ISSN 1738-8716(Print)
ISSN 2287-8130(Online)
Particle and Aerosol Research
Par. Aerosol Res. Vol. 20, No. 2: June 2024 pp. 69-77
http://dx.doi.org/10.11629/jpaar.2024.20.2.069

지하역사 공기청정기 성능평가 및 필터 유지보수 실증 연구

노광철[1)*] · 김상우[1)] · 황청하[1)]
[1)]에어랩 주식회사

(투고 2024년 6월 4일, 수정 2024년 6월 14일, 게재확정 2024년 6월 15일)

Empirical study on evaluation of performance and filter replacement cycle of air cleaners installed in subway station

Kwang Chul Noh[1)*], Sang Woo Kim[1)], Cheong Ha Hwang[1)]
[1]*Air Lab, Inc.*

(Received June 4 2024; Revised June 14 2024; Accepted June 15 2024)

Abstract

In this study, the performance of air cleaners installed in subway stations was evaluated using field test method and chamber test method in accordance with the standard for air cleaner. Also, the air filter maintenance period was examined by the performance reduction of air cleaners with respect to the air filter usage period. From the field tests, the clean air delivery rate (CADR) of air cleaners with filter in use was about 85% on average compared to the ones with new filter. The main factor of CADR reduction was not the decrease of filter efficiency but the decrease of airflow rate. The chamber test results shows that the CADR of air cleaners decreased with the usage time, but the proper filter replacement can make the CADR keep about 95% of the certified CADR. The expected filter replacement cycle measured by the field test method was calculated to be approximately 3.35 months (100 days). However, the replacement cycle was a large difference between 1.2 and 6.6 months with the different stations. Therefore, the replacement cycle should be individually investigated for each station. The use of air cleaners must be effective in reducing fine dust in subway stations. For more effective air quality management in subway stations, additional researches is necessary to define the appropriate capacity of HVAC system and air cleaner, and related maintenance for each station.

Keywords: air cleaner, clean air delivery rate, filter maintenance, subway

* Corresponding author.
Tel : +82-62-222-7617, Fax : +82-504-341-7697
E-mail : creative@c-airlab.com

1. 서론

한국인은 24시간 중에서 20.3 시간을 건물 등의 실내에서 거주하고 교통수단(자동차, 버스, 지하철 등) 등의 캐빈에서 머무르는 시간이 약 3시간으로 조사되었다(Choi et al., 2013). 출퇴근 시간에 약 1시간 30분 정도 대중교통을 이용하기 때문에 주택과 사무실 등 주생활공간 다음으로 교통수단에서 머무르는 시간이 길다(Kim et al., 2015). 따라서 주요 대중교통수단인 지하철, 버스 등에서 이용객의 노출량을 줄이기 위해서는 실내공기질 관리가 매우 중요하다. 그러나, 지하역사 내부 승강장과 대합실의 $PM_{2.5}$, PM_{10}, NO_2, CO 농도는 외부 대기 수준보다 좋지 않았고, 일평균 농도는 법정 기준치를 만족하지만 특정 시간대에서는 기준치 상회하는 것으로 나타났다(Son et al., 2022). 가스상 오염물질(NO_2와 CO)은 주로 외부 대기에 기인되고, 입자상 오염물질($PM_{2.5}$, PM_{10})은 대기뿐만 아니라 열차의 운행과 같은 내부환경 요인이 큰 것으로 보고되었다(Lee et al., 2020; Son et al., 2022). 지하역사 초미세먼지($PM_{2.5}$) 농도 수준은 대기농도 수준보다 1-2 배 정도 높고 가장 붐비는 출퇴근 시간에는 2 배 이상이 될 수도 있다(Kwon, 2023). 따라서 지하역사나 전동차에서 머무르는 시간이 일평균 1-3 시간이라고 가정해도 주택이나 사무실에 비해 고농도로 노출되기 때문에 흡입 노출량은 높은 수준이다.

