

# 자연 기화식 가습기와 초음파 가습기의 PM10 제거성능

이 주 호<sup>†</sup>, 김 선 숙, 박 성 관\*, 박 준 형\*, 이 윤 규

한국건설기술연구원 건축도시환경연구실  
\*위니아만도(주) R&D 센터

## A Study on the Removal Performance of PM10 by the Air-washer and the Ultrasonic Humidifier

Joo-Ho Lee, Sun-Sook Kim, Sung-Kwan Park\*, Jun-Hyung Park\*, Yun-Gye Lee

Building & Urban Environmental Research Division, KICT, Gyeonggi-Do, 411-712, Korea  
R&D Center, Winia Mando Inc., Chungnam, 336-843, Korea

**ABSTRACT:** The purpose of this study is to evaluate the PM10 removal efficiencies of an Air-washer and an Ultrasonic humidifier by mock-up experiments. The concentrations of PM10 were measured at 5 minute intervals using  $\beta$ -Ray method. The average PM10 removal efficiency of the Air-washer was 79.8%, while the PM10 concentrations increased with the operation of Ultrasonic humidifier. In the case of operating the Air-washer, the R.H(Relative Humidity) level of the test room was maintained at around 45%, regardless of initial R.H condition. The R.H of the test room with Ultrasonic humidifier was influenced by the initial R.H condition.

**Key words:** Air-washer(자연 기화식 가습기, 공기 세정기, 에어워셔), Mock-up(실물 크기의 모형 시험실), PM10(공기역학적 직경 10 $\mu$ m이하인 입자),  $\beta$ -Ray(실시간 PM10 측정기기), Ultrasonic humidifier(초음파 가습기), R.H(상대습도)

### 1. 서론

최근 급속한 산업화 및 현대화로 인하여, 교통 수단 및 공장 등에서 배출되는 배기가스 및 분진에 의한 대기오염이 증가하고 있다. 특히 국내에서는 봄철에 중국으로부터 유입되는 황사가 호흡기질환 등의 원인으로 작용하는 등 각종 문제를 유발하게 됨에 따라 대기질 개선에 대한 관심이 고조되고 있다. 주거공간의 기밀화로 원활한 환기가 이루어지지 못하게 되면서, 이러한 각종 문제들을 해결하기 위해 신축공동주택 및 건축물의 실내공기질 및 환기설비에 대한 법규까지 제정되

어 관리되고 있다<sup>(1)</sup>.

또한 국내의 경우, 여름철을 제외한 다른 계절에는 건조한 외기 조건이 지속되고 있는데, 이와 같이 실내가 건조할 경우 외부 및 실내의 먼지들이 비산되기 쉽다는 문제점이 있다. 일반적으로 실내에서 미세먼지(PM10) 제거에 사용되는 공기청정기의 경우는 PM10의 제거효율은 있지만 건조한 실내에 대한 가습기능은 없다. 반면, 자연기화식 가습은 실내공기의 습도에 따라 수분을 자연 발생시켜 실내 생활에 적절한 습도조건인 40~60%를 일정하게 유지해줄 수 있다는 장점이 있다. 또 자연기화식에서 나오는 가습입자의 크기는 0.7  $\mu$ m이하로 일반 가습기에 비해 작기 때문에 실내에 빠르게 확산되어 실내 공기를 쾌적하게 유지할 수 있게 하고 무거운 수증기 입자가 호흡기 점막을 자극하는 위험까지 동시에 해결이

<sup>†</sup> Corresponding author  
Tel.: +82-31-910-0603; fax: +82-31-910-0361  
E-mail address: ljhrazor@kict.re.kr

가능하다. 그러나 일반 가습기는 입자 크기는 0.5 ~ 5  $\mu\text{m}$  이상으로 무거운 편이어서 공기 중으로 충분히 확산되지 않고 가습기 주변만 눅눅해지는 경향이 있다<sup>(2)</sup>.

본 연구에서는 가습기의 가습에 의한 PM10의 제거 가능성을 검토하기 위하여 겨울철 가정 및 병원 실내 건조 환경에서 일반적으로 사용되고 있는 가습기 중 자연기화식·초음파 가습기를 대상으로 Mock-up 시험실에서 건조 및 습한 실내와 외부에서 유입되는 비산먼지 및 황사 중 PM10(Particle matter)의 제거성을 측정 하였다.

