

공동주택에서 미세먼지 저감을 위한 에어샤워 성능실험

Experiment of Air-Shower to Reduce Particulate Matter in Apartment Housing

박진철* · 정홍구**

JIN CHUL PARK* · Hong Goo Chung**

Abstract

High levels of fine dust is an increasing health concern in major cities such as Seoul. To improve the indoor air quality of apartments, this study examined the ability of an air shower system installed in an apartment unit to remove fine dust (as defined by ISO 12103-A2) from various clothing items of building occupants entering their apartment. Results of the experiment indicate that an air shower system is effective in removing final dust from clothing after one pass through the system. The fine dust removal efficiency for various clothing items was 74% for a dress suit, 70.6% for hiking clothes, 63.3% for knit-wear, 50.5% for a cotton t-shirt, and 38.8% for a coat. Fine dust removal efficiency increased with a second and third pass through the air shower system by an average of 9.1 and 13.9 percentage points respectively compared to a single pass through the system.

Keywords : Apartment Housings, Air-Shower, Particulate Matter, Clothing Type, Experiment

1. 서론

최근 미세먼지는 WHO에서도 발암물질로 분류되고 있어 인체 위험성에 대한 주의를 요하고 있는 물질로 알려져 있다. 특히 최근 국내 국민인식 조사에 의하면 응답자의 약 80% 이상이 미세먼지로 인하여 일상생활에 불편함을 느끼고 있다고 응답함으로써 이에 대한 대책이 시급한 상황이다.

또한, 자료(Air Korea, 2020)에 의하면 서울지역의 미세먼지(PM₁₀) 농도는 주요 선진국 도시(LA, 도쿄, 파리, 런던 등)과 비교하여 가장 높은 수준을 보여주고 있다(Fig. 1).

이와같이, 미세먼지는 계절과 관계없이 발생되고

특히 서울지역이 전 세계에서 매우 높은 농도수준을 보이고 있는데 국내 주거건축의 과반수 이상을 차지하는 공동주택인 경우 대부분 재실자의 외부할

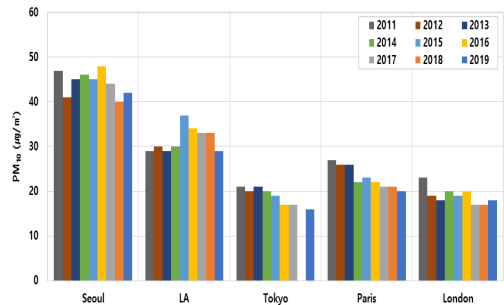


Fig. 1. Annual Average Concentration of PM₁₀ in Seoul and Cities of Major Developed Countries (Air Korea, 2020)

*중앙대학교 건축학부 교수(교신저자: jincpark@cau.ac.kr)

**현대건설 건축주택설비팀장

동에 의하여 의류 등에 부착된 채로 밀폐된 실내로 도입되고 있어 이에 대한 대책이 필요한 실정이다.

미세먼지는 입자크기(PM, Particulate Matter)에 따라 지름이 10 μ m인 PM₁₀과 지름이 2.5 μ m인 PM_{2.5}로 구분한다. 특히 미세먼지에의 노출은 인체에 호흡기 및 심혈관계 질환의 발생과 관련되어 사망률을 크게 증가시키는 것으로 보고되고 있다.

한편, 에어샤워는 철저한 위생이 요구되는 청정구역에 입실하기 위해 의복에 묻은 먼지 및 미세입자를 고속 에어로 제거하는 장치를 의미한다.

따라서, 최근 공동주택에서는 에어샤워 시스템을 설치하여 미세먼지의 실내 유입을 원천적으로 차단시키는 것을 목표로 실내로 들어가기 전에 의류 등에 있는 미세먼지를 제거하여 외부로부터 먼지가 유입되는 것을 차단시키고 있다.

그러나, 아직까지 사용되고 있는 에어샤워 시스템에 대한 미세먼지 제거성능에 대한 세부 내용은 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 공동주택에서 재실자의 외부활동 등에 의한 미세먼지의 실내 반입을 방지하기 위하여 에어샤워 시스템에서의 미세먼지 저감성능 실험을 실시하였다.

이와같은 연구는 미세먼지로부터의 공동주택 거주자의 건강을 향상시키는 기초연구로 활용될 것이다.

