

공기청정기 CA 규격성능시험 결과 분석 및 가스시험 변별력 향상 방안연구

김학준¹⁾ · 한방우¹⁾ · 김용진^{1)*} · 차성일²⁾

¹⁾한국기계연구원 그린환경기계연구본부, ²⁾한국공기청정협회
(2011년 8월 1일 투고, 2011년 9월 16일 수정, 2011년 9월 20일 게재확정)

Analysis of CA Certification Performance Test Results and Improvement of CA Test Method for a Better Differentiation of Gas Removal Performances for Room Air Cleaners

Hak-Joon Kim¹⁾ · Bangwoo Han¹⁾ · Yong-Jin Kim^{1)*} · Sung-Il Cha²⁾

¹⁾*Environmental Systems Research Division, Korea Institute of Machinery & Materials(KIMM)*

²⁾*Korea Air Cleaning Association*

(Received 1 August, 2011; Revised 16 September, 2011; Accepted 20 September 2011)

Abstract

In this study, we organized the test results obtained from the performance tests for the CA certificated air cleaners which had been commercially available in Korea since 2003, and analyzed the correlation among the test parameters such as flow rate, particle collection efficiency, clean air delivery rate (CADR), ozone emission, odor removal efficiency and noise level etc. The noise level of 267 air cleaners were increased as concentrated at the 45, 50, 55 dB, which are the required noise level for CA certification according to flow rate, and ozone emissions from the CA air cleaners were significantly lower than the requirement limit, 50 ppb for 24 hour operation. The average particle collection efficiency and odor removal efficiency were 89.3 and 80.8%, approximately 20% higher than the requirement of CA certification, regardless of flow rates. The particle removal performance of an air cleaner was clearly discriminated by its CADR, and the CADR was obtained with a simple calculation: $0.79 \times \text{flow rate}$. The low differentiation of gas removal performance of air cleaners by the current CA gas test method was improved by 3.2, 751.3, 13.4 times for ammonia, acetic acid, respectively, by adopting the CADR concept and the real time measurement method, FTIR, for gas removal performance test.

Keywords : Air cleaner, CA certification performance test, Particle removal, Gas removal, CADR, Differentiation.

* Corresponding author.

Tel : +82-42-868-7475, E-mail : yjkim@kimm.re.kr

1. 서 론

산업화와 도시화 이후 각종 건축물에서 에너지 절약 및 효율을 높이기 위해 단열화 및 밀폐화가 강화됨에 따라 실내에서 발생된 오염 공기가 외부 공기와의 교환 없이 실내에서 계속적으로 순환되면서 실내 공기의 질이 악화되고 있다. 외부에서 실내로 유입되는 오염물질 외에도 실내 건축물 또는 가구 등에서 배출되는 유해 오염물질로 인해 실내 오염물질의 농도는 지속적으로 증가하고 있으며, 사람들은 도시생활환경에서 하루 시간의 80~90%를 실내에서 생활하고 있기 때문에 실내 오염원에 노출될 확률이 매우 높아지고 있다(Burge, 2004). 최근 들어 이러한 실내 오염물질의 오염농도가 점차 증가하여 장시간 실내 활동을 하는 사람 중에 두통, 현기증, 안질, 후두염 등 건물증후군(SBS; Sick Building Syndrome)이라는 질병의 발생 사례가 보고되고 있다(Brown *et al.*, 1994; Zhang and Smith, 2003; Zuraimi *et al.*, 2006; Li *et al.*, 2007; Guieysse *et al.*, 2008).

외부환경과 차단되어 실내오염물질의 외부배출이 제한적인 실내환경에서 증가된 실내오염의 저감을 위해 공기청정기의 사용이 급증하고 있다. 공기청정기는 오염물질 제거방식에 따라 기계식과 전기식 및 복합식으로 분류할 수 있다. 기계식은 집진필터를 이용하여 입자를 제거하는 필터식(filter type), 전기식은 고전압으로 공기를 이온화하는 원리로서 집진판의 유무에 따라 전기집진식(electrostatic precipitation type)과 음이온식(ionizer type)으로 분류할 수 있다. 복합식(complex type)은 기계식과 전기식 공기청정기의 집진원리가 복합되어 적용되는 경우를 말한다(Kim *et al.*, 2008). 국내에서는 이러한 공기청정기의 미세입자 제거 성능 평가를 위해 한국공기청정협회(Korea Air Cleaning Association, KACA) 공기청정기 성능 규격(SPS-KACA002-132, 2006) 및 한국산업표준 공기청정기 규격(KS C 9314공기청정기, 2010)을 제정하여 운영 중에 있고, 국외에서는 미국의 AHAM(Association of Home Appliance Manufacturers) 규격(ANSI/AHAM AC-1-2006, 2006)과 일본의 JEMA(The Japan Electrical Manufacturers' Association) 규격(JEM 1467, 1995) 등을 제정하여 운영하고 있다. 한국기계연구원은 2003년부터 현재까지 한국공기청정기 협회 규격 성능 시험 기관으로 지정되어 국내에

서 시판되고 있는 국내외 공기청정기에 대한 성능 인증 시험 업무를 수행하고 있다. 성능 인증 결과는 공기청정기 제조사에 개별적으로 통보되며, 아직까지 성능 인증 현황 및 성능 결과 전체에 대한 종합적 분석의 보고 사례는 없었다.

본 연구에서는 국내외 공기청정기 대상으로 2003년부터 수행해 온 한국공기청정협회 공기청정기 규격 성능 시험 결과를 종합 분석하였으며, 특히 풍량, 집진효율 등의 청정기 사양 및 필터 종류 등 공기청정기 운전 조건에 따른 성능을 비교 분석하여 운전 조건이 공기청정기의 주요 성능인 입자상 및 가스상 물질 제거 성능, 오존 발생량, 소음 발생치 등에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고자 하였다. 또한, 현재 규격의 공기청정기 성능 변별력에 대한 문제점을 분석하고, 성능 변별력을 높이기 위한 효과적인 시험 방안을 제시하고자 하였다. 이를 통해 공기청정기 제작 및 판매업체 관계자 및 연구기관의 공기청정기 연구자들에게는 공기청정기 개발 동기를 자극시키고, 대중에게는 성능이 좋은 공기청정기를 선택하는데 필요한 정보를 제공하고자 하였다.