이러한 이유로 환경부와 지자체에서는 지하역사와 전동차에서의 미세먼지 농도를 감소시키기 위하여 2000년 중반부터 스크린도어를 설치하였고, 2019년 이후에는 공기청정기를 추가 설치하여 운영하고 있다. 지하철 승강장에 설치된 스크린도어는 지하역사의 내부 발생 오염원인 철 성분과 터널 내부 비산먼지가 승강장으로 유입되는 것을 억제하여 약 20%의 PM_{10} 저감효과가 있었다고 보고되었다(Lee et al., 2010). 지하역사 승강장에 설치된 공기청정기을 가동한 결과, 미세먼지와 초미세먼지에 대해 각각 약 24.3%, 24.4%의 저감효과가 있었고, 지능화 운전방식을 통해서도 유사한 효과가 나타난다고 보고된 바가 있다(Kwon, 2018).

2020년 코로나가 확산된 이후에는 지하역사 승강장에서 공조기와 공기청정기를 운전했을 때 바이러스 농도의 노출량에 대해 이론적으로 분석한 연구도 있었다. 공기청정기를 단독으로 사용하면 바이러스 노출량을 43 % 감소시킬 수 있고, 공기청정기와 공조기를 같이 사용하면 64 % 까지 낮출 수 있다고 보고되었다(Lee et al., 2022).

지하역사뿐만 아니라, 다중이용시설에서 공기청정기의 운전효과에 대한 연구는 다수 존재한다. Han et al.(2022)은 학교 교실에 공기청정기를 설치하여 $PM_{2.5}$와 PM_{10}의 저감효과를 관찰하였고 밀폐된 공간에서 공기청정기 사용이 미세먼지 저감에 효과적임을 입증하였다. 학교 교실 이외에도 어린이집이나 사무실, 강당 등에서 공기청정기를 사용하면 $PM_{2.5}$와 PM_{10}의 저감에 매우 효과적이라는 연구결과도 있다(Noh, 2015; Noh, 2016; Noh, 2022;). 이러한 연구결과들은 다중이용시설에서 공기청정기의 사용이 $PM_{2.5}$와 PM_{10} 저감에 효과적이라는 것을 증명한다.

2022년 기준 서울교통공사와 서울시메트로9호선(주)의 승강장 289개소에만 약 4,600대의 공기청정기가 설치되어 있다. 지하역사 승강장의 규모에 맞는 용량으로 공기청정기가 설치되고 정상적으로 유지보수가 이루어진다면, $PM_{2.5}$와 PM_{10} 저감에 효과적이라고 판단된다. 본 연구에서는 지하역사에 설치된 공기청정기의 성능을 현장에서 평가해 보았고 일부를 샘플링하여 공기청정기 시험규격에 맞게 챔버시험을 수행하였다. 그리고 공기청정기에 설치되어 사용 중인 필터에 대해 사용기간과 공기청정기의 성능감소량을 비교하여 필터 유지보수 기간을 산정하는 연구를 수행하였다.

2. 실험방법

2.1 공기청정기 성능평가 방법

공기정화장치의 정화성능은 청정화능력(clean air delivery rate, CADR)으로 표현된다(Noh and Oh, 2015; Noh, 2015; Noh and Yook, 2016). 청정화능력은 공기정화장치가 특정 오염물질을 제거하고 대상 공간으로 공급하는 청정 풍량을 의미한다. 단위는 ㎥/min, ㎥/hour 이다.

공기청정기의 청정화능력은 입자의 질량 보존방정식

으로부터 유도할 수 있으며 자세한 유도 방법은 논문(Noh and Yook, 2016)을 참고한다.

지하역사에 보급되는 공기청정기의 성능평가 방법은 한국공기청정협회의 단체표준인 실내공기청정기(SPS-KACA002-0132)와 국가표준인 공기청정기(KS C 9314)와 대용량 공기청정기 성능 시험방법(KS C 9326)이 있다. 위 공인 시험방법들은 밀폐된 챔버에서 실험을 수행하고 청정화능력을 산출한다.

그리고 현장에서 사용 중이거나 빌트인 된 공기청정기를 현장에서 평가할 수 있는 공기청정기 현장 시험방법(KACA-CAT-2023-07)이 있다. 이는 공기청정기의 풍량과 집진효율을 현장에서 실측하여 공기청정기의 성능을 추정하는 방법으로 공인시험과의 오차율은 약 10% 이다.

