

TECHNICAL NOTE

미세먼지 자동측정장비의 정확도 향상 방안 연구

조민철* · 김승호 · 나혜윤 · 김난희 · 조광운 · 배석진 · 이세행

광주광역시 보건환경연구원

A Study on How to Improve the Accuracy of Automatic Micro Dust Measurement Equipment

Min-cheol Cho*, Seung-Ho Kim, Hye-Yun Na, Nan-Hee Kim, Gwang-un Cho,
Seok-Jin Bae, Se-Haeng Lee

Health and Environment Research Institute of Gwang-Ju, Gwangju 61954, Korea

Abstract

This study was conducted to propose a way to increase the accuracy and precision of β -ray measurement equipment. Statistical processing results of equivalent evaluation data from 2016 to 2021 confirmed that the concentration of micro dust measured by β -ray measurement equipment was higher than that of micro dust sampler. According to quarterly data, it was confirmed that the data from the third quarter (July to September) showed a different trend from other periods, which is assumed to be due to weather conditions. This study indicates that automatic micro-dust measurement equipment evaluation at air pollution measuring stations during the third quarter should be excluded. The evaluation cycle should be changed from once every two years to quarterly. In addition, when the criterion for determining equivalence evaluation falls within the range of the slope and intercept values of the existing trend line, it is necessary to evaluate the R^2 value together and reduce the slope from 0.9-1.1 to 0.9-1.0.

Key words : Micro dust, β -ray measurement equipment, Micro dust sampler, Equivalence evaluation

1. 서론

입자상 오염물질인 미세먼지는 인위적인 산업 활동에 의해 발생하는 입자가 대부분을 차지하며, 입자의 크기에 따라 10 μm 이하의 물질을 PM-10으로, 2.5 μm 이하를 PM-2.5로 구분하고 있다. 미세먼지가 인체에 미치는 영향은 여러 가지 요인이 있으나 입자가 작을수록 호흡기 및 순환기 질환에 미치는 위해성이 크다고 보고됨에 따라 최근 미세먼지 측정방법의 정확도와 신뢰성에 대한

관심이 높아지고 있다(Dockery and Pope, 1994; IARC, 2013).

대기 중 미세먼지와 초미세먼지를 측정하는 방법은 크게 중량법과 베타선법으로 구분한다. 중량법은 필터에 포집된 미세먼지의 중량을 저울로 직접 재는 방식이며, 베타선법은 미세먼지에 흡수되는 베타선의 양으로 농도를 측정하는 방식이다. 중량법은 정확하지만 24시간 동안 먼지를 포집하는 점, 측정 전·후 일정한 온도와 습도에서 무게를 측정하기 위하여 시간이 오래 걸린다는

Received 30 March, 2022; Revised 25 April, 2022;

Accepted 29 April, 2022

*Corresponding author: Min-Cheol Cho, Health and Environment Research Institute of Gwang-Ju, Gwangju 61954, Korea
Phone: +82-62-613-7583
E-mail: chomc234@korea.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

단점이 있는 반면, 베타선법은 1시간 간격으로 측정값이 생성되지만 중량법보다 정확도가 낮은 단점이 있다 (Park, 2017).

미세먼지는 크기와 모양, 무게가 다양하고 현재까지도 표준물질이 존재하지 않기 때문에 우리나라는 국가기 준측정시스템(중량법)과 비교 측정하여 성능을 검증받은 시료채취기(중량법)와 자동측정기(베타선법)의 비교 측 정을 통한 등가성평가를 수행하여 미세먼지 측정기의 신 뢰성과 소급성을 확보하고 있다. 이러한 국가기 준측정시 스템의 운영은 대기환경측정망 설치·운영지침과 대기오 염공정시험기준을 따르고 있다.

미국, 유럽 등 여러 나라에서 미세먼지의 표준측정 방 법으로 중량법이 채택되고 있다. 미국의 경우, 대기 모니 터링을 다루는 연방규제법(Code of federal regulations) Title 40 parts 50에서 국가 1차 및 2차 대기질 표준에 대 한 내용을 다루고 있으며, Title 40 CFR parts 53은 미국 의 연방기준시험(Federal Reference Method, FRM) 및 등가기준시험(Federal Equivalent Method, FEM)에 대 해 다루고 있다. 유럽은 대기오염물질 측정방법, 등가방 법, 불확도 측정방법은 AAQD (Ambient Air Quality Directive)의 Annex VI에 규정되어 있으며, 데이터 품질 보증에 대한 품질목표 및 요구사항은 Annex I에 규정 되어 있다(Peters et al., 2001).

