

도시 지하역사 미세먼지제어를 위한 이중여과장치의 현장적용 연구

Field Application of a Double Filtration Process to Control Fine Dust in a Metro Subway Station

박 해 우 · 김 우 람 · 조 영 민*

경희대학교 환경응용과학과 환경연구센터

(2013년 4월 19일 접수, 2013년 5월 21일 수정, 2013년 7월 15일 채택)

Haewoo Park, Wooram Kim and Youngmin Jo*

Department of Applied Environmental Science, Center for Environmental Studies,
Kyunghee University

(Received 19 April 2013, revised 21 May 2013, accepted 15 July 2013)

Abstract

This study attempted to find an alternative method for fine dust control in the pre-existing facilities of metro-subway stations. A new double-layer design was proposed for the MVAC (mechanical ventilation and air control) system. Several filter lay-outs were combined a pre-filter with electret filter (EF), electret bundle filter (EBF), or electret pleated filter (EPF), and were then examined focusing on the collection efficiency of particulate matters and pressure drop across the filter layers. The experimental results from the lab and field tests showed the best collection efficiency with EPF, which achieved 85% for PM_{10} and 55% for $PM_{2.5}$. It was also found from the long term field test that the new filter lay-out could provide quite consistent dust level particularly in underground platform regardless of external condition.

Key words : Subway dust, $PM_{2.5}$, Electret Pleated Filter, Double-layer filter, Indoor Air Quality

1. 서 론

대도시 지하철은 사람들이 쉽게 이용하는 대중교통수단이며, 각종 시설과 연관되어있는 복합시설로서 시민들의 이용시간이 계속하여 늘어나고 있다. 특히 서울 지하철의 경우 1~4호선을 이용하는 시민은 하

루 평균 약 413만명을 넘어서고 있는 추세이며, 5~8호선은 약 350만명의 인원이 이용하고 있다. 따라서 지하역사내에서의 미세먼지를 비롯한 공기질은 매우 중요한 환경요건으로 취급될 수밖에 없다. 정부에서는 “다중이용시설 등의 실내공기질 관리법”을 적용하여 지하역사내의 공기질 개선에 노력을 기울이고 있으며, “실내공기질 유지기준”은 PM_{10} 을 기준으로 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 관리하고 있다.

이러한 지하역사 내에서 발생하게 되는 미세먼지는 이용객의 활동 및 열차운행에 따른 터널 기원 미

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)31-201-2485, E-mail : ymjo@khu.ac.kr

세입자 등으로부터 발생하며, 환기를 위하여 역사내로 유입되는 외부공기 속에 포함되어 있는 미세먼지 역시 그 원인이 된다. 미세먼지의 오염도는 터널, 승강장, 대합실, 외기 순서로 높은 값을 보였다(Ministry of Environment, 2008). 또한 지하 층수로 내려 갈수록 미세먼지의 농도가 높게 나타났으며, 이는 구조적 축적에 의한 것 이라는 결과와 일치하였다(Kim and Paik, 2004). 최근 지하철의 쾌적성을 고려하여 냉방 시스템이나 공기청정시스템 등을 신규로 적용하고, 스크린 도어를 설치함으로써 승강장이나 대합실의 공기질을 개선하고 있으나 오래된 지하역사의 경우 공조시스템을 완전히 교체하기에는 비용적으로나 시간적으로 소모가 크다(Ministry of Construction & Transportation, 2002).

미세먼지 제어대상으로는 PM_{10} 이 일반적이었으나 “환경정책기본법 시행령 제2조”의 2011년 개정에 의하여 2015년부터 $PM_{2.5}$ 의 기준이 새롭게 수립되어 지하역사내에서의 미세먼지 농도는 이전보다도 더욱 주목받게 되었다. 공조실에서 먼지를 제거하는 방법으로는 섬유상 필터, 전기집진기, 세정형 장치 등이 이용되고 있다. 특히 서울시는 대부분 가격과 유지비용이 상대적으로 저렴한 pre-filter 급 섬유상 필터를 사용하여 공조시설을 운영하고 있다(Bae *et al.*, 2009). 그러나 pre-filter는 교체 초기의 포집효율이 매우 낮기 때문에 지하역사를 비롯한 지하공간의 공기질 조절이 용이하지 않은 문제점을 지니고 있다. 따라서 본 연구에서는 pre-filter의 초기 3~4일의 낮은 포집

효율을 보완할 수 있는 연동형 정전필터를 적용함으로써 초기 미세먼지의 통과량을 억제하는 실험을 진행하였다. 궁극적으로는 수도권 지하역사의 공기질 향상을 위하여 설치되어 있는 여과필터의 성능 개선을 위하여 낮은 압력강하를 유지하면서 포집효율을 극대화시키는 방안을 얻고자 본 연구를 진행하였다.