2.2 대상 시료 선정 및 실험방법

본 연구에 사용된 공기청정기는 단일 모델로서 2018년 인증된 공인 청정화능력이 정격 모드에서 20.2 ㎥/min, 소비전력은 75.7 W 인 제품으로 환경부 '지하역사 대용량 공기청정기 설치·관리 지침'에 따라 처리용량이 1,200 ㎥/h 이상을 만족하는 것이다.

대상 시료를 선정하기 위하여 서울시 지하철 5-8호선에서 10개 역사를 권역별로 균등하게 선정한 다음, 각 역사에 설치된 공기청정기 중 3대를 무작위로 채택하였다. 현장 시험은 총 30대를 선정하여 진행하였고 현장 시험 시료 중 2대와 신규 2대를 추가 선정하여 시험기관에 공인성능시험을 의뢰하였다(표 1 참조).

공기청정기의 성능을 평가하는 방법들은 모두 사용 중인 제품이 아닌 새 제품에 대해서만 유효하다. 그러나 본 연구에서는 사용 중인 제품들에 대해 필터만 신품으로 교체하여 성능평가를 수행하였다. 또한 필터의 유지보수 기간을 산정하기 위하여 제품에 표기된 필터 교체 날짜를 확인하고 사용 중인 제품에 대해서도 청정화능력을 측정하였다. D와 E 역사에서 신규로 선정된 시료에 대해서도 사용 중인 필터와 새 필터에 대해 챔버시험을 진행하였다.

Table 1 Test samples for measuring the CADR of air cleaners installed in subway platform

Subway line	Station name	Number of sample	
		On-site	Chamber
5	A	3	0
	B	3	0
	C	3	0
	D	0	1
	E	0	1
6	F	3	0
	G	3	0
	H	3	1
7	I	3	0
	J	3	0
8	K	3	1
	L	3	0

공기청정기 필터의 유지보수 시점은 일반적으로 초기 청정화능력 대비 50 % 로 성능이 감소했을 때로 결정한다. 이를 기준으로 지하역사에 설치된 공기청정기의 성능이 선형으로 감소한다는 가정하에 아래 식을 이용하여 유지보수 기간(T_m, day)을 산정하였다.

$$T_m = (0.5 \times CADR_0) / \left(\frac{CADR_0 - CADR_d}{\Delta Day} \right) \quad (1)$$

Figure 1 Measurement of collection efficiency and airflow rate of the air cleaner installed in the subway platform

여기서, $CADR_0$ 는 공기청정기의 초기 청정화능력(㎥/min) 또는 공인시험성적이고, $CADR_d$ 는 사용 중인 공기청정기의 측정 당일의 청정화능력(㎥/min), ΔDay 는 필터교체 후 운전 일수(day) 이다.

그림 1은 현장 시험방법을 이용하여 공기청정기의 집진효율과 풍량을 측정하는 사진이다. 집진효율은 광학식입자계수기(OPC; Model 1.109, GRIMM)를 사용하여 공기청정기 흡입구와 토출구에서 농도를 측정하여 계산하였다. 풍량은 베인식 풍량계(417, Testo)를 사용하여 흡입구에서 풍속을 측정하여 풍량을 계산하였고, 토출구에서 측정한 값은 참조 데이터로 사용하였다.

3. 실험결과

3.1 현장 시험

표 2는 현장시험방법으로 최대 풍량 모드에서 측정한 공기청정기의 집진효율을 보여준다. 시험일에 사용중인 필터의 집진효율은 평균 98.73 % 이었고 새 필터를 장착한 후 측정한 집진효율은 평균 99.37 % 이었다. 사용 중인 필터와 새 필터의 집진효율 차이가 크지 않은 것으로 봐서 필터의 집진효율이 공기청정기 청정화능력 감소의 주요 요인이 아니라는 것을 알 수 있었다.

표 3은 공기청정기의 최대 풍량 모드에서 측정한 풍량을 보여준다. 사용 중인 필터가 장착된 공기청정기의 풍량은 평균 22.5 ㎥/min 이었고, 새 필터로 교체한 공기청정기의 풍량은 평균 26.2 ㎥/min 이었다. 이러한 결과는 지하역사에 설치된 공기청정기 성능저하의 주요 요인이 필터 차압 증가에 따른 풍량 감소라는 것을 보여준다.

