ad. time	10min(total 200ml)
Trap temp.	-30°C~325°C
GC	FID(Perkin Elmer, Autosystem)
Column	50m*0.22mm*1.0μm(BP1)
Carrier gas	He at 1.25ml/min
Inj./Det.temp.	250°C/270°C
Oven temp.	50°C(5min) - 20°C/min
program	-250°C(5min) (total: 20min)

3) VOCs

Benzene, Toluene, p-Xylene을 대상물질로 선정하였으며 Gas chromatography법을 이용하여 챔버 내부에 설치된 공기청정기 가동전후의 총농도를 측정하였다. GC의 분석조건은 표 3과 같다.

4) O₃(Ozone)

공기청정기에서 발생 가능한 오존을 분석하기 위해 동 챔버내에 공기청정기를 설치하고 오존분석기를 이용하여 가동 전후 시간에 따른 오존잔류량을 측정하였다. 오존분석기로는 자외선광도법을 채택하고 있는 일본 DASIBI(모델 : 1008-AH)사 장비를 사용하였다.

5) 미세먼지 및 환기

공기청정협회 인증성적서 및 관련 논문을 이용하여 효율성을 비교 평가하였으며, 34평형 아파트 거실 (약 15평)을 대상으로 환기에 따른 실내환경영향을 밀폐 및 개방시간에 따른 부유세균수 측정을 통해 파악하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 총 부유세균

공기청정기를 각 실험군 방에서 최대풍량으로 1시간씩 가동하며 전후 5분씩 부유세균을 3~4회 포집

하여 기기별 제거효율을 측정된 결과 평균 64.3±13.1%의 효율을 나타내었으며 B가 가장 좋은 효율(77.8%)을 나타냈다(그림 1).

정윤희(2001)에 의하면 공기청정기 30분 가동결과 세균수가 52% 감소하였다고 발표한 바 있는데 본 실험결과와 대체로 일치하였다.

풍량에 따른 환기횟수당 제거효율은 복합식(B) > 습식(E), 여과식(A) > 복합식(C, D)로 나타나 청정기의 풍량이 낮을수록 효율이 좋았으며 B는 같은 타입인 C, D에 비해 풍량 대비 효율이 더 높았다(그림 2).

2. HCHO

HCHO는 방부제로 건축자재에 많이 사용되며 가

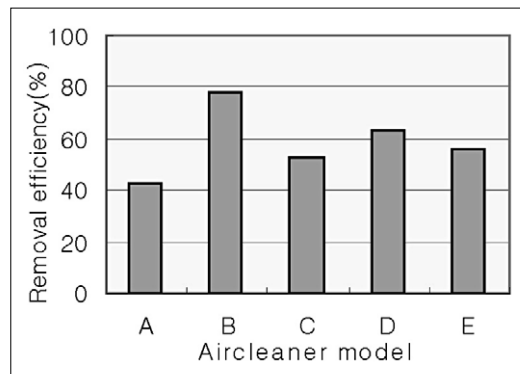


Figure 1. Removal efficiencies of suspended bacteria by air cleaners

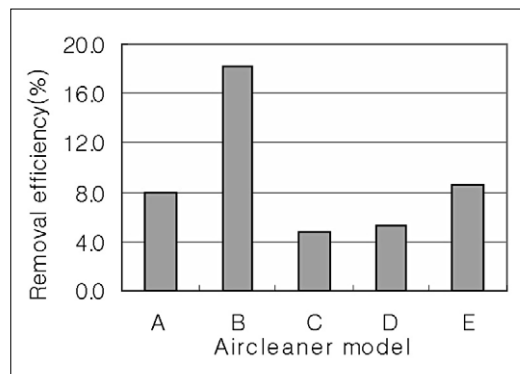


Figure 2. Removal efficiencies of suspended bacteria by ventilation

정에서 신발장이나 새 장롱에서 쉽게 느낄 수 있는 악취물질이다. 챔버에 각각의 공기청정기와 HCHO 표준액을 일정량 넣은 다음 챔버내 HCHO의 농도가 일정농도에 달할 즈음 공기청정기를 최대풍량으로 가동하여 2시간동안 30분 간격으로 챔버안의 잔류 HCHO의 농도를 측정하였다.