2. 실험방법

2.1 시험필터 및 장치

현장시험에 앞서 실험실 규모의 실험을 통하여 다단 여과필터 적용 시 압력강하가 증가할 것을 고려하여 사전에 여러종류의 정전필터를 시험하여 압력강하 대비 효율이 좋은 조건의 필터배치를 선정하도록 하였다. 시험용 정전필터는 선행연구의 결과를 참고하여 형태에 따라 일반 정전형 필터(EF: Electret filter), 섬유다발형 필터(EBF: Electret bundle filter), 그리고 주름형 정전필터(EPF: Electret plated filter)를 기준필터와 조합하여 관찰하였다(Li and Jo, 2009). EF는 MERV 10 수준으로서 국내 EGIS사의 것을 사용하였으며, EBF는 스웨덴의 Flimmer사 정전섬유다발형으로서 섬유외의 두께는 30~36 μm 이었으며, 모듈은 4cm 길이로 제작하였다. EPF는 EF를 굴곡형태로 제작하여 여과면적을 7배 이상 확대하였다.

실험장치는 그림 1에 개략적으로 도시한 바와 같이 정사각형의 샘플 필터(4cm×4cm)를 삽입할 수

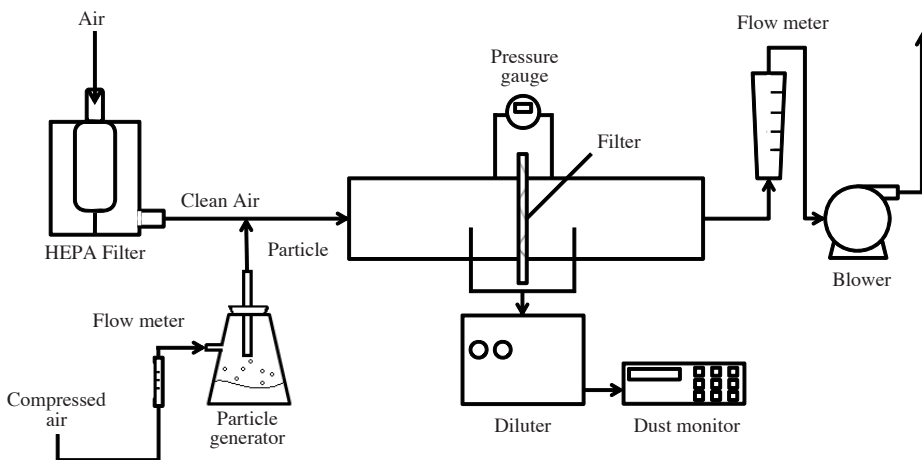


Fig. 1. Schematic set-up for lab scale experiment.

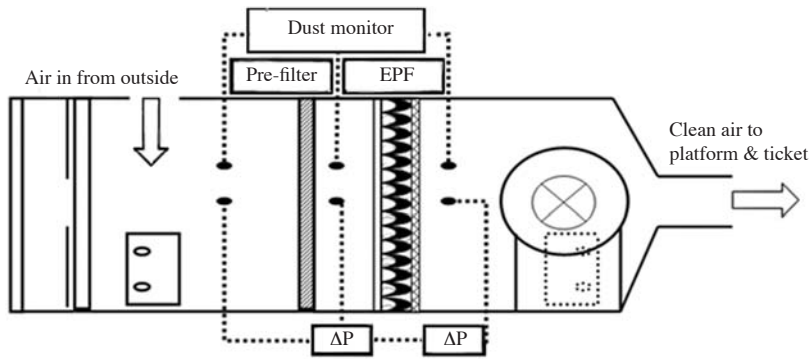


Fig. 2. MVAC system with filters in the test field station.

있는 필터지지체와 충분한 길이의 유로(덕트의 전후, 각 50 cm)를 아크릴 소재로 제작하여 구성하였다. 장치로 공급되는 공기는 외부로부터 유입되는 미세먼지의 영향을 최소화시키기 위해 HEPA Filter (High efficiency particulate air Filter)를 이용하여 청정상태를 유지하였다. Particle generator에 압축공기를 일정량 공급하면서 먼지입자 농도를 균일하게 조성하여 청정공기에 공급하였다. 공기흐름의 미세먼지량은 Diluter를 이용하여 100배로 희석하여 입자분석기(Grimm, Portable aerosol spectrometer, Germany)로 실시간 측정하였다. 여과가 진행되면서 발생하는 압력강하(ΔP)는 디지털 차압계(Ulfa, PLT-D5000Pa)를 필터 전, 후단에 연결하여 측정하였다. 또한 실제 공조장치처럼 일정한 유량을 유지하기 위하여 송풍기에 유량계를 연결하여 압력강하가 발생하더라도 공기흐름이 일정할 수 있도록 조정하였다.

2. 2 현장실험

현장실험의 경우 서울의 D-지하역을 시험역으로 선정하였다. 그림 2에 개략적으로 도시한 바와 같이 공조설비로 유입되는 외부공기와 실내순환공기에 포함되어있는 PM₁₀과 PM_{2.5}의 양을 필터의 전·후단에서 측정하여 포집효율을 계산하였다. 또한 동시에 미세먼지가 필터에 포집되면서 유발하는 각 필터 전·후의 압력차(ΔP)를 알기 위하여 디지털 차압계를 그림 2와 같이 각 구간에 설치하였다. 한편, 공조실 여과설비 외에 대합실과 승강장의 미세먼지 농도를 현장에서 실시간으로 측정함으로써 신규여과공정의 효과를 파악하였다.