2. 실험 방법

Table 1은 국내에서 시판되고 있는 국내외 공기청정기가 CA 마크 인증을 획득하기 위한 한국공기청정협회 공기청정기 성능 규격 시험에 대해 개략적으로 나타내었다. 공기청정기 성능시험 항목에는 풍량, 집진효율, 입자청정화능력, 탈취효율, 오존발생량 및 소음 시험이 있으며, 표의 시험 설비 및 조건에서 성능시험을 수행하며, 시험항목 중 집진효율 70% 이상, 탈취효율 60% 이상, 24시간 기준 최대 오존발생량 50 ppb 이하, 풍량별 소음발생치 45-55 dB 이하와 같은 기준치가 있어 이 기준치에 부합하는 공기청정기에 대해 CA 마크를 부여하고 있다. 자세한 성능 시험 방법은 다음과 같다.

2.1 풍량 및 집진효율 시험

Fig. 1은 풍량 및 집진효율 시험 설비 구성도를 나타내었다. 풍량 측정 시험은 공기청정기를 0.6×0.6m² 단면의 덕트에 장착시켜 정격 주파수, 정격 전압으로 운전시킨 후 덕트 최종단에 장착된 오리피스 또

Table 1. Brief description about the CA certification test of Korea Air Cleaning Association for room air cleaners.

CA tests	SPS-KACA002-132 (Korea Air Cleaning Association)
Flow rate	- A test duct(0.6×0.6m ³) - No requirement for CA certification
Collection Efficiency	- Potassium Chloride particles, based on number concentration of the 0.3μm particles - Requirement for CA verification : more than 70%
Clean Air Delivery Rate	- A closed chamber (40±10m ³), Potassium Chloride particles, based on number concentration of the 0.3μm particles - Initial concentration : 10 ⁸ - 10 ⁹ #/m ³ - During time when the particle concentration reaches 1/3 of the initial - No requirement for CA certification
Odor removal efficiency	- A closed chamber (4±0.1m ³), Ammonia, acetic acid, Acetaldehyde - Initial concentration : 10-13 ppm - Requirement for CA certification : more than 60%
Ozone emission	- A closed chamber (40±10m ³), 24hours - Requirement for CA certification : less than 50 ppb
Noise level	- A anechoic room, 1 m from the top, front, back, right, left side of an air cleaner - Requirement for CA certification : less than 45 dB(~5 m ³ /min), 50 dB(5-10m ³ /min), 55 dB(10m ³ /min)

는 노즐형 유량계를 이용하여 최대 풍량을 측정한다. 집진효율 시험의 경우에는 풍량 시험과 동일하게 공기청정기를 덕트에 장착시킨 후 공기청정기 전단에 10⁸~10⁹개/m³ 농도의 염화칼륨입자(KCl, Potassium Chloride aerosol)를 발생시키고, 공기청정기 전·후단부 덕트로 부터 입자샘플링을 하여 광산란식 입자계수기(Aerosol Spectrometer, Model 1.109, Grimm, Germany)로 입자 수농도를 교대로 측정 한 후 0.3μm 입경을 포함하는 채널의 입자 수농도를 이용하여 다음 식으로부터 평균 집진효율을 산출한다.

$$\eta = \left(1 - \frac{C_o}{C_i}\right) \times 100$$

여기서, η : 집진효율(%), C_o : 하류 측 수농도(#/m³), C_i:상류 측 수농도(#/m³)

2.2 입자청정화능력 및 적용면적 시험

Fig. 2는 입자청정화능력 시험 개략도를 나타내었다. 입자청정화능력 시험은 일정 크기의 챔버에서 공기청정기를 가동시킬 때, 일정 시간 동안의 입자 농도 감소 빠르기를 측정하는 시험으로, 공기청정기 운전 에 의한 입자농도와 자연감소에 의한 입자농도

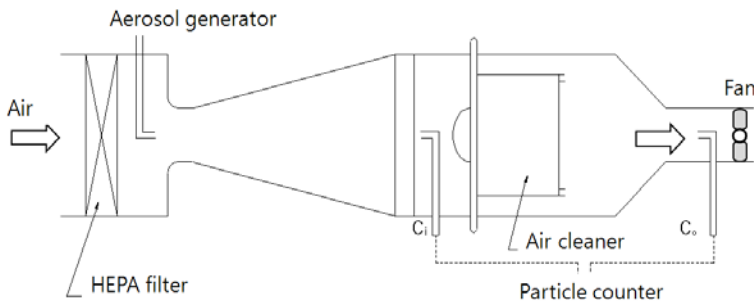


Fig. 1. Experimental schematic of flow rate and particle collection efficiency tests.