그 결과 A와 E는 지속적으로 농도가 감소하는 현상을 나타낸 반면 B, C, D는 초기 30분에는 일시적으로 감소하였지만 시간이 지나며 오히려 증가하는 현상을 나타냈다(그림 3).

한편 가동전후의 시간별 제거율을 파악하였더니(그림 3) A는 초기 30분 후 50.7%에서 2hr 후에 88.3%의 제거율을 나타냈으며 E는 31.0%에서 81.1%의 제거율을 나타낸 반면, B, C, D는 30.6~44.2%에서 55.5~58.4%를 나타내었다.

가동전후의 단순비교시 A와 E가 B, C, D에 비해 제거율이 높아 A와 E는 풍량이 낮음에도 높았으며 B의 경우는 C, D와 차이가 없었다.

각 청정기의 HCHO에 대한 풍량에 따른 제거효율을 물질수지식을 이용하여 규명하여 보았다.

$$C_i = \frac{k(q_0) C_0 + S}{k(q_0 + q_1 F_1)} [1 - e^{-(k/V)(q_0 + q_1 F_1)t}] + C_s e^{-(k/V)(q_0 + q_1 F_1)t}$$

- C_i : indoor concentration
- C_0 : outdoor concentration
- C_s : pollution generation concentration
- k : factor for inefficient mixing
- S : pollutant generation rate
- q_0 : input flow rate,
- q_1 : output flow rate
- F_1 : recirculation air filter efficiency
- V : room volume, t : operating time

위 식을 이용하여 실측치로부터 해당 청정기의 필터효율을 구한 결과 그림 5와 같은 결과를 얻었다. 동 자료는 환기횟수 당 필터의 효율을 나타낸 것으로 A와 E는 대체로 일정한 효율을 유지한 반면 B, C, D는 시간이 지날수록 효율이 감소하는 것을 보여주고 있다. 다만 B의 경우는 효율이 감소하기는 하나 전반적으로 2시간 후의 효율은 E와 유사하였다.

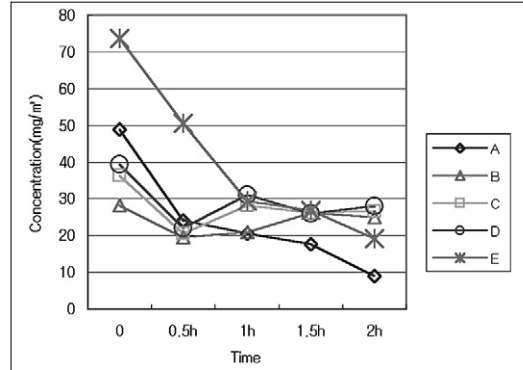


Figure 3. HCHO concentration variations after operating the air cleaners

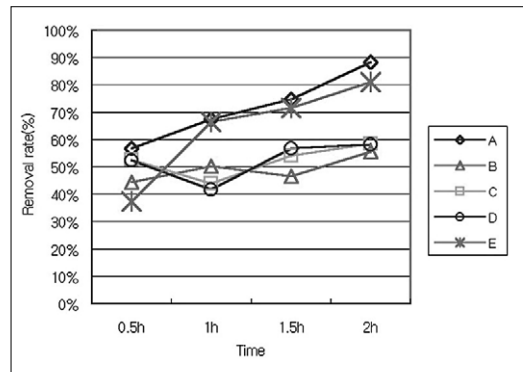


Figure 4. Removal efficiencies of HCHO by hour after operating the air cleaners

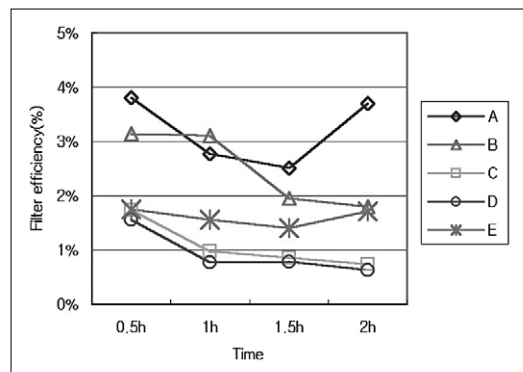


Figure 5. Removal efficiencies of air cleaners by mass balance equation

청정기의 악취인증요건인 가동 30분의 필터효율을 기준으로 실측값과 예측치를 비교한 결과 그림 5의 결과를 얻을 수 있었다.