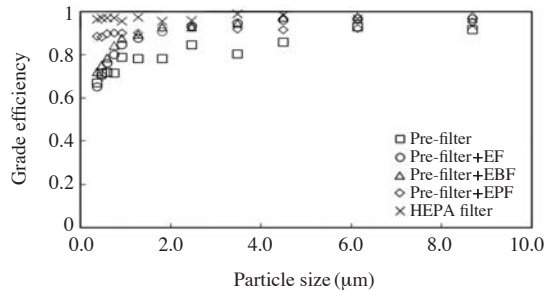


Fig. 3. Grade efficiency of test filters from lab test.

3. 결과 및 고찰

3. 1 시험여과필터의 특성분석

시험역사 현장에 설치되어 있는 pre-filter는 섬유상 판넬형으로서 관성에 의한 입자포집이 주요 메커니즘이다. 각 시험필터의 포집효율을 상대적으로 평가하기 위하여 동시에 HEPA 필터의 성능과 비교해 보았다. 정전필터는 관성형 pre-filter에 포집되지 않은 채 빠져나오는 PM_{2.5}에 대한 포집효과를 향상시킬 것으로 기대하였다.

그림 3은 입자크기별 포집효율을 나타낸 그래프로서 pre-filter와 정전형 필터를 직렬로 장착한 조합(pre-filter+EF, pre-filter+EBF, pre-filter+EPF)이 단순히 pre-filter만을 설치한 경우보다 분명한 효과가 있음을 알 수 있었다. 그 가운데서도 6.0 μm 이하의 입자에 대하여 각 필터조합들의 상대적인 차이가 나타나고 있다. 특히 미세입자로 분류될 수 있는 PM_{2.5}에서 각 조합의 차이가 조금씩 나타나고 있으며,

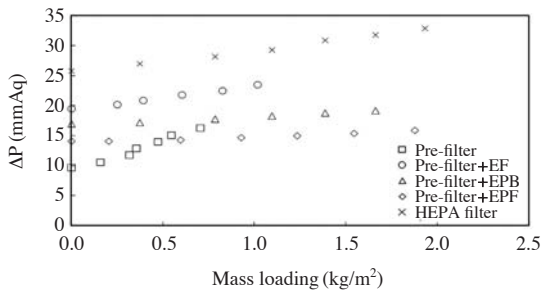


Fig. 4. Pressure drop of test filter lay-out from lab test.

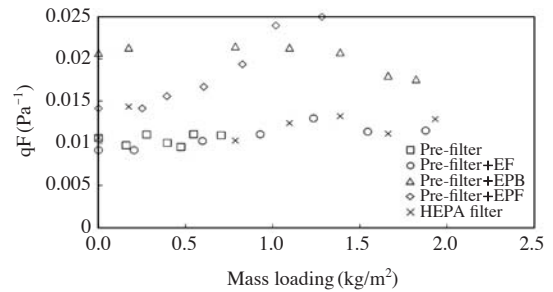


Fig. 5. Filter quality of test filter lay-out from lab test.

HEPA 필터는 99% 이상의 고효율 포집성능을 보여 주었다. 또한 후단부에 EPF를 삽입하였을 경우, 매우 작은 크기의 입자까지도 90% 이상을 유지하면서 포집할 수 있었다.

현재 지하역사 현장에 적용되어 있는 pre-filter는 5 μm 이하의 미세먼지에 대하여 급격히 포집효율이 낮아지는 결과를 나타냈다. 특히 PM_{2.5} 범위의 먼지에 대하여는 상대적으로 80%를 밀도는 낮은 값을 나타냈다. Pre-filter는 전형적인 관성력과 부분적인 확산효과에 의해 미세입자를 포집하는 메카니즘이므로 신규필터의 경우는 매우 저조한 입자포집효율을 보이지만 여과가 진행되면서 세공이 따라서 비교적 큰 입자를 앞선 단계에서 pre-filter로 1차 포집하고, 정전기 효과가 감안된 정전필터를 후단부에 설치함으로써 미세한 입자까지도 정전기력에 의해 추가 포집할 수 있는 다단 구조의 여과구조를 구성함으로써 총괄포집효율은 이전보다 10% 이상 향상되었다. 그러나 1 μm 이하의 초미세입자들은 여전히 상당한 양이 포집되지 않은 채 통과하는 것으로 나타났다.

그림 4는 각 필터조합별 압력강하를 나타낸 그래프이다. 앞선 실험에서 HEPA filter는 미세입자도 고효율로 포집하는 것으로 나타났으나 일반적으로 현장에서 사용하지 않는 이유는 높은 압력저항 때문이다. 실제 측정 결과, HEPA filter의 경우 여과초기에서부터 입자포집량이 증가함에 따라 25 mmAq 이상에서 시작하여 꾸준히 증가하는 추세를 보여주었다. Pre-filter와 EF는 20~24 mmAq, EPB는 15~18 mmAq를 보였으나, 반면에 EPF와의 조합에서는 14~16 mmAq의 다소 낮으면서도 포집량에 관계없이 비교적 일정한 압력강하를 보였다. 한편, 가장 기본형인 pre-filter의 경우에는 10 mmAq라는 가장 낮은 압력

강하를 보였으나 포집량이 증가할수록 압력강하의 증가폭은 가장 크게 나타났다.