2. 이론고찰 및 에어샤워 실험준비

2.1 이론고찰

Fig. 2는 2009년부터 2019년도의 서울시의 PM₁₀, PM_{2.5} 연평균 농도를 나타낸 것으로 특히, 최근에는 PM_{2.5}인 경우 연간 평균기준치를 초과하는 것으로 나타났다.

특히, 미세먼지 입자가 작을수록 호흡기계통으로의 침투가 더 용이하므로 미세먼지 평균농도증가로 인한 실내로 유입 차단은 더욱 중요한 요소가 되고 있다.

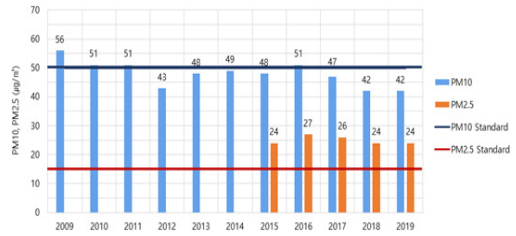


Fig. 2. Annual Average Concentration of PM₁₀ and PM_{2.5} in Seoul (2009~2019)

실외의 미세먼지가 실내로 유입될 수 있는 가능성에 대한 연구는 다음과 같다. 즉, 강동화·최동희(2015)의 연구에 의하면 미세먼지의 직경이 작을수록 실외 미세먼지의 실내 영향도가 높아지고 있었다. 특히 PM_{2.5}와 같은 초미세먼지의 경우, 실내 영향도가 더욱 높게 나타나는 것으로 나타났다. 방종일 외(2018) 연구에 의하면, 실내의 차압 및 실외 바람에 의한 풍압은 실내로의 미세먼지 유입에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

2.2 에어샤워 실험준비

에어샤워시스템은 실내로 들어가기 전에 옷이나 신발 등에 있는 미세먼지를 제거하여 외부로부터 먼지가 유입되는 것을 차단시키는 것이다. 특히, 재실자가 장치 안에 들어오면 에어샤워기 안에서 부유된 미세먼지가 필터를 통하여 필터링 되어 미세먼지로 오염된 공기를 신선한 공기로 바꿔줌으로써 미세먼지의 실내 유입을 차단한다.

따라서, 본 연구에서는 이와같은 이론을 갖춘 크기 1950(H)*800(W)*800(D)의 실험실 체적에 토출 풍속 30m/s 성능(30초/1회)의 에어샤워기를 설치하였다(Fig. 3).

또한, Fig. 4와 같이 인체와 동등한 마네킹을 에어샤워 시스템 안에 설치하였다(현재 공동주택에 적용되고 있는 에어샤워기의 시제품을 사용, 헤파필터와 토출구 총 16개). 특히, 공동주택 재실자들의 의

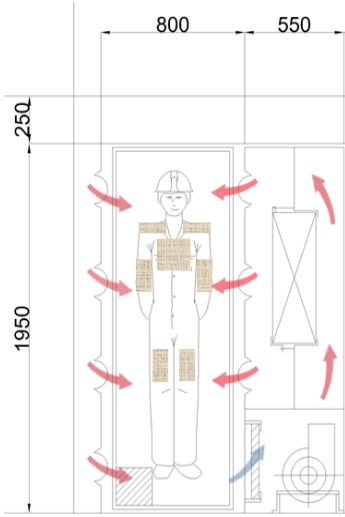


Fig. 3. Air Shower System

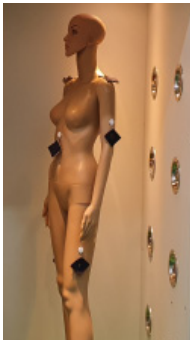


Fig. 4. Mannequin Doll with Clothes on it

류를 Dress Suit, Hiking Clothes, Knit Wear, Cotton T-shirt, Coat 등의 총 5종의 의류를 준비하여 크기 6cm×6cm의 의류샘플을 제작하여 마네킹의 어깨 2개, 팔 2개, 다리 2개, 등 1개, 배 1개 등 총 8개 신체부위에 각각 부착시켰다. 이때 5종의 의류 샘플의 원시료 무게(①)를 정밀전자저울(Ohaus AP250D, 최소단위: 0.01mg)을 통하여 측정하였다. 또한, 미세먼지 A2 Fine Test Dust를 의류에 부착시켜 중량(②)을 측정하였다(Table 1, Table 3).