6호선 H 역사의 3번 시료의 풍량은 새 필터 대비 약 16% 수준으로 측정되었고, 8호선 L 역사의 시료 3개의 풍량은 초기성능 대비 약 36% 수준이었다. H 역사의 경우 풍량이 감소하는 원인을 파악할 수 없었으나, L 역사는 7개월 이상 필터 교체 없이 공기청정기가 운영되어(표5 참조) 필터 막힘에 의한 풍량 감소가 그 원인으로 파악된다.

표 4는 공기청정기의 최대 풍량 모드에서 측정한 청정화능력을 보여준다. 이 결과는 식 (2)에 에 의해 계산된다.

$$CADR = \eta \times (\varepsilon \times Q) \quad (2)$$

여기서, η는 필터효율 [-], ε은 공기순환효율 [-], Q는 풍량 [㎥/min] 이다. 이 식으로부터 표 2와 3에 제시된 집진효율과 풍량에 공기순환효율을 0.9 로 가정해서 산정한 값이다. 이는 공기청정기 현장 시험방법에서 제시한 계산법을 차용한 것이다.

Table 2 PM2.5 collection efficiency of the air cleaners measured by the on-site evaluation method

Line	Station	Filter in use									New filter replaced		
		Sample 1			Sample 2			Sample 3					
		In1) (㎍/㎥)	Out2) (㎍/㎥)	ε3) (%)	In (㎍/㎥)	Out (㎍/㎥)	ε (%)	In (㎍/㎥)	Out (㎍/㎥)	ε (%)	In (㎍/㎥)	Out (㎍/㎥)	ε (%)
5	A	14.4	0.1	99.3	14.7	0.1	99.3	18.1	0.2	98.9	15.0	0.1	99.7
	B	16.8	0.3	98.2	18.2	0.2	98.9	16.3	0.2	98.8	15.5	0.1	99.4
	C	11.7	0.1	99.2	14.9	0.2	98.7	14.7	0.1	99.3	11.7	0.1	99.2
6	F	17.6	0.1	99.4	13.6	0.1	99.3	17.0	0.1	99.4	19.9	0.1	99.5
	G	16.2	0.1	99.4	12.5	0.3	97.6	14.5	0.2	98.6	15.2	0.1	99.3
	H	25.3	0.2	99.2	21.8	0.3	98.6	24.9	0.9	96.4	24.5	0.1	99.6
7	I	18.9	0.1	99.5	17.1	0.1	99.4	21.3	0.1	99.5	18.4	0.1	99.5
	J	21.8	0.3	98.6	3.00	0.2	99.3	12.7	0.1	99.2	35.1	0.2	99.4
8	K	21.5	0.2	99.1	15.5	0.2	98.7	12.3	0.2	98.4	17.9	0.2	98.9
	L	18.4	0.5	97.3	14.4	0.4	97.2	14.7	0.4	97.3	14.9	0.1	99.3

where, In[1] is the PM2.5 concentration at inlet, Out[2] is the PM2.5 concentration at outlet, ε[3] is the collection efficiency

Table 3 Airflow rate of the air cleaners measured by the on-site evaluation method

Line	Station	Filter in use						New filter replaced	
		Sample 1		Sample 2		Sample 3			
		Average velocity (m/s)	Airflow rate (㎥/min)	Average velocity (m/s)	Airflow rate (㎥/min)	Average velocity (m/s)	Airflow rate (㎥/min)	Average velocity (m/s)	Airflow rate (㎥/min)
5	A	1.20	22.3	1.13	21.1	1.23	22.9	1.38	25.8
	B	1.06	19.8	1.04	19.3	1.04	19.3	1.20	22.4
	C	1.19	22.2	1.25	23.3	1.28	23.9	1.37	25.6
6	F	1.31	24.3	1.36	25.3	1.35	25.1	1.47	27.5
	G	1.29	24.0	1.22	22.6	1.22	22.7	1.42	26.5
	H	1.14	21.2	1.11	20.7	0.23	4.2	1.39	26.0
7	I	1.36	25.3	1.29	24.0	1.29	23.9	1.39	26.0
	J	1.10	20.4	1.09	20.4	0.99	18.4	1.41	26.3
8	K	1.16	21.6	1.09	20.3	1.16	21.5	1.36	25.4
	L	0.54	10.1	0.52	9.7	0.49	9.2	1.46	27.2