그림 3과 그림 4의 결과를 토대로 필터의 상대적 성능을 평가하는 필터질(q_f : Filter quality)을 계산하였다. Hinds (1998)에 의하면 서로 다른 특성을 지닌 필터를 평가할 때 필터질의 정의를 적용하며, 입자가 필터의 특정 층에서 포집되는 효율 대비 단위 두께에 대한 압력강하의 비로써 정의되어, 식(1)과 같이 나타낸다.

$$q_f = \frac{E_i}{\Delta P/t} = \frac{\ln(1/P_i)}{\Delta P} \quad (1)$$

이때, E_i 는 입자의 포집효율, ΔP 는 압력강하(Pa), t 는 여과시간, 그리고 P_i 는 t 시간 동안의 통과율을 의미한다.

한편 Kalayci *et al.* (2006)는 Hinds와 유사한 개념을 적용하여 다음의 식(2)를 통하여 필터질을 계산하였다.

$$q_f = \frac{\eta}{\Delta P} \quad (2)$$

$$\eta = \frac{Q_i - Q_o}{Q_i}$$

이때 Q_i 는 유입 입자농도, Q_o 는 통과 입자농도를 의미하며 ΔP 는 Hinds의 식에서와 동일하게 압력강하를, η 는 효율을 의미한다.

본 실험에서는 단일 필터의 성능이 아닌, 두 가지의 필터를 조합하여 그 효율을 보기 위한 것이기 때문에 필터의 두께를 고려하여 필터 성분에 초점을 맞춘 식(1)보다는 식(2)를 적용하여 필터의 여과율과 압력강하에 초점을 맞추어 비교 분석하였다. 그

림 3과 그림 4에서 얻은 결과를 토대로 그림 5와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

필터질의 계산 결과 「pre-filter+EPB」는 여과를 시작한 초기에, 즉 집진량이 적을 때 높은 값이 유지됨으로써 여과효과가 크게 나타났으나 포집되는 미세먼지의 양이 증가하면서 점진적으로 감소하는 경향을 보여주었다. 반면에 pre-filter와 EPB 또는 EPF를 조합하였을 경우, 필터질 값이 초기에는 상대적으로 낮게 나타났다. 그러나 EPF가 삽입된 공정의 경우, 집진량이 증가할수록 높은 값을 나타냄으로써 압력강하의 양이 필터의 포집효율 증가만큼 크지 않음을 유추할 수 있었다. 즉, 포집효율이 매우 높은 HEPA 필터는 먼지입자가 쌓임에 따라 압력강하도 함께 증가하므로 궁극적인 필터질은 거의 일정하게 유지되는 모습을 보였다. 이러한 결과를 토대로 지하역사의 공조실에서 일반적으로 사용되는 pre-filter와 더불어 EPF를 조합하여 시험역사 현장 여과실험에 적용하였다.

3. 2 현장 시험분석

Lab scale 실험으로부터 선택한 pre-filter와 EPF를 지하철 역사의 MVAC에 각각 설치한 후, 28일 동안 연속 시험을 실시하였다. 그림 6과 그림 7에 각각의 개별필터 전, 후에서 측정한 PM₁₀과 PM_{2.5}의 농도를 요약하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 현장 역사에서도 단일 필터간의 차이가 분명히 존재함을 알 수 있었다. 즉, PM₁₀을 기준으로 기존의 pre-filter는 입자의 포집효율이 최대 60%를 넘지 못하고 있음을 알 수 있는 반면, 정전효과를 지닌 EPF는 약 70%의 포집효율을 나타냈다. 두 종류 필터의 여과성능은 PM_{2.5}에서 보다 분명히 차별화되어 각각 약 40% 정도의 포집효율과 50~60%의 효율을 각각 보여주고 있다. 무엇보다 pre-filter는 사용 기간에 따라 포집되는 먼지량의 차이가 있고, 그에따른 포집효율의 변화량도 크게 변동되고 있었다. 그러나 EPF는 상대적으로 꾸준한 포집성능을 보여줌으로써 안정적인 여과효과를 유지할 수 있을 것으로 판단되었다. 이는 실제 상황에서도 EPF가 정전필터의 고유한 특징인 정전기력을 이용하여 보다 미세한 먼지를 잘 포집한다는 기존 연구결과와 동일하였다(Ji et al., 2012; Ahn, 1997). 다만, pre-filter의 경우는 실험실 결과보다 낮은 포집효율을 보였다. 이는 실험실 규모에서의 규격화된 미

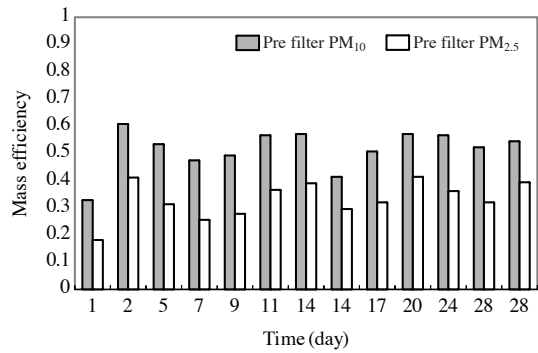


Fig. 6. Mass based dust collection efficiency of conventional Pre-filter in field MVAC.