## 2. 연구개요 및 방법

### 2.1 연구개요

자연 기화식 가습기는 공기의 분무수를 접촉시키면서 물과 공기의 열 교환과 동시에 수분의 교환에 의해 공기의 습도조절(가습, 감습)과 동시에 먼지나 냄새를 제거하기도 한다<sup>(5-7)</sup>. 본 논문에서는 초음파·자연기화식 가습기의 PM10 제거 성능을 비교하였다.

일반적인 공기청정기의 분진 포집 시험은 Fig. 1과 같이 이루어진다. 청정기의 공기 유입구와 공기 유출구에 시험유로를 기밀하게 부착하고, 공기 청정기를 정격 주파수, 정격 전압으로 작동된 후에 보조 송풍기를 사용하여 정격 풍량의 공기가 흐르도록 가감한다<sup>(3)</sup>. 시험용 먼지의 공급은 11종 분체를  $1.5 \pm 0.5 \text{ mg/m}^3$  분진농도로 연속적으로 공급한다<sup>(3, 4)</sup>. 공기 샘플링은 유입측 시험 유로 및 유출측 시험 유로에 설치한 흡입관 및 이에 연결된 거름종이 홀더를 통하여 시험 유로내의 공기를 흡입하여 이루어지며, 분진 포집률은 식(1)에 따라 산출한다.

$$\eta = \left(1 - \frac{D_2/q_2}{D_1/q_1}\right) \quad (1)$$

여기서,

$\eta$  : 분진 포집률(%)

$q_1$  : 공기 유입측의 적산 흡인 공기량(L)

$q_2$  : 공기 유출측의 적산 흡인 공기량(L)

$D_1$  : 공기 유입측의 거름종이 흑화도

$D_2$  : 공기 유출측의 거름종이 흑화도

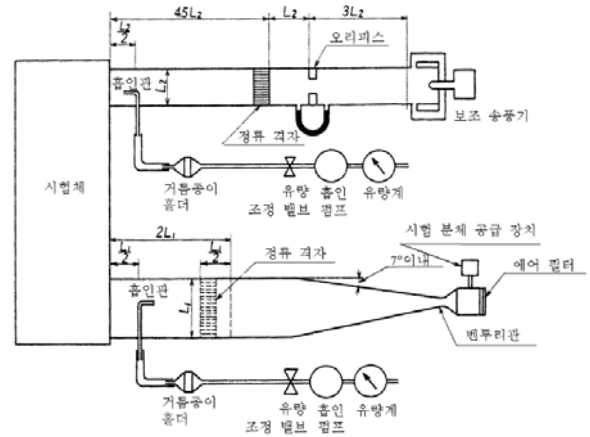


Fig. 1 Test method of dust removal efficiency for Air-Cleaning devices.

일반적으로 측정은 2회에 걸쳐 이루어지며, 각 측정치의 평균값으로 나타낸다. 다만 평균값과 측정값의 차가 2%(절대값)를 초과하는 경우는 다시 3회를 추가로 실시하여 합계 5회의 평균값으로 나타낸다. 이와 같이 공기청정기에 대한 분진 포집 성능 시험에 관한 해외규격과 산업규격은 있지만 일반가습기(초음파, 자연기화식 등)의 PM10 제거 및 분진 포집 효율에 대한 시험규격은 없는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 각 가습기 가동 시의 실내 PM10의 농도 변화 추이 분석을 통해 PM10 제거 성능을 평가하였다.

### 2.2 연구방법

본 연구에서 PM10의 제거 성능을 측정하기 위하여 사용한 장비는 KS 규격에 준하는 PM10  $\beta$ -Ray gauge(Dust Monitor, FH62 C14 ; Thermo Andersen), 온·습도 데이터 로거(Temperature / Humidity measurement, SK-L200TH ; SATO KEIRYOKI MFG.co., LTD)이다. PM10  $\beta$ -Ray gauge는 C-14에서 방출되는  $\beta$ -Ray를 측정하는 장비로 실내 중의 PM10 농도를 실시간으로 연속 측정 할 수 있다. 측정하는 동안 열을 발생시키지 않아 측정에 오차가 없으며, 최소 검출한계는  $< 9 \mu\text{g/m}^3$ (측정값),  $< 6 \mu\text{g/m}^3$ (30분 평균)이다.