변화를 측정한다. 40±10m³의 시험챔버 벽면에서 5~10cm, 바닥에서 75cm 위치에 공기청정기를 설치한 후, 0.3µm 채널의 입자 수농도가 10⁸~10¹⁰개/m³에 도달할 때까지 시험입자 공급장치(Atomizer, Model 3076, TSI, USA)로 KCl 입자를 발생시켜 공급한 후 공기청정기를 최대풍량으로 운전시키면서, 바닥으로부터 120cm에 설치된 샘플링 튜브를 이용해 입자 농도를 입자계수기로 측정한다. 시험 시간은 0.3µm 채널의 입자농도가 그 채널의 초기 농도의 1/3이 되는 시점까지 수행하며, 자연감소 및 운전감소 시의 초기 및 최종 시간 수농도를 이용하여 다음 식으로부터 청정화능력 값(Clean Air Delivery Rate, CADR)을 산출한다.

$$CADR = -\frac{V}{t} \left(\ln \frac{C_{t2}}{C_{t1}} - \ln \frac{C_{t1}}{C_{t0}} \right)$$

여기서, V: 시험챔버의 체적(m³), t: 공기청정기 운전 시 입자농도가 초기농도의 1/3에 도달하는 경과시간(min), C_{t1}: 자연감소 시 측정개시점 t=0에서의 0.3µm 입경구간 평균입자농도(#/m³), C_{t0}: 자연감소 시 측정시간 t에서의 0.3µm 입경구간 평균입자농도(#/m³), C_{t2}: 운전감소 시 측정개시점 t=0에서의 0.3µm 입경구간 평균입자농도(#/m³), C_{t2}: 운전감소 시 측정시간 t에서의 0.3µm 입경구간 평균입자농도(#/m³)

청정화능력값으로부터 자동적으로 산출되는 적용면적 A(m²)는 1시간당 1회의 자연환기 조건에서 공기청정기를 10분 동안 가동시켜 실내입자농도를 초

기농도의 50 %로 낮출 수 있는 방의 크기를 기준으로 한 것으로 이때 천장 높이를 2.4m로 할 경우, A=7.92×CADR로 산출할 수 있다.

2.3 탈취효율 시험

Fig. 3은 탈취효율 시험 개략도를 나타내었다. 탈취효율 시험은 일정 크기의 챔버에서 공기청정기를 가동시킬 때, 30분 운전 동안의 농도 감소량을 측정하여 효율을 산출하는 시험으로, 4m³ 시험 챔버 중앙의 바닥에서 75cm 위치에 공기청정기를 설치한 후, 암모니아(NH₃), 초산(CH₃COOH), 아세트알데히드(CH₃CHO)를 버블러 및 전기 히팅방식으로 발생시켜 챔버 내 각각의 가스 농도가 10~13 ppm에 도달할 때까지 공급한 후, 검지관을 이용하여 초기 가스 농도를 측정하고, 공기청정기를 최대 풍량으로 운전 30분 운전 후 챔버 내 가스 농도를 측정한다. 각 가스 제거효율 및 탈취효율은 다음 식으로부터 산출한다.

$$\eta_i = \left(1 - \frac{C_{i,30min}}{C_{i,0min}} \right) \times 100, \eta_T = \left(\frac{\eta_1 + 2\eta_2 + \eta_3}{4} \right)$$

여기서, η_i: i 가스 제거효율 (%), C_{i,30min}: 공기청정기 운전 30분 후 i 가스농도, C_{i,0min}: 초기 챔버 내 i 가스농도, η_T: 탈취효율 (%), η₁: 암모니아 제거효율, η₂: 아세트알데히드 제거효율, η₃: 초산제거효율

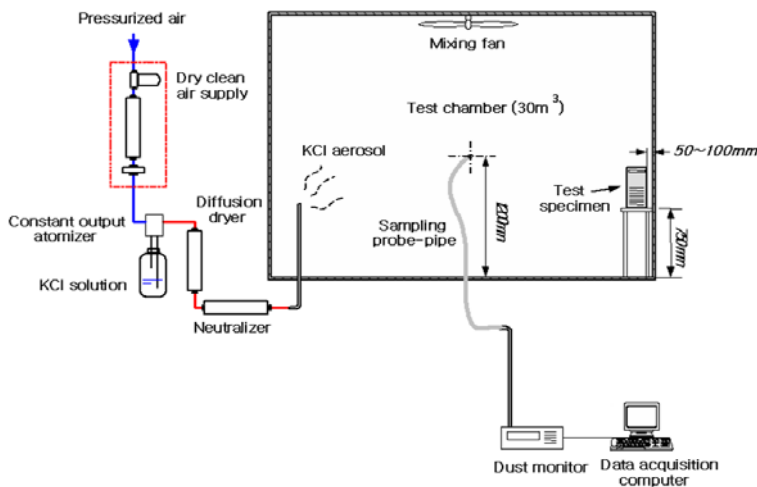


Fig. 2. Experimental schematic of CADR(Clean Air Delivery Rate) test for particle removal performance of room air cleaners.

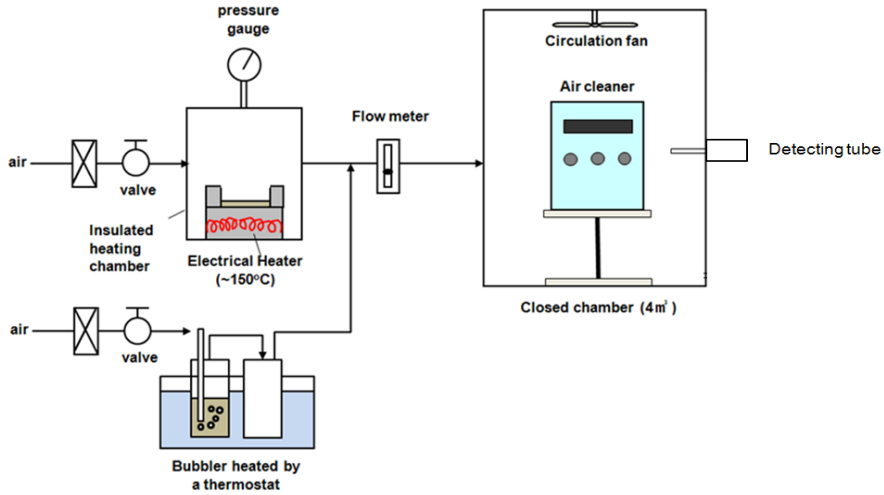


Fig. 3. Experimental schematic of odor removal efficiency test.