Table 4 Clean air delivery rate (CADR) of air cleaners measured by the on-site evaluation method

Line	Station	Filter in use				New filter replaced
		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Average	
		CADR (㎥/min)	CADR (㎥/min)	CADR (㎥/min)	CADR (㎥/min)	CADR (㎥/min)
5	A	20.0	18.8	20.4	19.7	23.1
	B	17.5	17.2	17.2	17.3	20.0
	C	19.8	20.6	21.3	20.6	22.8
6	F	21.8	22.6	22.5	22.3	24.6
	G	21.5	19.9	20.1	20.5	23.7
	H	18.9	18.4	3.6	13.6	23.3
7	I	22.7	21.5	21.4	21.9	23.3
	J	18.1	18.2	16.4	17.6	23.6
8	K	19.2	18.0	19.1	18.8	22.6
	L	8.8	8.5	8.1	8.5	24.3
Average		18.1			18.1	23.5

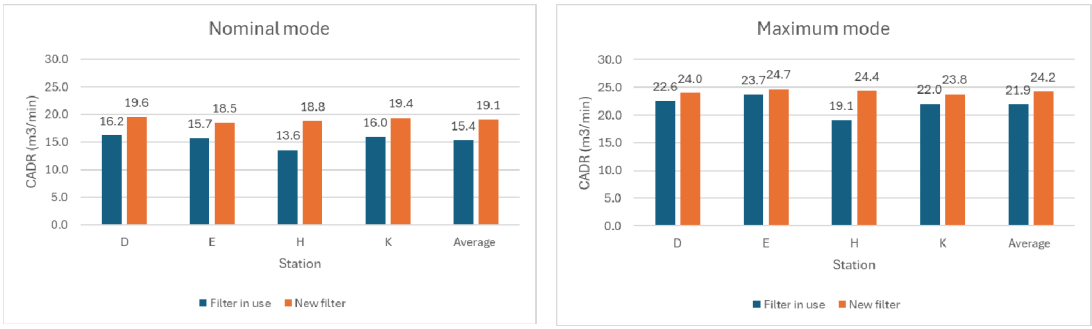
새 필터 대비 사용 중인 필터가 장착된 공기청정기의 청정화능력은 평균적으로 약 85% 수준으로 평가되었고 이로부터 지하역사 공기청정기의 유지보수는 전반적으로 잘 수행되고 있음을 알 수 있었다.

3.2 챔버 시험

그림 2는 공인시험방법(SPS-KACA002-0132)을 통하여 시험기관 챔버에서 측정한 청정화능력이다. 정격풍량 모드와 최대 풍량 모드, 사용 중인 필터와 새 필터를 변수로 청정화능력을 평가하였다.

정격 풍량 모드에서 새 필터 대비 사용 중인 필터가 장착된 공기청정기의 청정화능력은 약 81 % 수준이었고 최대 풍량 모드에서는 약 90% 수준이었다. 새 필터를 장착한 공기청정기의 정격 모드에서 측정된 청정화능력은 평균값이 19.1 ㎥/min 으로, 초기 인증값인 20.2 ㎥/min 에 비해 약 95% 수준으로 평가되었다. 이로부터 공기청정기 설치 이후 약 3년이 지났지만, 필터를 주기적으로 교체해 준다면, 공기청정기의 성능이 초기성능과 비슷한 수준으로 유지될 수 있음이 확인되었다.

공인시험기관에서 공기청정기의 풍량을 측정하였으나 대부분의 시험에서 풍량이 청정화능력보다 낮게 측정되었다. 이는 식 (2)에서 보는 바와 같이 풍량이 청정화능력보다 같거나 커야만 하는 이론에 모순된다. 따라서 현재 사용하고 있는 공기청정기의 공인 풍량 시험은 폐기되거나 개정되어야 할 것으로 판단된다.