실험 대상 건물은 한국건설기술연구원 부지 내 실물크기의 모형실험실(Mock-up)로 실험실의 평면도 Fig. 2와 같다. Fig. 2의 실험 실 중 발코니

포함 바닥면적(4.48 m × 5.01 m × 2.49 m = 55.89 m<sup>2</sup>)인 2·3호실에서 실험이 진행되었으며, 각 실험실에는 실별 온도제어가 가능한 바닥난방 시설, 덕트형 환기유닛 및 이중 창호가 설치되어 있다. 평면도에서와 같이 중복도로 연결되어 있고 복도측 출입문이 매우 기밀하여 맞통풍이 어려운 조건을 갖추고 있다. 가습기의 PM10 제거효율 성능 측정 전경은 Fig. 3과 같다.

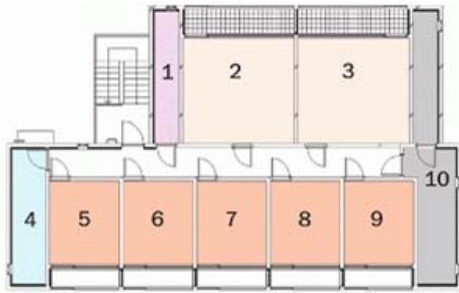


Fig. 2 Schematic diagram of the mock-up.



Fig. 3 Measuring devices(Left: Air-washer, Right: Ultrasonic humidifier).

실험은 2008년 3월 10일~5월 15일에 걸쳐 진행되었으며, 황사기간을 포함하여 7차에 걸쳐 시험군(2호실) 및 대조군(3호실)으로 나누어 진행되었다. 외부공기 유입 후 β-Ray의 농도가 높게 측정된 시점에서 외부 공기 유입을 차단하였으며, 차단한 시점부터 가습기를 가동하고 온·습도 및 PM10을 측정하였다. PM10 농도는 5분 간격으로 연속 측정하였으며<sup>(8)</sup>, 초음파·자연기화식 가습기 가동 시의 실내 온·습도변화를 살펴보기 위

하여 1분 간격으로 온도 및 습도를 측정하였다. 실내공기질 공정시험법 상의 PM10 측정기준이 8시간임을 감안하여, 8시간 이상 측정 후 PM10의 시간별 농도 변화를 살펴보았다. PM10 제거효율은 다음 식에 의하여 산출하였다.

$$E_r = \left(1 - \frac{C_{min}}{C_0}\right) \times 100 \quad (3)$$

여기서,

$E_r$  : PM10 제거효율(%)

$C_{min}$  : 농도 측정치 중 최소값( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

$C_0$  : 초기 농도( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 자연기화식 가습기의 효과

Table 1은 7차례에 걸쳐 수행된 자연 기화식 가습기의 시험평가에서 외부 공기 유입을 차단한 후 측정된 PM 10 농도변화를 나타낸다.  $C_{b.g.}$ 는 동일 조건을 갖춘 대조군에서 자연 기화식 가습기를 가동하지 않은 상태의 PM10 농도를 의미한다. 자연 기화식가습기에 의한 PM10 제거효율은 최대 96%, 최소 74%, 평균 79.8%로 나타났다.

Table 1 PM 10 removal efficiency of the Air-washer.

Test No.	Day	$C_0$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$C_{min}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$E_r$ (%)	$C_{b.g.}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
1	3/10~11	89	32	64	86
2	3/11	185	49	74	132
3	3/11~12	135	55	59	90
4	3/12	342	81	76	162
5	3/12~13	209	54	74	124
6	3/13	261	54	79	142
7	3/16~17	210	9	96	153

Fig. 4에서 3차 실험에서의 자연기화식 가습기 가동(780분)에 따른 최대 및 최소 PM10의 농도는 135  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 265분대에 최저 농도를 보였다(59%). PM10 농도 추세로 보았을 때, 300분 이상이 경과하면 공기역학적 직경이 10  $\mu\text{m}$  이하이며 PM10보다 늦은 침강 속도를 가지고 있는 직경 2.5  $\mu\text{m}$ 이하의 PM2.5가 상대적으로 많이 존재한 것으로 사료된다.