그림 6의 결과 A와 E는 예측값이 실측값과 대체로 일치하나 B, C, D의 경우에는 30분 이후 예측값이 낮게 나타나 효율이 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 초기 30분간의 필터효율로는 공기청정기의 효율을 판단하는 것이 무리가 있음을 보여준다.

3. VOCs

VOCs 실험은 BTX 표준가스를 챔버에 넣고 균일한 상태로 혼합한 후 공기청정기를 가동하고 전/후의 시간별 그 변화농도를 측정하였다.

조사결과 대상 청정기 모두 오차 범위내 평균치 $1.60 \pm 0.02 \text{ppm}$ 에서 변화가 없는 것으로 나타나(그림 7), BTX에 대한 대상 공기청정기의 제거효능은 미미한 것으로 파악되었다.

이는 활성탄이 박형으로 되어있어 어느정도 흡착 특성이 있을지라도 공기를 흡입될 때 곧바로 탈착되어 버리기 때문으로 추정된다.

4. O₃

흔히 오존은 공기청정기 가동시 전기집진기 또는 음이온발생기에서 생성되는 것으로 알려져 있다. 본 연구대상 중 습식 및 기계식의 경우는 해당이 되지 않으나 복합식은 해당된다고 할 수 있다.

본 실험에서는 습식을 제외한 4종의 청정기에 대해 가동시의 잔류 오존발생여부를 조사해 보았다. 챔버내에서 5hr 가동하며 측정한 결과 대상 청정기 모두에서 가동전과 동일한 오존량이 검출되어 잔류현상이 없었다(표 4).

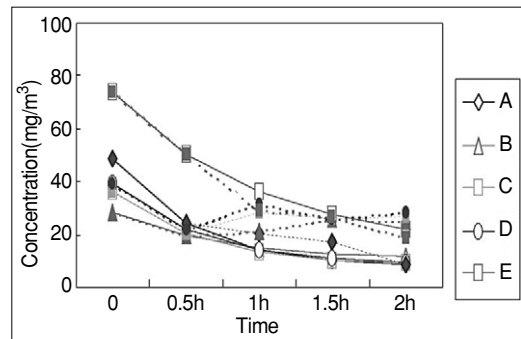
김용진(2004)에 의하면 오존발생량 시험에서 어떤 시험체는 초기 3hr 동안 오존농도가 급격히 증가하다 6hr 후에는 0.05ppm을 초과하였으나 다른 시험체는 24hr 동안 0.01ppm이하의 낮은 농도를 나타내었다고 발표하였다. 한국청정인증협회(2004)는 전기집진방식의 공기청정기에서 오존이 인증기준의

2~7배 가량 발생한 것으로 발표한 바 있다. 이렇게 조사결과가 다른 이유는 대부분의 전기집진기나 음이온발생기가 코로나 방전을 이용하므로 오존발생이 불가피하나 오존의 발생을 줄이기 위해 인가전압을 낮추거나 방전핀 등을 사용하기 때문으로 추정된다.

5. 미세먼지

미 UL의 규정에 의하면 공기청정기의 먼지제거효율은 0.3 μm 의 입자에 대해 70% 이상으로 되어 있다.