2.4 오존 발생량 및 소음 시험

오존 발생량 시험은 일정 크기의 챔버에서 공기 청정기를 24시간 가동 시켰을 때, 공기청정기로부터 발생하는 최대 오존량을 측정하는 시험으로, Fig. 2의 청정화능력 시험 챔버에 공기청정기를 최대풍량으로 운전시킨 후 공기청정기 토출구로부터 5cm 위치에서 실시간 오존 측정장치(Photometric O₃ Analyzer, Model 400E, TeledyneInstruments, USA)를 이용하여 오존 농도를 측정한다. 소음 시험은 무향실에서 공기청정기를 설치하여 최대풍량으로 운전시켰을 때, 공기청정기 전후, 좌우, 상부로부터 1 m 지점에서의 소음값을 측정하여 평균값을 취한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 공기청정기 CA 인증 현황 분석

본 연구에서는 한국기계연구원에서 지난 2003년부터 2010년까지 국내에서 시판되어 온 공기청정기에 대한 성능 시험 결과를 종합적으로 분석하였고, Table 2와 Fig. 4에 CA성능 시험 현황을 나타내었다. 황사, 자동차 배기가스와 같은 대기 오염물질에 의한 실내 공기질 악화로 인해 국민의 IAQ에 대한 관심이 증가하면서, 제조사 및 인증대수는 2006년까지 21개사 60대로 급격히 증가하였으나, 그 이후 비 CA 인증 모델 중 전기집진식 공기청정기에서 배출되는 기준치 이상의 오존발생량에 대한 언론 보도

Table 2. Number of applicants and air cleaners which were tested by the CA certification test of Korea Air Cleaning Association for room air cleaners from 2003 to 2010.

Test period (Year)	Number of applicants and tested air cleaners
2003	15 companies (27 models)
2004	20 companies (45 models)
2005	21 companies (60 models)
2006	16 companies (23 models)
2007	14 companies (25 models)
2008	13 companies (32 models)
2009	12 companies (25 models)
2010	10 companies (20 models)
SUM	64 companies (267 models)

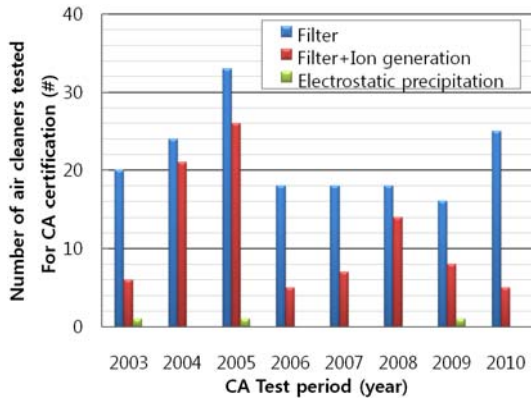


Fig. 4. Number of air cleaners which were tested for CA certification, according to the filtration type of the air cleaners.

로 인해 CA 인증 시험 의뢰 업체 수는 30~50%, 인증대수는 50% 이하로 급격히 감소하였다. Fig. 4는 연도별 공기청정기의 집진 방식에 따른 CA 인증 현황을 나타내었다. CA 인증을 획득한 공기청정기의 집진방식 55~84%는 필터식이며, 일부의 방식이 이온발생 기능이 추가된 복합식임을 알 수 있고, 전기 집진식의 경우, CA인증 사업을 시작한 2004년부터 현재까지 2모델 밖에 인증을 획득하지 못한 실정이다. 이는 전기집진식 공기청정기는 표 1의 공기청정기 CA 인증 성능 기준치 중 집진효율 70%와 24시간 운전기준 최대 오존 발생량 0.05 ppm 기준을 동시에 만족할 수 있는 기술적 한계가 있기 때문인 것으로 판단된다.

3.2 공기청정기 풍량, 소음 발생치 및 오존 발생량 분석

Fig. 5는 한국기계연구원에서 CA 인증 시험을 받은 공기청정기 267 모델에 대한 연도별 풍량 변화를 나타내었다. 연도별 평균 풍량은 3.8, 4.3, 5.8, 5.0, 4.9, 7.0, 6.2, 6.4m³/min이었으며, 2005년 이후부터 10 m³/min이상급 대형 공기청정기가 CA 인증을 획득한 것으로 나타났다. Fig. 6은 풍량에 따른 연도별 소음 발생치 변화를 나타내었다. 연도별 공기청정기 평균 소음발생치는 2003년부터 2010년까지 45.8, 43.5, 47.2, 46.2, 46.1, 48.0, 46.6, 46.9 dB이었으며, 한국공기청정협회가 CA 마크 인증 사업을 시작한 2004년부터 소음발생치가 공기청정기의 풍량에 따라 계단식으로 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 표 1에서와

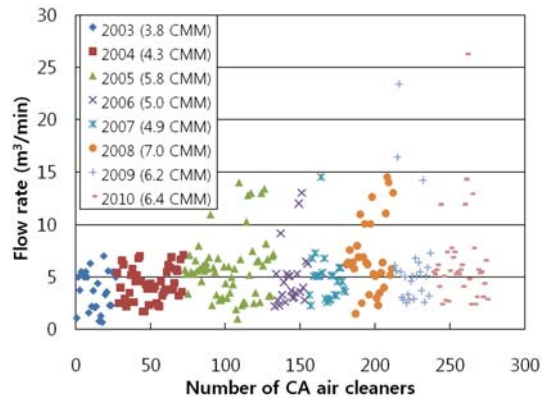


Fig. 5. Summary of flow rate test results of 267 air cleaners for 8 years since 2003.

같이, CA 인증 획득을 위한 소음기준치가 0~5 m³/min급 소형공기청정기의 경우 45 dB 이하, 5~10 m³/min급 중형공기청정기의 경우 50 dB 이하, 10 m³/min이상급 대형공기청정기의 경우에는 55 dB 이하로 기준을 설정되어 있어 공기청정기의 풍량에 따라 해당 기준 값 부근에 소음발생치가 집중적으로 분포되어 있기 때문이다. 공기청정기의 성능은 실내 공간에서의 공기정화 횟수와 관계가 있는 풍량에 크게 의존하지만, 풍량이 클 경우 소음 발생치가 높기 때문에 공기청정기 제조사가 공기청정기를 개발시 풍량별 소음기준치에 근접한 성능으로 풍량을 최대한 늘리고 있는 것으로 판단된다.