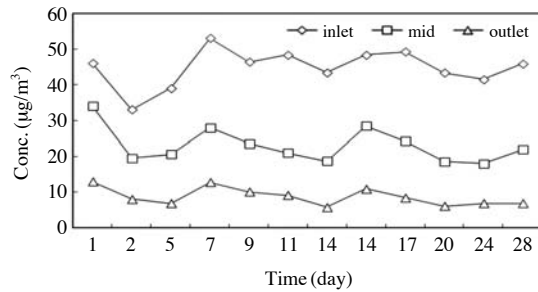


Fig. 7. PM₁₀ concentration variation of each point in MVAC for Pre-filter and EPF.

세먼지가 아닌 실제 미세먼지의 다양한 크기분포에서 오는 영향 및 사영역의 발생 등에 의한 것으로 보여진다.

앞선 실험의 결과로 선택한 조합에 의한 실질적 개선효과를 평가하기 위하여 28일간 pre-filter와 EPF를 장착하여 MVAC로 유입되는 먼지 (inlet)와 pre-filter 후면 (mid), 그리고 EPF를 거쳐 역사 내로 공급되는 지점 (outlet)의 PM₁₀과 PM_{2.5}의 농도값을 측정하여 그림 8과 그림 9에 요약하였다. 현장에서 발생할 수 있는 환경조건에 따라 부분적인 측정자료의 돌출이 발견되고는 있지만, 공조기를 거치는 미세먼지의 양은 외기로부터 MVAC에 유입되는 공기에 함유된 미세먼지 양과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 시험기간 중 외부로부터 유입되는 공기의 PM₁₀ 농도는 34 µg/m³에서 53 µg/m³까지로 비교적 청정한 상태를 유지하였다. 이러한 유입공기는 1차 pre-filter를 거치면서 20 µg/m³에서 35 µg/m³까지 여과되고, 다시

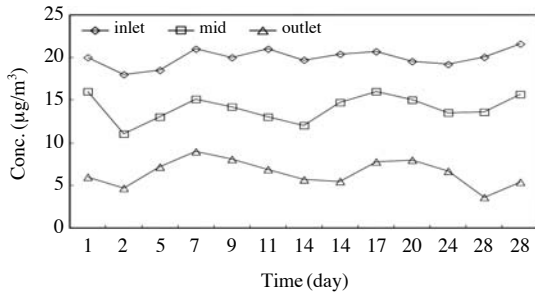


Fig. 8. PM_{2.5} concentration variation of each point in MVAC for Pre-filter and EPF.

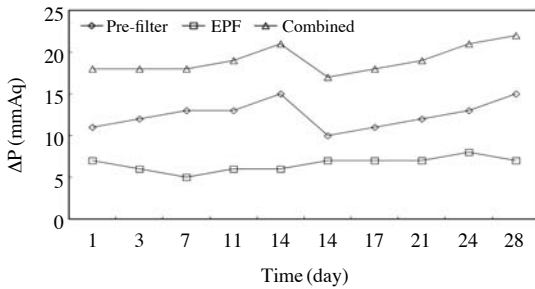


Fig. 9. Pressure drop variation across test filter lay-out.

2차 EFP에 의해 약 10 µg/m³ 정도의 매우 청정한 공기로 정화되어 역사 실내로 공급될 수 있음을 보여 주었다. 한편 PM_{2.5}에 대하여 관찰한 결과, 외부의 PM_{2.5} 농도는 약 20 µg/m³이었으며, 여과공정을 거쳐 최종적으로 10 µg/m³ 이하로 일정하게 유지된 채 덕트를 통하여 대합실과 승강장으로 공급되었다.

한편, 시험 필터조합에 대한 압력강하 변화량은 그림 10과 같이 나타났다. 그림 4에서 시험실규모의 압력강하 비교 실험결과 pre-filter와 EPF를 조합한 총괄압력강하 (combined) 값은 약 18 mmAq가량을 시작으로 지속적으로 증가하고, pre-filter를 교체한 직후인 14일자에는 현저히 낮아진 후, 여과가 진행됨에 따라 다시 증가하는 경향을 반복하고 있다.