(a) Nominal mode (b) Maximum mode

Figure 2 Clean air delivery rate (CADR) of air cleaners measured by the standard (SPS-KACA002-0132)

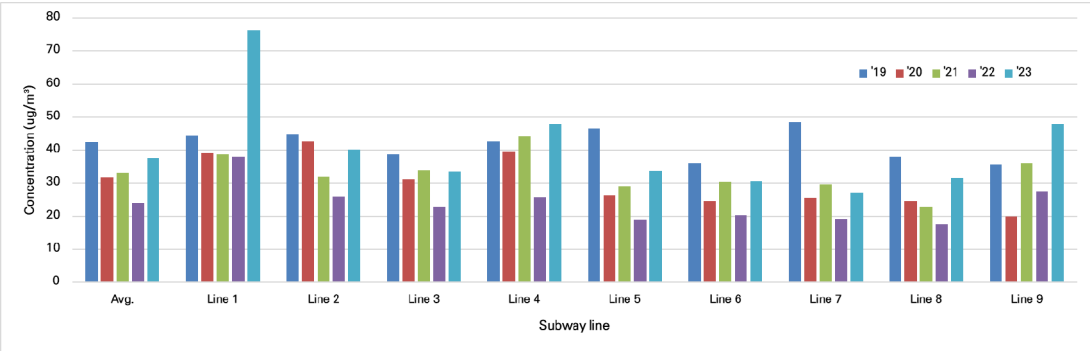


Figure 3 Variation of PM2.5 concentrations of the subway platforms in Seoul (www.inair.or.kr)

3.3 유지보수 기간 산정

지하역사에 설치된 공기청정기에는 설치 일자와 필터교체 일시가 표기되어 있다. 따라서 현장시험방법을 이용하여 사용 중인 필터가 장착된 상태로 청정화능력을 측정하고 새 필터로 교체한 후 청정화능력을 측정하면 공기청정기 운전 일수당 청정화능력의 감소량을 측정할 수 있다. 이를 바탕으로 공기청정기의 유지보수 시점을 알 수 있다.

표 5는 현장 시험 방법에 의해 측정된 예상 필터 교체 주기를 보여준다. 공기청정기 운전 일수당 공기청정기의 성능감소는 0.06 - 0.32 ㎥/min/day 로 역사별로 매우 큰 편차를 보이고 있다. 이를 바탕으로 공기청정기 필터의 교체시기를 계산해 보면 1.2 - 6.6 개월로 나타났다. 통상적으로 청정화능력의 측정오차가 10% 라고 가정하더라도 매우 높은 편차이다. 지하역사 공기청정기의 필터 교체 주기는 평균적으로 약 3.35 개월(약 100일)에 1회 정도로 계산되으나, 필터 교체 시기의 편차가 크기 때문에 지하역사별 교체주기를 다르게 가져할 것이다.

각 지하역사별로 예상되는 예상 필터 교체 주기를 일평균 승하차인원, 평균 환승인원, 연평균 $PM_{2.5}$ 농도와 연관성을 조사해 본 결과, 이 변수들은 필터 교체 주기와 연관성이 매우 낮은 것으로 확인되었다. 이러한 원인은 지하역사 공기질 측정 위치의 대표성 문제, 터널 내부로부터 유입되는 철 성분의 공기청정기로의 직접 집진, 외부 환경에서 유입되는 먼지의 직접 집진 등, 데이터로 나타나지 않는 원인 때문인 것으로 판단된다.

Table 5 Expected replacement cycle measured by the on-site evaluation method

Subway line	Station	Daily average boarding and disembarking (person)	Daily average transit (person)	Average PM2.5 in 2022 (㎍/㎥)	Filter usage period (day) [A]	CADR (㎥/min)			[B-C] / [A]	Expected replacement cycle (month)
						New filter [B]	Filter in use [C]	Reduction [B-C]		
5	A	7,734	1,640	13.3	22	23.1	19.7	3.4	0.15	2.5
	B	32,602	10,328	25.8	22	20.0	17.3	2.7	0.12	2.7
	C	17,052	3,869	21.2	38	22.8	20.6	2.2	0.06	6.6
6	F	31,404	9,382	27.9	0	24.6	22.3	2.3	-	-
	G	10,979	2,877	14.8	36	23.7	20.5	3.2	0.09	4.4
	H	6,442	1,640	20	30	23.3	13.6	9.7	0.32	1.2
7	I	31,006	8,102	18.9	6	23.3	21.9	1.4	0.23	1.7
	J	27,251	8,102	14.2	31	23.6	17.6	6.0	0.19	2.0
8	K	11,589	3,711	29.9	31	22.6	18.8	3.8	0.12	3.1
	L	15,761	3,653	14	233	24.3	8.5	15.8	0.07	6.0