Fig. 5와 Table 2는 에어 샤워 실험에 사용된 미세먼지입자를 나타낸 것으로 ISO 규격(12103-1)에 의

Table 1. Electronic Scale for Measuring the Weight of Fine Dust



Name	Details	Photo	
Ohaus AP250D	Capacity	52g/210g	
	Milligram (mg)	0.01mg	
	Linearity (mg)	±0.03/±0.2g	

Table 2. ISO A2 fine Dust

ISO Test Dust (ISO 12103-1 A2 Fine Test Dust)	Size Micro meter	A2 Fine Test Dust	
		% Less Than	
Distributions by Volume %	0.97	4.5 - 5.5	
	1.38	8.0 - 9.5	
	2.75	21.3 - 23.3	
	5.50	39.5 - 42.5	
	11.00	57.0 - 59.5	
	22.00	73.5 - 76.0	
	44.00	89.5 - 91.5	
	88.00	97.9 - 98.9	
	124.50	99.0 - 100.0	
	176.00	100.0	

Graphical Comparison of ISO 12103-1 Test Dust Grades Based on ISO 12103-1 Specified Limits Median (Cumulative Volume)

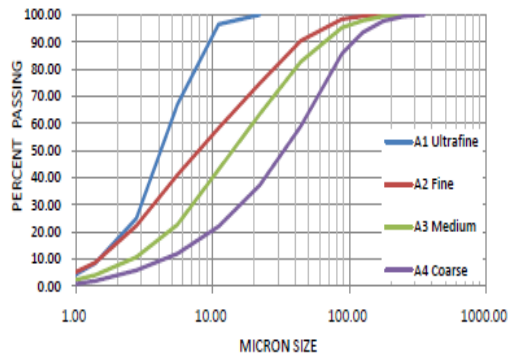


Fig. 5. ISO A2 Fine Dust Perfect Passing

한 A2 Fine Test Dust이다. 즉, A2 Fine Test Dust인 경우 필터 투과율과 구성비가 중간 정도로서 의류에 붙은 미세먼지실험에 적절한 것으로 확인할 수 있다.

그리고 미세먼지가 부착된 의류에 에어샤워를 1

Table 3. Fine Dust Measuring Device

Model	TSI DUSTTRAK 8530	
Range	Concentration (mg/m ³)	0.001~400
	Particle Size (µm)	0.1~10
Accuracy	±0.5% of factory set point Internal flow controlled (Flow Accuracy)	

Photo



회 가동 그리고 2회 및 3회 가동 후 각각의 시료 중량(③)을 측정했다. 또한, 각 의류 5종의 샘플별로 총 3회씩 반복 수행하여 평균값을 사용하였다.

즉, 5종의 의류에 미세먼지를 부착시켜 밀폐된 챔버 안에서 에어샤워를 1회 가동후 미세먼지의 탈착율을 측정하고 2회 및 3회 가동에 따른 탈착율을 각각 측정하였다.

이 때, 미세먼지 제거율 산정은 다음과 같이 진행하였다.

의류의 총 미세먼지 중량(④) = 의류 Dust 도포 후 중량(②) - 의류 원시료 중량(①)

에어샤워 가동후 제거된 의류에서의 미세먼지 중량(⑤) = 의류에 Dust 도포 후 중량(②) - 에어샤워 가동 후 시료중량(③)

$$\text{제거효율(\%)} = \frac{\text{제거된 미세먼지 중량(⑤)}}{\text{총 미세먼지 중량(④)}}$$

3. 측정결과

공동주택에서 재실자들이 외부활동후 실내로 귀가시 에어샤워를 통과할 때 미세먼지 제거성능시험은 의류 5종(Dress Suit, Hiking Clothes, Knit-Wear,

Cotton T-shirt, Coat)을 크기 6cm×6cm의 샘플을 제작하여 성인 실험물과 동일한 마네킹의 어깨 2곳, 팔 2곳, 다리 2곳, 등 1곳, 배 1곳 등 총 8개 신체부위에 각각 부착하여 실시하였다(즉, 이는 실험실에서 성인실험물과 동일한 마네킹에 의류샘플을 가장 활동이 활발한 인체 8곳에 부착). 이때 에어샤워 장치를 1~3회 반복 가동 시 각각의 미세먼지 제거율을 산정하였고 그 결과는 다음과 같다. 이때, 동일 샘플 당 세 번씩 반복 시험하였으며, 평균값을 산정하였다

3.1 Dress Suit

Dress Suit의 경우 에어샤워시스템 가동시 미세먼지 제거율은 1회시 평균 74.0%로 제거되었으며, 2회시 84.1%, 3회시 87.6%의 제거율을 보였다.