Fig. 7은 CA 인증 공기청정기 267 모델에 대한 풍

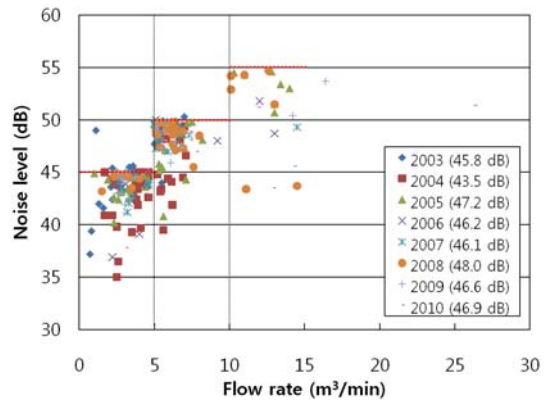


Fig. 6. Summary of noise level test results of 267 air cleaners for 8 years since 2003, according to flow rate.

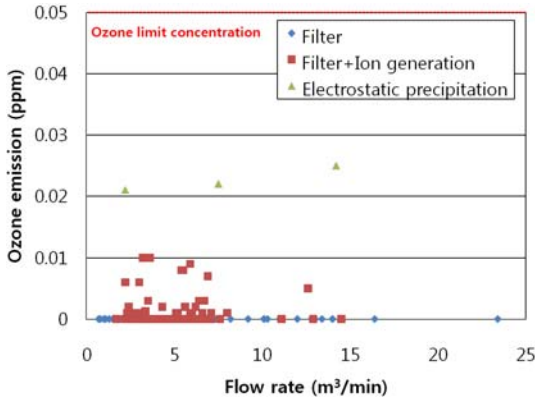


Fig. 7. Summary of ozone emission test results by the filtration type of 267 air cleaners for 8 years, according to flow rate.

량에 따른 공기청정방식별 최대오존량 발생량을 비교하였다. 필터식 공기청정기의 경우 모든 공기청정기가 오존을 전혀 발생시키지 않았으며, 이온발생기능이 추가된 일부 복합식 공기청정기의 경우 기준치 0.05 ppm 의 1/5 수준 이하의 최대오존 발생량을 나타내었다. 특히, 2004년 이후 인증을 획득한 2대의 전기집진식 공기청정기 모델의 경우 오존이 0.02 ppm 이상 발생하였으나, 기준치의 1/2 수준으로 낮았다.

3.3 공기청정기 입자제거 성능 분석

Fig. 8은 CA 인증 공기청정기 267 모델에 대한 풍량에 따른 연도별 집진효율 변화를 나타내었다. 연도별 집진효율은 2003년부터 2010년까지 86.6, 85.6, 91.0, 88.8, 90.2, 89.7, 90.1, 92.6%이었으며, 모든 공기청정기가 풍량에 관계없이 CA 인증 집진효율 기준치인 70%를 약 15~20% 상회하는 집진필터를 사용하는 것으로 확인되었다. 또한, CA 인증을 시작한 2004년부터 2010년까지 인증된 공기청정기의 집진효율의 상대표준편차를 산출한 결과, 7.2%로 매우 낮았다. Fig. 9는 CA 시험 규격으로 평가받은 공기청정기에 대한 풍량에 따른 연도별 청정화능력값 변화를 나타내었다. 연도별 청정화능력값은 2003년부터 2010년까지 2.9, 3.3, 4.5, 3.8, 4.0, 5.7, 4.2, 5.4 m³/min이었으며, 풍량에 대해 선형적인 관계가 있었다. 공기청정기의 실내 공간에서의 동적 입자상물질 정화능력을 평가하는 청정화능력값은 이론적으로 집진

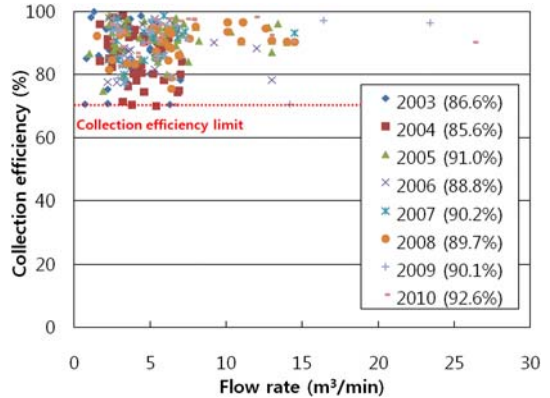


Fig. 8. Summary of collection efficiency test results of 267 air cleaners for 8 years since 2003, according to flow rate.

효율과 풍량의 곱에 비례하지만, Fig. 8에서와 같이 CA 인증 공기청정기의 집진효율이 풍량에 관계없이 일정하기 때문에 풍량과 청정화능력값이 비례하는 것으로 판단된다(Niu *et al.*, 1998; Chen *et al.*, 2005). 특히, Fig. 9에서 보는 것과 같이, CA 인증 공기청정기의 청정화능력값은 최대풍량에 0.79를 곱하여 예측할 수 있으며, 2004년 이후 CA 인증을 받은 공기청정기 청정화능력값의 상대표준편차를 산출한 결과, 58.3%로 집진효율에 비해 성능 변별력이 우수함을 알 수 있었다. 따라서, 소비자가 입자제거성능 측면에서 공기청정기를 선정할 시 청정화능력값을 비교하는 것이 최선임을 알 수 있다.