반면에 EPF의 압력강하는 6~7 mmAq의 일정한 값을 유지하고 있었다. 총괄적인 압력강하의 절대값은 기존의 pre-filter에서 발생하는 압력강하 값에 EPF의 압력강하 값이 추가되는 결과이다. 결국 총괄 압력강하는 pre-filter의 압력강하 값의 변화에 크게 의존하는 상관관계를 보여주고 있다. 따라서 역사 내

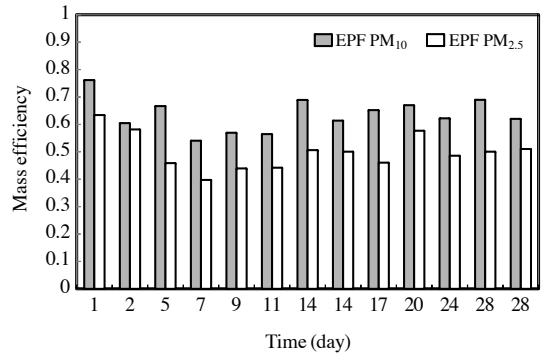


Fig. 10. Mass based dust collection efficiency of EPF in field MVAC.

Table 1. Dust collection efficiency of newly renovated stations in Seoul.

Line	Station	Facility	PM ₁₀	PM _{2.5}
2	M	prefilter+EP+UV	69%	55%
	S.W		67%	43%
3	N	Role filter	35~80%	-
	U	EP	65~75%	-
4	D	Filters	82%	55%
			8	G

부로 공급되는 공기가 보다 깨끗하고, 안정적인 공기 질을 유지할 수 있도록 정전형 필터를 장착할 때 약 50% 정도의 추가적인 압력강하가 발생할 것으로 사료된다.

본 이중여과장치의 미세먼지 포집효율을 타 역사에 최근 설치된 설비와 비교하여 표 1에 요약하였다.

본 연구에서 시험한 현장인 D역사를 제외하고 모두 유입구에 습식 데미스터가 장착되어 있었다. 공조기 내부에는 pre-filter와 함께 자동세정형 전기집진기와 UV 램프, 전기집진기와 냉각코일 등으로 이루어져 있었다.

M역사의 경우 전기집진기가 설치되어있으며, 초미세입자인 PM_{2.5}의 포집효율은 D역사와 유사한 55%의 효율을 나타내었으나 PM₁₀에 있어서 약 13% 정도 낮은 값을 보였다. 또한 N역사와 U역사의 경우 PM₁₀의 효율이 일부 높게 측정되기도 하였으나 그 효율 변화의 폭이 상당히 크게 나타나 일정한 농도

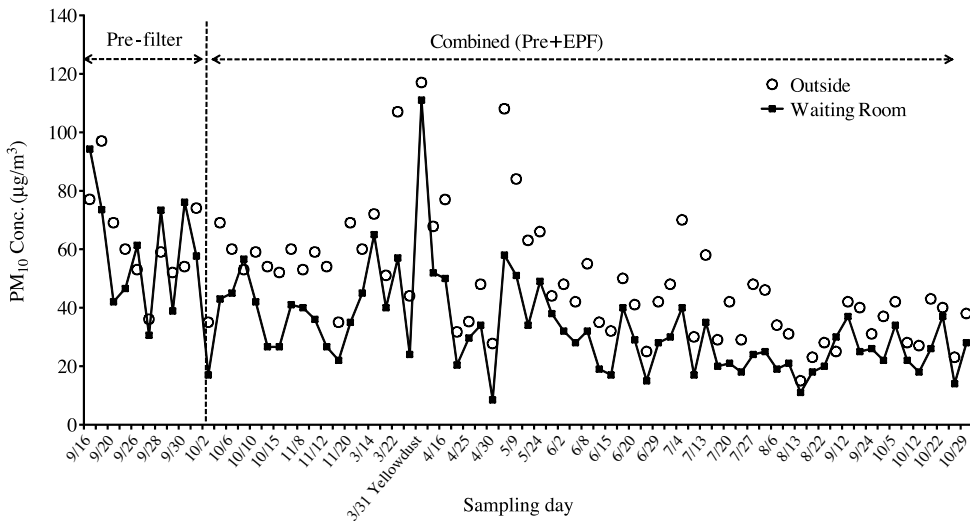


Fig. 11. Variation of PM₁₀ concentration at subway waiting room and outside.

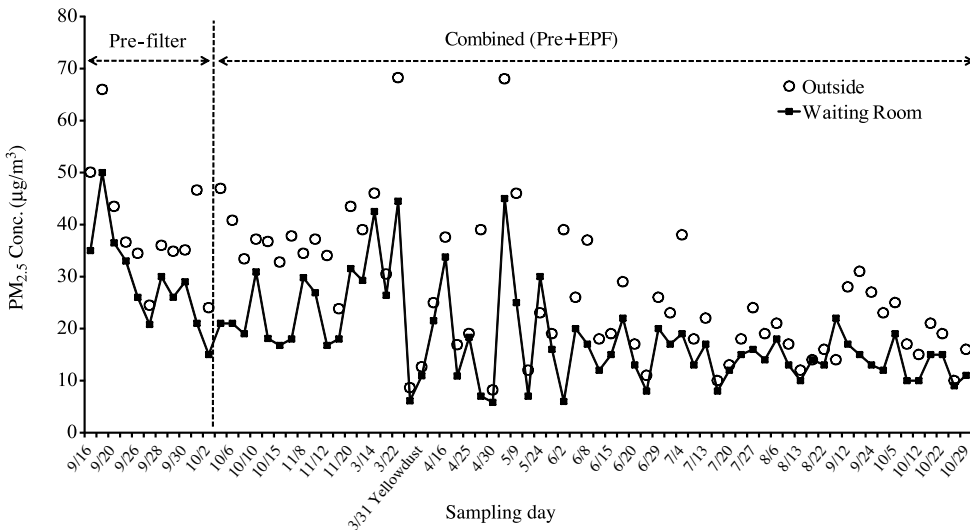


Fig. 12. Variation of PM_{2.5} concentration at subway waiting room and outside.