Table 4. Suit

①	Amount Of Dust with Suit (mg)	Dust removal (mg) by the air shower			Dust removal (%) by the air shower		
		1 st	2 nd	3 rd	1 st	2 nd	3 rd
1 st	380.25	307.97	353.26	369.72	81.0%	92.9%	97.2%
2 nd	182.06	115.80	138.47	144.80	63.6%	76.1%	79.5%
3 rd	785.54	607.27	655.25	675.28	77.3%	83.4%	86.0%
Avg	449.28	343.68	382.33	396.60	74.0%	84.1%	87.6%

① Numbers of Air Shower Operation

② Amount of Dust with Suit/Dust removal (mg, %)

3.2 Hiking Clothes

Hiking Clothes의 경우 에어샤워 시스템 가동시

Table 5. Hiking Clothes

①	Amount Of Dust with suit (mg)	Dust removal (mg) by the air shower			Dust removal (%) by the air shower		
		1 st	2 nd	3 rd	1 st	2 nd	3 rd
1 st	296.24	218.12	245.03	252.22	73.6%	82.7%	85.1%
2 nd	229.11	167.60	187.96	193.91	73.2%	82.0%	84.6%
3 rd	526.63	342.05	408.20	502.32	65.0%	77.5%	95.4%
Avg	350.66	242.59	280.40	316.15	70.6%	80.8%	88.4%

① Numbers of Air Shower Operation

② Amount of Dust with Suit/Dust removal (mg, %)

미세먼지 제거율은 1회 시 평균 70.6%로 양복(Suit) 과 유사하게 나타났으며, 2회시 80.8%, 3회시 88.4%의 제거율을 나타내고 있었다.

3.3 Knit Wear

Knit Wear의 경우 에어샤워 시스템 가동시 미세먼지 제거율은 1회 시 평균 63.3%의 제거율, 2회 시 72.3%, 3회 시는 76.7%로 Dress Suit, Hiking Clothes의 의류와 비교하면 약간 낮은 제거율을 나타내고 있었다(또한, Knit의 경우 3차 측정에는 재실 인원, 실험실 문의 개방 여부 등 실험실 조건 차이로 인해 오차가 다소 크게 발생하여 1~2차 측정결과만을 이용하였다).

Table 6. Knit Wear

①	Amount Of Dust with Knit (mg)	Dust removal (mg) by the air shower			Dust removal (%) by the air shower		
		1 st	2 nd	3 rd	1 st	2 nd	3 rd
②							
1 st	445.09	279.00	323.84	342.45	62.7%	72.8%	76.9%
2 nd	272.52	174.22	195.91	208.34	63.9%	71.9%	76.4%
Avg	358.81	226.61	259.88	275.40	63.3%	72.3%	76.7%

- ① Numbers of Air Shower Operation
- ② Amount of Dust with Suit/Dust removal (mg, %)

3.4 Cotton T-Shirt

Cotton T-Shirt의 경우 에어샤워 시스템 가동시 미세먼지 제거율은 1회 시 평균 50.5% 2회 시 72.3%, 3회 시 76.7%의 제거율을 나타냈다.

Table 7. Cotton T-Shirt

①	Amount Of Dust with Cotton (mg)	Dust removal (mg) by the air shower			Dust removal (%) by the air shower		
		1 st	2 nd	3 rd	1 st	2 nd	3 rd
②							
1 st	491.30	204.16	247.28	255.53	41.6%	50.3%	52.0%
2 nd	576.92	301.81	347.97	373.06	52.3%	60.3%	64.7%
3 rd	897.12	517.76	591.78	637.27	57.7%	66.0%	71.0%
Avg	655.11	341.24	395.68	421.95	50.5%	58.9%	62.6%

- ① Numbers of Air Shower Operation
- ② Amount of Dust with Suit/Dust removal (mg, %)

3.5 Coat

Coat의 경우 에어샤워 시스템 가동시 미세먼지 제거율은 1회 시 평균 38.8% 2회 시 46.2%, 3회 시 51.3%의 제거율을 나타내었다. 특히, 코트(Coat)인 경우 의류자체의 정전기로 인하여 에어샤워 시스템을 가동해도 미세먼지 제거율이 다른 의류에 비유하여 적게 나타나고 있었다.