3.4 지하역사 공기청정기 사용 효과

그림 3은 2019년부터 2023년 사이의 서울시 지하역사의 호선별 연평균 $PM_{2.5}$ 농도 변화를 보여준다. 이는 한국환경공단의 실내공기질 관리 종합정보망에서 제시한 데이터들을 수집하여 정리한 것이다. 2019년 공기청정기를 설치하기 시작한 이후부터 지하역사 $PM_{2.5}$ 농도는 감소하는 추세를 보이고 있으나 코로나가 종식된 2023년 이후에는 $PM_{2.5}$ 농도가 증가하였다. 이는 2019년 이후 감소하다가 코로나 종식 이후 다시 증가하는 대기 $PM_{2.5}$ 농도 변화의 영향과 무관하지 않다. 그럼에도 불구하고 필터에 의해 일정량의 미세먼지가 집진되고 주기적으로 교체가 필요한 것은 공기청정기의 사용이 지하역사 미세먼지 저감에 효과가 있는 것은 분명하다.

지하철 1-4호선(1기)의 평균 $PM_{2.5}$ 농도가 5-8호선(2기)의 평균 $PM_{2.5}$ 농도보다 상대적으로 높은 것은 2기 지하철의 설계기준이나 공조설비가 최신 기준에 부합되게 설치되었기 때문으로 판단된다. 그러나, 공기청정기를 설치한 이후에도 $PM_{2.5}$ 농도가 감소하지 않는 역사에 대해서는 설치 대수와 용량, 공조기 유입구와 토출구 등에 대한 재고가 필요할 것으로 판단된다. 지하역사별로 공기질 특성이 다르기 때문에 이를 감안하여 맞품형 개선방안도 필요할 것으로 보인다.

그리고 국민 일평균 노출량 관점에서 지하역사의 실내 공기질 기준치를 산정하는 연구에서부터 시작하여 이를 기준으로 공조기와 공기청정기 용량 산정의 적정성에 대한 연구, 이와 관련한 유지보수 기간에 대한 연구 등이 추가적으로 필요할 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 지하역사에 설치된 공기청정기의 성능을 현장시험방법으로 평가하였고 일부를 샘플링하여 공기청정기 공인시험규격에 맞게 챔버시험을 수행하였다. 또한 공기청정기에 설치되어 사용 중인 필터에 대해 사용기간과 성능감소량을 비교하여 에어필터 유지보수 기간을 산정하였다.

현장시험 결과, 측정 당일 사용 중인 필터의 집진효율은 평균 98.73 % 이었고, 새 필터를 장착한 후 측정한 집진효율은 평균 99.37 % 로 측정되었다. 이로부터 필터의 집진효율은 공기청정기 청정화능력 감소의 주요 요인이 아니라는 것을 알 수 있었다. 반면, 사용 중인 필터가 장착된 공기청정기의 풍량은 평균 22.5 ㎥/min 이었고, 새 필터로 교체한 공기청정기의 풍량은 평균 26.2 ㎥/min 로 확인되어 공기청정기 성능저하의 주요 요인이 필터 차압 증가에 따른 풍량 감소라는

것을 알 수 있었다. 새 필터 대비 사용 중인 필터가 장착된 공기청정기의 청정화능력은 평균적으로 약 85% 수준으로 측정되었다. 이러한 결과로부터 공기청정기 필터의 유지보수는 전반적으로 잘 수행되고 있음을 알 수 있었다.

챔버시험 결과, 정격 풍량 모드에서 새 필터를 장착한 공기청정기의 청정화능력은 평균값이 19.1 ㎥/min 으로 초기 인증값인 20.2 ㎥/min 에 비해 약 95% 수준으로 평가되었다. 이로부터 공기청정기가 설치된 이후 약 3년이 지났지만, 필터를 주기적으로 교체해 준다면, 공기청정기의 성능이 초기성능과 비슷한 수준으로 유지될 수 있음이 확인되었다.