본 조사에서는 한국공기청정협회의 인증 성적서



* : estimate data, - : measured data

Figure 6. Removal efficiencies of estimate data and survey data

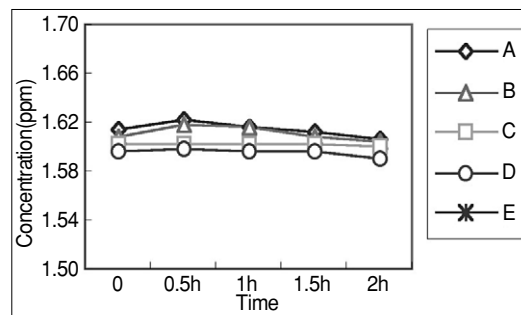


Figure 7. Trend of VOC concentration by the hour after operating the air cleaners

Table 4. Concentration of Ozone after operating air cleaner (unit : ppm)

	A	B	C	D	E
1	0.004	0.005	0.004	0.004	ND

를 인용하여 성능평가를 대신하였다. 조사결과 대상 실험군은 80.2~91.3%(Ave. 86.0±4.9%)로 모두 기준을 만족하는 것으로 나타났다(표 5).

김용진(2004)에 의하면 7대의 모델을 대상으로 한 입경 0.3 μ m에서의 집진효율 조사결과 83.8±9.5%로 발표한 바 있어 본 조사결과와 거의 일치하였다.

Table 5. Removal efficiencies of dust by the air cleaners

division	A	B	C	D	E*
Removal efficiency(%)	91.3	82.6	90.8	80.2	85.2

* : Analytical result 5hrs after operation.

6. 환기 영향

환기를 통해 실내오염물질이 저감되는 정도를 알아보기 위해 총부유세균을 대상으로 34평형 아파트 거실의 환기에 따른 개체수 변화를 조사하였다. 실험은 사람의 활동을 자제한 가운데 실시되었으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

먼저 5시간 밀폐 후 환기시간에 따른 부유세균수를 조사하였으며(그림 8), 이를 감소율로 표기하였더니 5분 후 27%, 10분 후 37%, 15분 후 45%, 30분 후 63%로 나타났다.

또한 밀폐 후 시간에 따른 총부유세균수의 변화를 조사하여 그림 9의 결과를 얻었으며 이를 증가율로

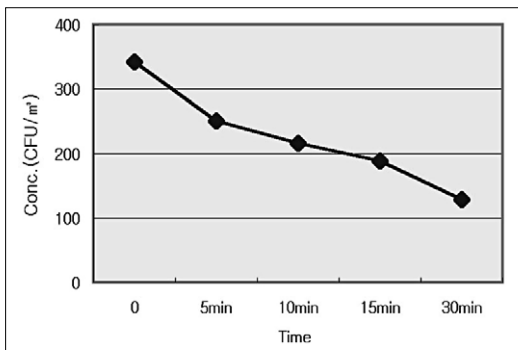


Figure 8. Change of suspended bacteria concentration after ventilation (Temp. 24°C, W/S 0.9m/s, Hum. 81%)

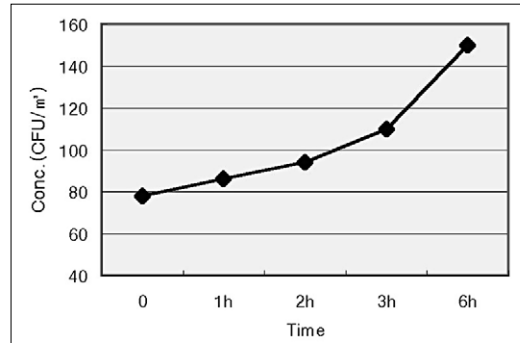


Figure 9. Change of suspended bacteria concentration after closing the ventilation

환산하였더니 1시간 후 10%, 2시간 후 21%, 3시간 후 41%, 6시간 후 92%로 상승곡선을 그렸다.

두 자료와 공기청정기의 가동효율을 적용해 본 결과 약 20분 정도 환기할 경우 약 50%의 부유세균 감소효과가 있는 것으로 나타났으며 이에 준한 환기 간격은 약 4시간으로 나타났다.

이는 또한 공기청정기 1시간 가동결과와 유사한 것으로 나타났다.