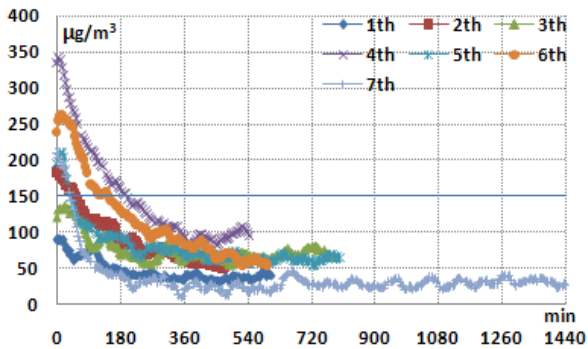


Fig. 4 Variation of PM10 concentration by operating the Air-washer

4차 실험에서의 자연기화식 가습기 가동(480분)에 따른 최대·소 PM10의 농도는 342  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 81  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 380분대에 최저 농도를 보였다(76%). 이는 PM10에 비해 PM2.5의 비율이 상대적으로 적었기 때문으로 판단된다.

7차 실험은 황사 기간 중에 이루어졌으며, 자연기화식가습기의 가동(1440분)에 따른 최대·소 PM10의 농도는 210  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 350분대에 최저 농도를 보였다(96%). 또한 가동 후 180분 이후에는 미세먼지 농도가 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 유지되었다.

이상과 같이 PM10과 PM2.5는 공기 중에 체류하는 속도가 상이하어 배경농도의 경우 360분 경과 후에 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 2.5  $\mu\text{m}$  이하의 입자들은 증발과 흡착과정에 의하여 증기상과 입자상 간의 평형상태를 이루고 있다. 또한 1  $\mu\text{m}$ 이하의 작은 입자 위에서는 표면장력이 커져 증발현상이 우세하게 되며 따라서 공기 중 체류시간이 길어질수록 휘발성 유기탄소화합물들은 표면장력이 작은 거대입자(PM2.5 이상)의 표면에 더 많이 분배되어 안정화 된다<sup>(9)</sup>. 그러므로 5분 간격으로 실시간 측정된 그래프가 일정하게 유지되지 않고, 배경농도와 비교하여 360분 후에 PM10이 증가하게 된다. 본 연구에서는 PM10만을 적용하였으나 PM2.5와 함께 측정되어야 미세먼지의 거동을 상세하게 분석할 수 있을 것으로 사료된다.

Fig. 5는 자연식가습기 가동에 따른 실내 습도 변화를 나타낸다. 상대습도 60% 이상인 다습한 조건 및 상대습도 30% 이하인 건조한 조건 등 다양한 실내 습도 조건에서 시간별 습도 변화 거

동을 살펴보았다. 초기 상대습도가 20%일 경우에는 쾌적 영역인 40~60%에 도달되는 시간이 지연되었기는 하나, 120~180분 내에 상대습도가 약45%의 범위에 도달하여 일정하게 유지되었다. 상대습도 35%의 조건에서는 120분 후에 40%~50%인 상태에 도달하여 지속적으로 유지되는 것을 볼 수 있다. 상대습도 60% 이상의 다습한 조건에서도 약 120분후에 40~50%인 상태가 되어 지속적으로 유지되었다. 이상과 같은 실험 결과를 통해 자연 기화식 가습기의 상대습도 조절 효과를 뚜렷하게 확인할 수 있었다.

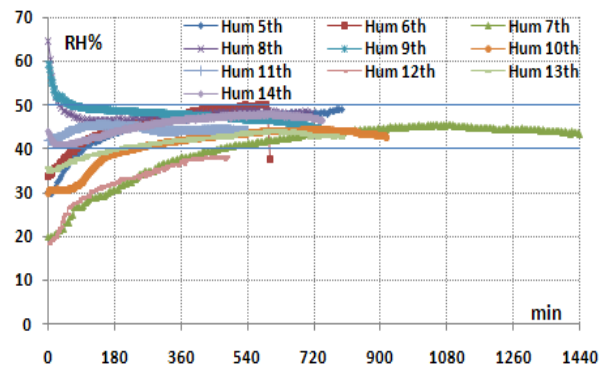


Fig. 5 Variation of relative humidity by operating the Air-washer

### 3.2 초음파 가습기의 효과

Table 2 및 Fig 6은 5차례에 걸쳐 수행된 초음파 가습기의 시험평가에서 외부 공기 유입을 차단한 후 측정된 PM 10 농도변화를 나타낸다. 초음파 가습기 가동 시, PM10의 농도는 초기 농도보다 오히려 증가하여 PM10 제거효과를 확인할 수 없었다.