현장 시험 방법에 의해 측정된 예상 필터 교체 주기는 평균 약 3.35개월(100일)로 계산되었다. 그러나, 필터 교체 주기가 지하역사별로 1.2 – 6.6 개월로 큰 편차를 보여서 지하역사의 특성을 파악할 후 필터 교체 주기를 산정하는 것이 필요하다.

공기청정기의 사용이 지하역사의 미세먼지 저감에 효과적이기는 하지만 역사별로 공조기와 공기청정기의 적정 용량 산정 연구와 이와 연관된 유지보수 연구 등이 추가적으로 시행된다면, 현재보다 효과적인 공기질 관리가 이루어질 것으로 판단된다.

References

Choi, I.W., Lee, J.S., Kim, D.G., Ryu, H.R., Kim, T.H., Lee, S.M., Lee, J.Y., Choi, Y.H., Kim, H.J. (2013). A Study Characteristic on Indoor Air Quality and Health Risk Assessment in Medical Facility, J. Korean Soc. Indoor Environ., 10(2), 115-128.

Han, B., Hong, K., Shin, D., Kim, H., Kim, Y.J., Kim, S., Kim, S.W., Hwang, Ch.H., Noh, K.C. (2019) Field tests of indoor air cleaners for removal of PM2.5 and PM10 in elementary school's classrooms in Seoul, Korea, Particle and Aerosol Research, Vol. 15(2), 79-90.

KACA-CAT-2023-07 (2023) Air cleaner on-site evaluation method, Korea Air Cleaning Association.

K SC 9314 (2019) Air cleaners, Korean agency for technology.

KS C 9326 (2021) Performance test method of large scale air cleaner, Korean agency for technology.

Kim, J., Lim, S., Choo, S., Park, I. (2015) Analysis of transit ridership patterns and influencing factors in Seoul, The Korea Spatial Planning Review, Vol. 87, 49-65.

Kwon, S.B. (2018) Analysis of air purifier empirical cases - Research case of smart air quality management system in underground station, Air cleaning technology, KACA, Vol. 31(3), pp. 39-43.

Kwon, Y. (2023) Characteristics of Fine Particulate Variations in the Underground Subway Platforms: A Case of Seoul, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, Vol. 39(5), 675-695.

Lee, G.H, Kim, S.B., Park, I., Hong K., Lee, Y., Kim, H.J., Kim, Y.J., Han, B. (2022) Comparison of applicability of HVAC and air cleaners in a subway station platform against airborne infection of SARS-CoV-2, Particle and Aerosol Research, Vol. 18(3), 51-59.

Lee, H.D., Lee, S.H., Park, C.G. (2020) Characteristic Analysis of PM in Seoul Subway Station and Performance Evaluation of Bi-directional Electrostatic Precipitator for Reduction of PM, Journal of Fluid Machinery, Vol. 23(2), 23-29.

Lee, T.J., Jeon, J.S., Kim, S.D., Kim, D.S. (2010) A Comparative Study on PM10 Source Contributions in a Seoul Metropolitan Subway Station Before/After Installing

Platform Screen Doors, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, Vol. 26(5), 543-553.

Ministry of Environment, Comprehensive indoor air quality management network, www.inair.or.kr

Noh, K.C. (2015). Theoretical investigation on clean air delivery rate and cost-effectiveness of indoor environment control technologies in a child care center, J. Odor Indoor Environ. Vol.14, No.2, pp.128-135.

Noh, K.C. and Yook, S.J. (2016). Evaluation of clean air delivery rates and operating cost effectiveness for room air cleaner and ventilation system in a small lecture room. Energy Build. Vol. 119, pp. 111-118.

Noh, K.C. (2022) Introduction on new concept of air cleaning per hour (ACH) for controlling contamination and infection, Air cleaning technology, Korea Air Cleaning Association, Vol. 138, pp. 93-99.

Son, Y.S., Yu, S.J., Seo, S.H., Choi, I.Y. (2022) Effects of Indoor Air Quality in Subway Systems according to Changes in Outdoor Air Quality, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, Vol. 38(1), 13-29.

SPS-KACA002-0132 (2022) Indoor air cleaners, Korea Air Cleaning Association