값으로 역사 내부로 공급되지 못하고 있는 실정이었다. 특히, PM_{2.5}의 경우 효율을 계산하기 힘들 정도로 변화폭이 크게 나타나는 문제점이 있었다. 이러한 각 역사들에 대한 포집효율의 고찰로부터 본 연구에서 시험한 이중여과장치가 상대적으로 안정된 여과효율을 유지하면서 내부로 깨끗한 공기를 공급해 주기 때문에 역사의 공기질 관리가 용이할 것으로 판단된다.

3.3 실내 미세먼지의 장기 변화 고찰

공조시설의 MVAC에서 여과된 공기는 내부 덕트를 통하여 대합실과 승강장으로 공급되고 있다. 이때 덕트 내부에 적체되어 있는 먼지입자가 부분적으로 부유하여 청정공기에 혼합되어 일종의 미세먼지 발생원으로 작용할 수 있으므로 재비산된 미세먼지가 깨끗해진 공기와 함께 공급될 가능성이 있다(Korean

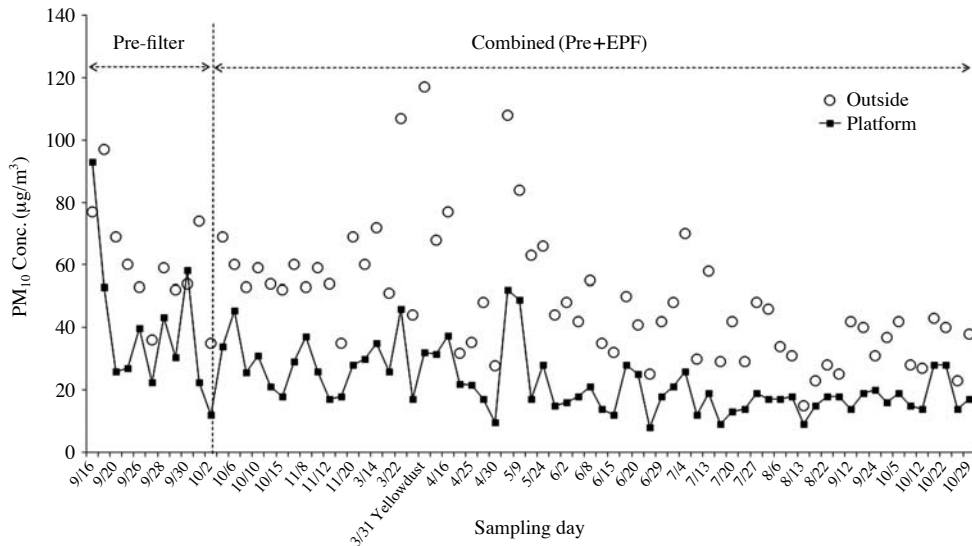


Fig. 13. Variation of PM₁₀ concentration at subway platform and outside.

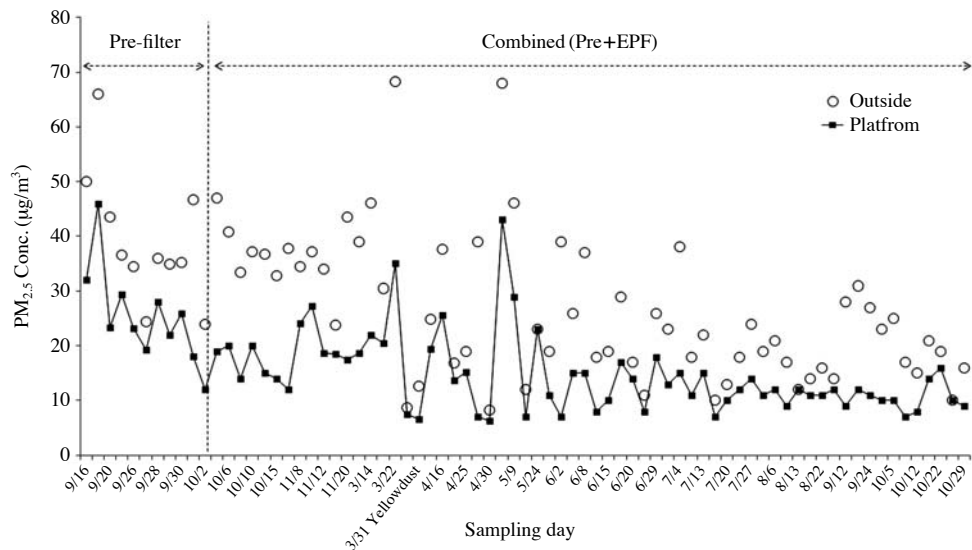


Fig. 14. Variation of PM_{2.5} concentration at subway platform and outside.