Table 2 PM 10 removal efficiency of the ultrasonic humidifier.

Test No.	Day	$C_0$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$C_{max}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
9	5/2~3	121	1399
10	5/8	100	1183
11	5/9~10	202	1449
12	5/13~14	14	4454
13	5/14	96	2699

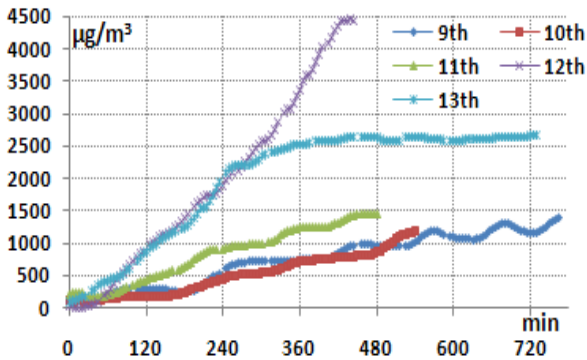


Fig 6 Variation of PM10 concentration by operating the ultrasonic humidifier

Fig. 7은 초음파 가습기 가동 시의 상대습도 변화를 나타낸 것으로, 가동 시의 상대습도 조건에 따라 쾌적영역인 40~60%의 상태로 유지되지 못하는 경우가 있음을 알 수 있다.

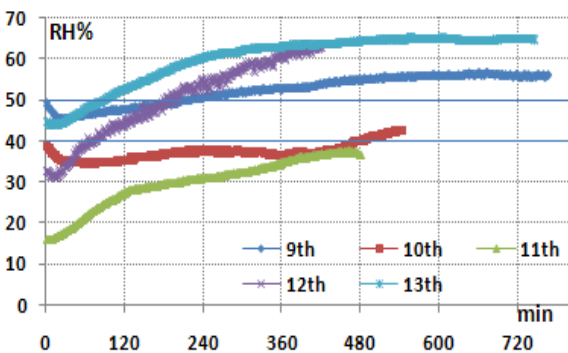


Fig. 7 Variation of relative humidity by operating the ultrasonic humidifier.

#### 4. 결론

본 연구에서는 mock-up 실험에 의해 자연 기화식 가습기와 초음파 가습기의 PM10 제거성능 및 습도 유지성능을 평가하였다. 본 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 자연 기화식 가습기에 의한 PM10 제거효율은 최대 96%, 최소 74%, 평균 79.8%로 나타나, 초음파 가습기에 비해 자연 기화식 가습기 가동 시 PM 10 제거효과를 기대할 수 있는 것으로 나타났다.
- (2) 매 실험시 외부공기 유입은 공기의 물성이

수시로 다르고, PM10과 PM2.5는 공기 중에 체류하는 속도가 상이하어 농도 감소 후 일정하게 농도가 유지되지 않는 것으로 나타났다.

- (3) 자연 기화식 가습기는 초음파 가습기에 비해 실내 상대습도 조건의 영향을 크게 받지 않고, 가습과 감습에 의해 쾌적 영역인 40~60%사이를 효과적으로 유지할 수 있는 것으로 나타났다.

#### 참고 문헌

1. 이성화, 2006.04, 황사 대응 공기청정 기술, 설비저널, Vol. 35, No.4 pp. 31.
2. <http://www.etnews.co.kr>, 2007.12.28, 자연가습 공기청정기, ETNEWS전자신문
3. Air cleaners, KS C 9314, 2002.02.18
4. Test powders and test particle, KS A 0090, 2007.11.30
5. 2005.04, 공조기 Indoor Unit 냉각·제습 기능 개선, 한국에너지기술연구원, (주)동양공조/동양산업, RP 10.
6. Brian S. Pedersen, William J. Fisk, 1986, Air washing for the removal of formaldehyde from indoor air, Environment International, Vol. 12, pp.439-447
7. Pedersen, B. S, Fisk, W. J 1984, The control of formaldehyde in indoor air by air washing. LBL-17381, University of California, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, CA.
8. Lee, J. H., 2006.06, Temporal change of particulate matters with the population density in PC room, MS thesis, Yonsei University, S. Korea.
9. William C. Hind., 1999, Aerosol Technology, Second edition, pp281-283, 458