IV. 결론

습식, 여과식, 복합식 공기청정기가 실내환경개선에 미치는 영향평가 연구결과 각 실험대상에 대해 다음과 같은 결론을 얻었다.

공기청정기의 총 부유세균에 대한 시간당 제거효율은 평균 64.3±13.1%이었으며 평균 범위내에서 복합식 > 습식 > 여과식순으로 나타났으나 풍량을 고려한 환기횟수당 제거효율은 복합식 B > 습식, 여과식 > 복합식 C, D순으로 나타나 풍량이 낮을수록 효율이 높게 나타났다.

실내악취물질인 HCHO에 대한 제거율은 여과식과 습식은 시간이 지날수록 증가하였으나 복합식은 30분 후에는 효율이 저하되는 것으로 나타났다. 이 결과는 탈취인증평가시간인 30분을 60분 이상으로 늘려야 할 것을 시사하고 있다. 풍량을 고려한 환기 횟수당 제거효율(2hr후)은 여과식(3.7%) > 습식

(1.7%), 복합식B(1.8%) > 복합식C(0.7%), D(0.6%)순으로 풍량이 낮을수록 효율이 높았으며 복합식의 경우 풍량이 낮은 B가 효율이 더욱 높았다. 복합식 C와 D는 풍량이 다른 제품에 비해 컸으나 채용한 단계와 적용평수에 상관없이 효율이 낮게 나타났다.

유해성 물질인 VOCs에 대한 제거효과는 모든 실험군에서 미미하였으며 성능에 대한 보완의 여지가 있는 것으로 보인다.

잔류오존발생여부에 대한 실험에서 모든 실험군에서 가동전과 동일한 오존이 검출되어 오존의 잔류는 없었던 것으로 확인되었다.

실내의 환기에 따른 총부유세균수의 변화율을 조사한 결과 4시간 간격으로 20분 정도 환기 할 경우 50%의 환기상태를 유지할 수 있는 것으로 확인되었다.

참고문헌

공기청정기 공급사 홈페이지.
 구형모, 2002, 일본공조업체의 에어컨에 적용중인 공기청정기술 개발동향, 설비저널, 31(10).
 김석진 외, 공기정화기, 한국과학기술정보연구원.
 김영생, 2004, 가정용 공기청정기 기술 및 시장동향, 설비저널, 33(4).
 김용진, 2004, 실내공기청정기인증을 위한 성능시험방법, 설비저널.
 김용진, 2004, 실내공기청정기 기술개발동향, 한국기계연구원, 설비저널.
 김운신, 2004, 공기청정기 사용에 따른 실내오염물질 제거효과에 관한 연구, 한국대기환경학회.

동화기술, 2004, 대기오염공정시험방법.
 박일호, 2004, 실내공기질정책 및 관측기술, 한국대기환경학회.
 박종훈 외, 2004, 공기청정기 기술의 진보과정과 향후 방향, 설비저널, 33.
 배귀남 외, 2000, 습식 공기청정장치의 공기오염물질 제거특성, 대한환경공학회지, 22.
 서국섭, 2004, 공기청정기의 필요성과 원리, 설비저널, 33(4).
 손부순, 양원호, 2003, 실내공기오염, 신광문화사.
 실내공기청정기 규격, 2004, 한국공기청정협회.
 이순세, 2004, 국내외공기청정기 시장현황 및 개발동향, 설비저널.
 이창환, 새집증후군, EBN 산업정보.
 장원무역, 실내공기청정기용 기술자료집.
 정윤희, 2001, 생활환경과 실내공기의 미생물학적 오염에 관한 연구, 한국환경위생학회지, 27(2).
 홍천수, 2002, 실내환경오염이 거주자의 건강에 미치는 영향평가 및 예방모델개발, 한국보건산업진흥원.
 환경부, 2004, 실내공기질공정시험방법.
 池田耕一, 실내공기오염의 메카니즘, 동화기술.
<http://www.water-air.com>.
http://eel.me.pusan.ac.kr/lecture/aerosol_1/note/CH6.HWP.