Air Vent Information, 1988). 본 연구에서는 상기의 pre-filter와 EPF의 조합을 장착하여 1년 이상 운전하면서 대합실과 승강장에서의 PM₁₀과 PM_{2.5}의 농도를 측정하였다. 측정결과 겨울철의 비가동 기간을 제외하고 그림 11~그림 14에 도시한 미세먼지의 농도분포를 살펴보면 pre-filter만을 장착했던 초기

(9/16~10/2)의 미세먼지량에 비하여 현저히 낮은 양의 PM₁₀과 PM_{2.5}가 대합실과 승강장에서 발견되었다. 특히 승강장은 외부 공기질에 좌우되지 않은 채 매우 낮은 수준의 미세먼지 양을 유지하고 있었다. 무엇보다 황사가 발현된 3월 31일자의 수치를 살펴보면, 외기에 노출되어있는 공간이 많은 대합실의

경우 갑작스러운 미세먼지의 급격한 증가를 따라 먼지량이 크게 증가하였다. 그러나 낮은 위치에 소재하고 있는 승강장은 외기의 영향을 덜 받으면서 $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하의 PM_{10} 과 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하의 $\text{PM}_{2.5}$ 농도로서 매우 청정한 공기질을 유지하고있었다.

현장에서의 장기변화 시험에 있어서 pre-filter만을 적용하였을 경우 미세먼지 포집효율은 30~60% 정도로서 신규필터와 교체직전의 여과효율이 크게 차이가 남으로써 역사 실내공기질을 일정하게 유지하는 것이 어려운 현실이었다. 그러나 이중여과장치를 적용할 경우는 여과효율을 60~80%를 꾸준히 유지하고 있음을 알 수 있다. 즉, 실내 유입 공기질을 현격히 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 외부의 영향을 최소화하며 일정한 미세먼지 농도로 관리가 가능할 것으로 사료된다.

4. 결 론

현재 수도권 지하역사의 공기질 향상을 위하여 많은 연구원들의 다양한 시도가 진행되고 있다. 이에 역사 공조실에 설치되어 있는 여과필터의 성능을 개선할 수 있는 방안을 얻고자 본 연구를 진행한 결과, 실험실 시험을 통하여 pre-filter와 주름형 정전필터(EPF)를 조합하여 설치하는 것이 가장 높은 필터질(q_f)값을 가지는 것으로 나타났다. 실제로 현장 장기 시험 결과 PM_{10} 은 85%로 타역사보다 50~5% 이상 높은 포집효율을 보였으며, $\text{PM}_{2.5}$ 는 55%의 집진효율을 보였다. 현장 장기시험결과, 이와같은 필터조합은 외부 여건에 관계없이 승강장에서의 미세먼지 농도는 일정하게 낮은 값을 유지하고 있었다. 동시에 여과가 진행되면서 낮은 압력강하 값이 유지될 수 있음을 보여주어 기존 공조설비를 이중여과장치로 개선함으로써 포집효율을 극대화시킬 수 있었다. 따라서 공조시스템을 완전히 교체하기 곤란한 역사에 적용하면 보다 효과적인 결과를 보일것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2012년도 서울시 산학연 협력사업 기술

기반 구축사업(특정과제) 지하역사 및 터널의 인공지능형 공기질 제어 및 관리시스템 개발(CS070160)에 의해 수행되었다.

References

- Ahn, K.H. (1997) Aerosol filtration by electret and electrostatic filters, J. of Air-Conditioning and Refrigeration, 26(1), 18-22 (in Korean with English abstract).
- Bae, S.J., S.H. Hwang, and C.H. Shin (2009) A preliminary study of Standardization Plan on Underground Air Filtration Facility, Railway Journal, 16(1), 919-929 (in Korean with English abstract).
- Hinds, W.C. (1999) Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles, John Wiley & Sons, Inc., New York, 183-205.
- Ji, S.M., J.R. Son, and H.S. Park (2012) Influence of particle and filter charge on filtration property of air filter under particle loading, J. KOSAE. 28(6), 644-655 (in Korean with English abstract).
- Kalacyci, V., M. Ouyang, and K. Graham (2006) Polymeric nanofibers in high efficiency filtration applications, Filtration, (6), 286-293.
- Kim, J.K. and N.W. Paik (2004) A Study on characteristics of Airborne Dusts in Seoul Subway Station, Kor. J. Env. Hlth., 30(2), 154-160 (in Korean with English abstract).
- Korean Air Vent Information (1988) Cleaning technology for MVAC, Korean Equipment Tech. Journal, 5(3), 97-102.
- Li, K. and Y.M. Jo (2009) Application of Electret Filters for Dust Collection in a Subway MVAC System, Meeting Abstracts : The fall meeting of KOSAE, 590-592.
- Ministry of Construction & Transportation (2002) The Research of Environmental Management Plan and Pollutants Reduce in Subway.
- Ministry of environment (2008) Management of underground subway air quality improve during 5 years.