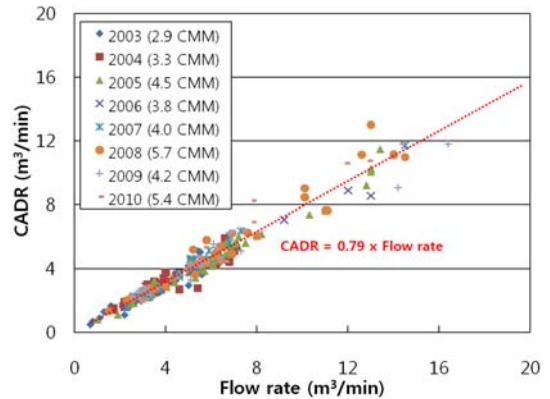


Fig. 9. Summary of Clean Air Delivery rate test results of 267 air cleaners for 8 years since 2003, according to flow rate.

3.4 공기청정기 가스제거 성능 분석

Fig. 10은 공기청정기 267 모델에 대한 풍량에 따른 연도별 탈취효율 변화를 나타내었다. 연도별 집진효율은 2003년부터 2010년까지 12.8, 76.9, 83.4, 81.0, 78.8, 81.1, 81.1, 82.6%이었으며, 한국공기청정협회가 CA 마크 인증 사업을 시작한 2004년부터 모든 공기청정기가 풍량에 관계없이 탈취효율 기준치인 60%를 약 20% 상회하는 탈취필터를 사용하는 것으로 확인되었다. 또한, CA 인증을 시작한 2004년부터 2010년까지 인증된 공기청정기의 탈취효율의 상대표준편차를 산출한 결과, 12.4%로 집진효율에 비해서는 높았으나, 정정화능력값에 비해서는 1/5 수준으로 낮았다. 따라서, 현재 CA 인증 성능시험의 탈취효율로는 소비자가 공기청정기를 선정할 시 가스 제거 성능 측면에서 공기청정기를 효율적으로 변별할 수 있는 방안이 필요할 것으로 판단된다.

3.5 공기청정기 가스제거 성능 변별력 향상 방안

Fig. 11은 국내 공기청정기 대표적인 제조사의 5.0 및 7.0 m³/min 풍량의 공기청정기의 운전 시간에 따른 농도/초기농도(C_t/C₀)의 로그값 감쇄선을 비교하였다. 두 공기청정기가 풍량이 다름에도 불구하고, 아세트알데히드를 제외하고 암모니아와 초산 제거효율을 공기청정기 작동시점과 30 분 후 시점의 농도를 이용하여 산출하게 되면, 7.2m³/min의 경우 암모니아 98%, 초산 99% 이고, 5.0m³/min의 경우 암모니아 99%, 초산 99%로 두 공기청정기간 효율차이가 1%

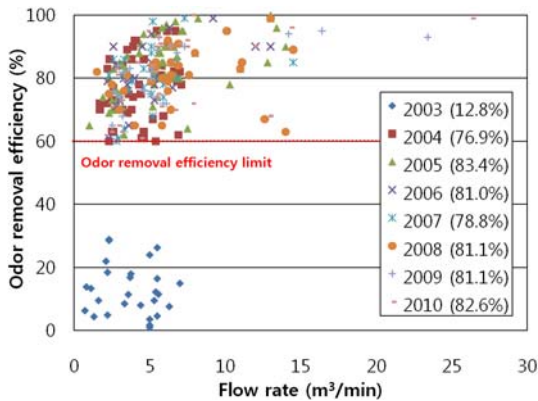


Fig. 10. Summary of odor removal efficiency test results of 267 air cleaners for 8 years since 2003, according to flow rate.

이하인 것을 알 수 있다. 또한, 기존 CA 규격의 탈취 효율 산출 방식을 적용하면 두 공기청정기의 탈취효율은 7.2m³/min의 경우 79%, 5.0m³/min의 경우 76%로 3% 차이 밖에 보이지 않는 것을 알 수 있다. 한편, Fig. 11에서와 같이, 농도 값의 로그값의 감쇄 속도 (dC/dt)를 확인하여 보면, 7.2m³/min의 공기청정기가 5.0m³/min 공기청정기에 비해 3가지 시험 가스에 대해 모두 빠른 것을 알 수 있다. Fig. 12는 국내 공기청정기 대표적인 제조사 3곳의 공기청정기 18 모델을 대상으로 암모니아, 초산, 아세트알데히드 각각 가스에 대한 공기청정기 가스 제거효율을 측정된 결과를 나타내었다. Fig. 11과 마찬가지로 아세트알데히드를 제외한 두 가스에 대한 공기청정기의 제거효율이 90%이상으로 매우 높게 나타나 다양한 제조사 및 제품별로 암모니아, 초산 제거 성능간 변별력이 거의 없음을 알 수 있다. 따라서 공기청정기의 풍량, 탈취필터 사양 등 운전 조건 및 대상가스 종류가 상이하여 가스 제거 성능간 차이가 발생함에도 불구하고 기존 CA 인증 탈취효율 시험방법으로 성능 차이를 명확히 변별할 수 없다는 것을 알 수 있다.

앞서 설명한 것과 같이, CA 공기청정기의 입자상 물질 제거 성능은 입자청정화능력을 통해 쉽게 변별할 수 있지만, 가스상물질 제거 성능은 기존 탈취효율로 변별할 수 없다는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서는 풍량, 탈취필터 종류, 사양 등이 다른 다양한 공기청정기의 탈취 성능을 명확히 변별하기 위한 방안으로 입자청정화능력시험에서 사용되는 청

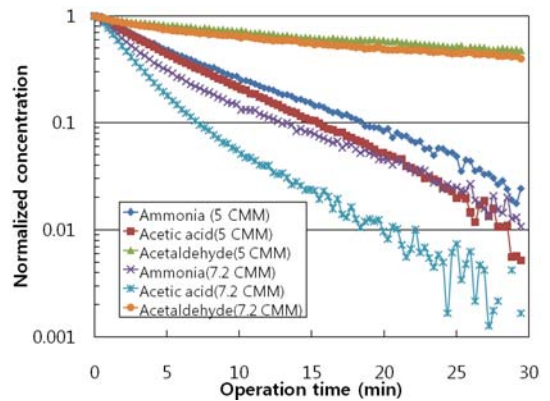


Fig. 11. Log-normalized gas concentration as a function of time for the same company air cleaners with different flow rates.