Table 8. Coat

①	Amount Of Dust with Coat (mg)	Dust removal (mg) by the air shower			Dust removal (%) by the air shower		
		1 st	2 nd	3 rd	1 st	2 nd	3 rd
②							
1 st	230.36	98.58	117.47	136.01	42.8%	51.0%	59.0%
2 nd	336.45	142.52	161.58	174.80	42.4%	48.0%	52.0%
3 rd	793.75	247.65	315.10	340.43	31.2%	39.7%	42.9%
Avg	453.52	162.92	198.05	217.08	38.8%	46.2%	51.3%

- ① Numbers of Air Shower Operation
- ② Amount of Dust with Suit / Dust removal (mg, %)

3.6 측정결과

공동주택에서 재실자가 외출에서 귀가시 에어샤워의 가동에 따른 의류종류별 미세먼지 제거율 실험 결과, 미세먼지 제거율은 1회 가동시 평균 59.4%, 2회 가동시 68.5%, 3회 가동시 73.3%의 제거율을 나타내고 있었다.

Table 9. Fine Dust Removal Rate (%) According to Clothings in the Air Shower (%)

②	①	Fine dust removal in the air shower (%)		
		1 st	2 nd	3 rd
	Suit	74.0%	84.1%	87.6%
	Hiking Clothes	70.6%	80.8%	88.4%
	Knit	63.3%	72.3%	76.7%
	Cotton T-Shirt	50.5%	58.9%	62.6%
	Coat	38.8%	46.2%	51.3%
	Avg.	59.4%	68.5%	73.3%

- ① Numbers of Air Shower Operation
- ② Five kinds of clothing

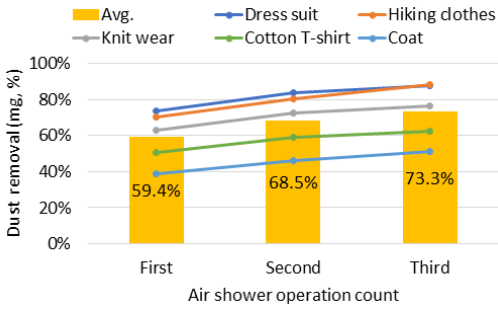


Fig. 6. Dust Removal Rate (%) According to Clothes in the Air Shower Operation Counts (%)

특히, 5종류의 의류소재별 제거율은 Dress Suit 74.0% > Hiking Clothes 70.6% > Knit 63.3% > Cotton T-Shirt 50.5% > Coat 38.8% 순으로 나타났다(Table 9, Fig. 6).

특히, 에어샤워 시스템을 1회만 가동하여도 미세 먼지는 약 59.4%가 제거되고 있었다.

4. 결론

본 연구는 최근 미세먼지가 발암물질로 알려져 이에 대한 대책을 마련하던 중에 특히, 공동주택에서 재실자들이 외출 후 실내로 들어오기 전에 에어샤워 시스템을 가동함에 따른 미세먼지의 제거성을 파악하고자 한 것이다.

에어샤워 시스템은 고압 고속의 공기를 분사하여 옷등에 묻은 미세먼지를 제거하는 장치로서 특히, 대표적으로 많이 착용하는 5종(Dress Suit, Hiking Clothes, Knit Wear, Cotton T-shirt, Coat) 의류를 대상으로 한 실험으로서 그 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 공동주택에서 재실자가 외출에서 귀가시 미세먼지의 제거율을 에어샤워 시스템가동실험결과, 미세먼지 제거율은 1회 가동시에만 평균 59.4%가 제거 되고 있었다. 특히, 2회 및 3회 가동시에

는 68.5%에서 최고 73.3% 까지 제거율을 나타내고 있었다.