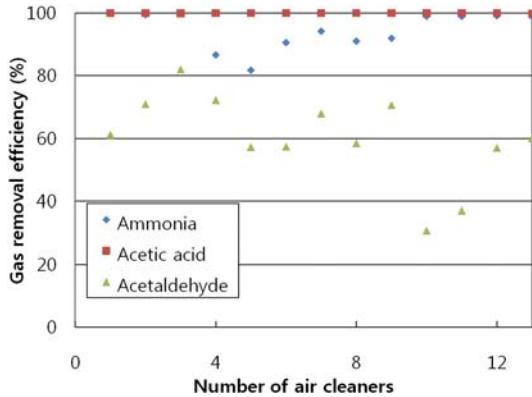


Fig. 12. Gas removal efficiencies of 18 air cleaners for three gases, calculated using the current CA test method.

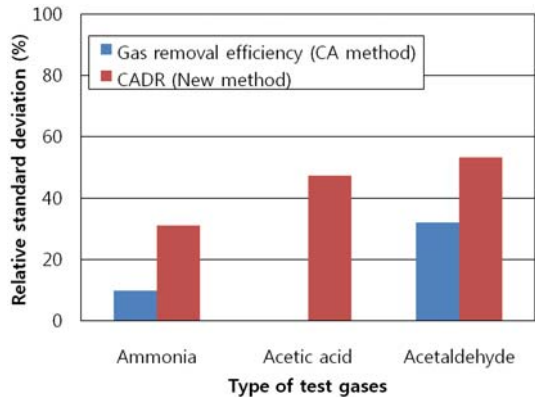


Fig. 14. Relative standard deviations of the gas removal efficiencies and the CADRs of 13 air cleaners for three gases.

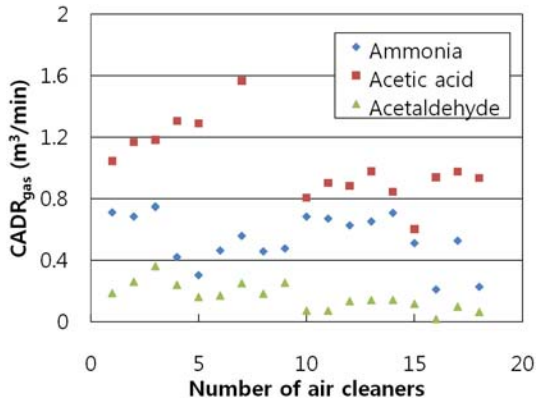


Fig. 13. CADRs of 18 air cleaners for three gases, calculated using the new gas test method.

정화능력 개념을 탈취성능 시험에 도입하고자 하였다. 본 연구에서는 가스청정화능력값을 산출하기 위해 기존 CA 인증 시험에서 사용되는 검지관이 아닌 NIOSH와 EPA에서 사용되는 실시간 가스 농도 측정 장치인 FTIR(Fourier Transform Infrared spectrometer, Model I4000, Midac, USA) 및 CA 인증 입자청정화능력 산출방식과 유사한 AHAM의 청정화능력 계산 방식을 적용하여 공기청정기 가스청정화능력을 평가하였다(EPA Test method 318, 1999; EPA test method 320, 1998; NIOSH method 3800, 2002). 본 시험에 사용된 가스청정화능력 시험 설비는 Fig. 3과 동일하며, 측정장비를 검지관에서 FTIR로 대체하였다. Fig. 13은 국내 공기청정기 대표적인 제조사 3곳

의 공기청정기 18 모델을 대상으로 암모니아, 초산, 아세트알데히드 가스에 대한 새롭게 도입된 가스청정화능력값을 측정된 결과를 나타내었다. Fig. 12와 달리, 암모니아 가스의 경우 0.2~0.8m³/min, 초산의 경우, 0.6~1.6m³/min, 아세트알데히드의 경우 0~0.4 m³/min으로 가스 및 공기청정기 종류별로 가스청정화능력값이 고르게 분포하였다. Fig. 14는 공기청정기 18 모델을 대상으로 암모니아, 초산, 아세트알데히드 가스에 대한 기존 CA 성능시험 가스 제거효율 결과와 새롭게 도입된 가스청정화능력 결과의 상대 표준편차를 나타내었다. 기존 CA 탈취성능 시험으로부터 측정된 18모델의 가스제거효율값의 대표 표준편차는 암모니아 9.8%, 초산 0.06%, 아세트알데히드 32% 이었으며, 가스청정화능력의 대표 표준편차는 암모니아 31.1%, 초산 47.3%, 아세트알데히드 53.2% 이었다. 즉, 가스청정화능력 시험방법을 공기청정기의 가스 제거 성능 시험방법으로 적용할 경우, 공기청정기 및 가스 종류별 가스 제거성능 변별력은 암모니아 3.2배, 초산 751배, 아세트알데히드 1.7배 높일 수 있었다. 이로써, 본 연구에서 사용된 새로운 가스 제거 성능 시험 방법으로부터 측정된 가스청정화능력값을 이용하여 공기청정기 제조사는 개발되는 제품에 적용되는 가스 제거 기술 및 사양별 가스 성능 향상 정도를 명확히 평가할 수 있으며, 소비자 입장에서는 가스정화 기능 측면에서 우수한 성능의 공기청정기를 선택할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 국내외 공기청정기 대상으로 2003년부터 수행해 온 한국공기청정협회 공기청정기 규격 성능 결과를 종합 분석하였으며, 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 2003년 이후 CA 공기청정기 성능 인증 시험을 받은 공기청정기는 총 267 모델이며, 대표적인 집진 방식은 공기청정기 오존 발생문제로 인해 필터식이었고, 연도별로 전체 CA 인증 공기청정기의 55~84%를 차지하였다.

(2) CA 공기청정기의 소음발생치는 공기청정기 풍량에 따라 해당 기준 값 부근에 집중적으로 분포되었으며, 이는 공기청정기 풍량이 공기청정기의 공기정화 기능과 밀접한 관계가 있기 때문에 공기청정기 제조사가 공기청정기 개발 시 풍량을 소음 기준치에 근접하도록 최대한 높이는 것으로 판단된다.

(3) CA 인증을 받은 복합식 및 전기식 공기청정기는 24시간 운전 기준의 최대 발생 오존 농도 0.05 ppm의 1/5 및 1/2 수준으로 거의 오존을 발생시키지 않았다.

(4) CA 인증을 받은 공기청정기의 8년간 평균 집진효율은 89.3%로 CA 기준치 70%를 약 20% 상회하였으며, 공기청정기 풍량과 무관하였고, 평균 입자청정화능력은 4.2m³/min(적용면적 33m²)으로 풍량에 0.79배의 선형적인 관계가 있었다. 이로써 소비자 및 공기청정기 제조사는 CA 공기청정기의 풍량을 알면 입자청정화능력 시험을 하지 않고도 입자청정화능력값을 예측할 수 있다.

(5) 2004년 이후 CA 인증을 받은 공기청정기의 집진효율 및 입자청정화능력값의 상대표준편차는 7.2%와 58.3%로 소비자가 실내 입자상물질 제거용으로 공기청정기를 선택할 때는 반드시 입자청정화능력값이 높은 모델을 선정하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

(6) CA 인증을 받은 공기청정기의 평균 탈취효율은 80.8%로 CA 인증 사업을 시작하기 전 2003년 12.8%보다 60% 성능이 향상되어 CA 인증 규격 시행이 공기청정화 탈취성능 향상에 매우 긍정적인 영향을 주었음을 알 수 있다. 하지만 CA 공기청정기 탈취효율의 상대표준편차는 12.4%로 입자청정화능력값에 의한 공기청정기 변별력에 비해 1/5 수준

으로 낮았으며, 특히 암모니아 및 초산과 같은 공기청정기에 의해 쉽게 제거되는 가스 제거 성능에 대한 변별력이 거의 없었다.

(7) 본 연구에서는 CA 공기청정기 탈취성능에 대한 변별력을 높이기 위해 가스제거시험에 청정화능력 개념 및 실시간 복합 가스 농도 측정장치인 FTIR 측정법을 적용하여, 18모델 공기청정기에 대하여 기존 가스제거효율 시험 및 새로운 시험의 결과값의 표준편차를 비교한 결과, 새로운 시험법으로 부터 산출된 CADR값의 표준편차가 기존 가스제거효율 표준편차 보다 암모니아 3.2배, 초산 751배, 아세트알데히드 1.7배 향상되어, 다양한 공기청정기의 가스제거성능에 대해 높은 변별력을 보였다.

후기

본 논문은 한국기계연구원에서 지원한 “공기청정기 시험 검사 사업”의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

AHAM. (2006). ANSI/AHAM AC-1-2006, Method for Measuring Performance of Portable Household Electric Room Air Cleaners. Association of Home Appliance Manufacturers(AHAM).

Brown, S.K., Sim, M.R., Abramson, M.J., and Gray, C.N. (1994). Concentrations of volatile organic compounds in indoor air - a review, *Indoor Air*, 4, 123-134.

Burge, P.S. (2004). Sick building syndrome, *Occupational and Environmental Medicine*, 61, 185-190.

Chen, W., Zhang, J.S., and Zhang, Z.Z. (2005). Performance of air cleaners for removing multiple volatile organic compounds in indoor air, *ASHRAE Transactions*, 111, 1101-1114.

EPA. (1999). Test Method 318, Extractive FTIR method for the measurement of emissions from the mineral wool and wool fiberglass industries. US Environmental Protection Agency.

- EPA. (1998). Test Method 320, Measurement of vapor phase organic and inorganic emissions by extractive Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. US Environmental Protection Agency.
- Guieysse, B., Hort, C., Platel, V., Munoz, R., Ondarts, M., and Revah, S. (2008). Biological treatment of indoor air for VOC removal: potential and challenges, *Biotechnology Advances*, 26, 398-410.
- JEMA. (1995). JEM 1467, Air Cleaners of Household and Similar Use. Japanese Electrical Manufacturers' Association (JEMA).
- KACA. (2006). SPS-KACA002-132, Room Air Cleaner Standard. Korea Air Cleaning Association (KACA).
- Kim, H.J., Song, D.K, Hong, W.S., Han, B., and Kim, Y.J. (2008). Comparison of the methods of KACA and AHAM for particle cleaning capacity performance test of an indoor air cleaner, *Journal of Korean Society for Indoor Environment*, 5(1), 287-307.
- Li, F. and Niu, J. (2007). Control of volatile organic compounds indoors - development of an integrated mass-transfer-based model and its application, *Atmospheric Environment*, 41, 2344-2354.
- NIOSH. (2002). Method 3800, Organic and inorganic gases by extractive FTIR spectrometry, NIOSH Manual of Analytical Methods, 4thEd,1-47.
- Niu, J., Tung, T.C.W., and Chui, V.W.Y. (1998). Using large environmental chamber technique for gaseous contaminant removal equipment test, *ASHRAE Transactions*, 104(Part 2), 1289-1296.
- Zhang, J.J. and Smith, K.R. (2003). Indoor air pollution: a global health concern, *British Medical Bulletin*, 68, 209-225.
- Zuraimi, M.S., Roulet, C-A., Tham, K.W., Sekhar, S.C., David Cheong, K.W., Wong, N.H., and Lee, K.H. (2006). A comparative study of VOCs in Singapore and European office buildings, *Building and Environment*, 41, 316-329.