(2) 5종류의 의류종류별 제거율은 Dress Suit 74.0% > Hiking Clothes 70.6% > Knit 63.3% > Cotton T-Shirt 50.5% > Coat 38.8% 순으로 나타났다. 즉, 의류 종류에 따라 코트 등 털 소재의 의류는 정전기 등의 원인으로 미세먼지 제거율이 다른 소재에 비해 적게 나타났지만 보통 의류인 경우는 50% 이상의 제거율을 보이고 있었다.

그러나, 본 연구는 에어샤워를 밀폐된 실험실에서 특히, 5종의 의류 샘플을 마네킹에 부착(8곳, 어깨, 팔, 가슴, 등, 다리 등)하여 측정한 자료로서 오차가 발생할 수 있다. 추후 실물모형의 실험이 추가될 예정이다.

참고문헌

- 강동화·최동희(2015), “주거건물의 실내의 미세먼지 측정에 의한 실외 미세먼지의 실내 영향도 평가 기초연구”, 「한국건축환경설비학회 논문집」, 9(6): 462~469.
- 방종일·조성민·성민기(2018), “외기 중 미세먼지의 공동주택 실내 유입에 관한 연구”, 「대한건축학회논문집 구조계」, 34(1): 61~68.
- 문수영(2017), “미세먼지 및 열섬 저감 기능의 도시 시설물 구현을 위한 사례조사 연구”, 「대한건축학회 학술발표대회 논문집」, 37(2): 463~464.
- 최세진·황영진·이효정·김미경·김선곤·김한성(2018), “이미지 프로세싱을 이용한 상용 의류관리기의 먼지 입자 제거 성능 분석법 및 상용 의류관리기의 성능평가에 관한 연구”, 「한국섬유공학회지」, 55(2): 89~94.
- 환경부(2020), “실내공기질 관리법(법률 제16307호)”.
- Ailshire, Jennifer A. and Eileen M. Crimmins (2014), “Fine particulate matter air pollution and cognitive function among U.S. older adults”, *American Journal of Epidemiology*, 180(4): 359~366.
- Air Korea (2020), “Overseas Air Pollution Status. Retrieved”, <https://www.airkorea.or.kr/web/contents/>

8. Robert D Brook, Sanjay Rajagopalan, C Arden Pope 3rd, Jeffrey R Brook, Aruni Bhatnagar, Ana V Diez-Roux, Fernando Holguin, Yuling Hong, Russell V Luepker, Murray A Mittleman, Annette Peters, David Siscovick, Sidney C Smit Jr, Laurie Whitsel, Joel D Kaufman (2010), "Particulate matter air pollution and cardiovascular disease", *Journal of the American Heart Association*, 121(21): 2331~2378.
9. Nigel Bruce, Dan Pope, Eva Rehfuess, Kalpana Balakrishnan, Heather Adair-Rohani, Carlos Dora (2015), "WHO indoor air quality guidelines on household fuel combustion: Strategy implications of new evidence on interventions and exposure-risk functions", *Atmospheric Environment*, 106: 451~457.
10. EPA (2010), *Activists Say EPA Particulate Matter Assessment Justifies Tough Limits*, EPA's Risk Policy Report, 17(1): 3~4.
11. De-Ling Liu, William W. Nazaroff (2003), "Particle penetration through building cracks", *Aerosol Science and Technology*, Vol. 37, Iss. 7.

요약

본 연구는 에어샤워 시스템의 가동에 따른 5종의 의류(Dress Suit, Hiking Clothes, Knit, Cotton T-Shirt, Coat)의 미세먼지의 제거성능을 파악하고자 한 것으로 그 연구결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 에어샤워 시스템 가동 실험결과, 미세먼지 제거율은 1회 가동시에만 평균 59.4%가 제거 되고 있었다. 특히, 2회 및 3회 가동시에는 68.5%에서 최고 73.3% 까지 제거율을 나타내고 있었다. 둘째, 5종류의 의류종류별 제거율은 Dress Suit 74.0% > Hiking Clothes 70.6% > Knit 63.3% > Cotton T-Shirt 50.5% > Coat 38.8% 순으로 나타났다. 즉, 의류 종류에 따라 코트 등 털 소재의 의류는 정전기 등의 원인으로 미세먼지 제거율이 다른 소재에 비해 적게 나타났지만 보통 의류인 경우는 50% 이상의 제거율을 보이고 있었다.

주제어 : 공동주택, 에어샤워, 미세먼지, 의류종류, 성능실험