미세먼지는 서로 다른 원리 혹은 같은 원리의 다른 장 비의 경우라 하더라도 다양한 내·외부 요인에 따라 같은 대상을 측정한 두 장비의 결과 값이 다르게 나타나게 되 며, 대기환경측정망의 지속적인 증가로 일선에서 미세먼 지 등가성평가 추진에 어려움을 겪고 있는 실정이다. 미 세먼지 등가성평가 결과와 미세먼지 추세 등의 자료를 바탕으로 그 간의 등가성평가 방법 및 등가성평가 제도 를 합리적으로 운영할 수 있는 방안 마련이 필요하다.

따라서 본 연구는 등가성평가의 정확도를 향상시키기 위해 i) 광주광역시에서 수행한 2015년부터 2021년까 지의 등가성평가(Class II)의 결과를 이용하여 수동채취 기와 자동측정기 측정값의 차이가 나는 이유를 알아보고 ii) 계절에 따른 변화 및 등가성평가 장기간 모니터링을 통해 그 영향을 분석하고자 하며 iii) 미세먼지 입경 분리 장치의 분리특성을 조사하여 그 영향을 알아보고 결과적 으로 자동측정기의 정확도를 높일 수 있는 방법을 제시 하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1. 측정지점 및 방법

Fig. 1은 광주광역시에서 운영 중인 미세먼지를 측정 하고 있는 대기환경측정소를 나타내었다. 미세먼지는 각 측정소 마다 PM-10, PM-2.5의 두 가지 항목을 측정하 고 있다. 도시대기측정소 11개소(파란색)와 도로변대기 측정소 2개소(빨간색)를 표시했으며, 모든 측정소의 미 세먼지 측정장비는 등가성평가를 실시하여 그 결과를 본 연구에 사용하였다.

본 연구에서 비교한 미세먼지 자동측정기는 베타선법 을 사용하는 Met One社의 BAM-1020장비를 사용하였 으며, 시료채취기는 중량법을 사용하는 Seven Leckel社 의 SEQ47/50과 Met One社 E-FRM의 두 가지 장비로 진행하였다. 모든 측정장비는 16.7 L/min의 유량으로 시 료채취와 분석을 실시하였으며, 유량 보정은 매년 주기 적으로 교정검사를 완료한 BGI社의 deltaCal air calibrator 장비를 활용하여 흡인유량과 온도측정센서를 주기적으로 보정하여 사용하였다.

중량법에 의한 미세먼지 농도 측정을 위한 필터 중량 측정은 C2K社의 자동중량장비를 활용하여 측정하였으 며, 자동중량장비의 저울, 향온·향습센서, 분동 등은 주 기적인 교정검사를 완료하여 사용하였다. 저울이 들어있 는 챔버 내부는 양압이 유지되어 외부로부터 입자상 물 질의 침입을 차단하고 필터의 항량을 위해 상시 일정한 온·습도를 유지하여 사용하였다. 분석은 표준분동과 필 터를 번갈아 가며 4회를 측정하고 그 중 편차가 큰 것을 제외한 3회 측정값을 평균하여 사용하였다.

2.2. 자료 분석

2016년부터 2021년까지 6년간 광주광역시 보건환경 연구원에서 대기환경측정망 정도관리를 위해 추진한 등 가성평가 자료를 연도별, 분기별, 농도 구간별로 분류하 여 비교 분석하였다. 두 장비 간 미세먼지 농도 측정값의 차이를 통계적으로 검증하고자 SPSS Program을 이용 하여 대응표본 T검정을 실시했으며, 모든 자료를 분기와 농도 구간으로 구분하여 분석하였다.

또한 등가성평가 결과 도출 시 두 장비에서 먼지 농도 의 편차 발생 추이 및 계절에 따른 변화를 장기간에 걸쳐 파악하고자 광주광역시 광산구 평동에 위치한 도시대기 측정소에서 자동·수동 장비 간 비교를 21년 3월 6일부터

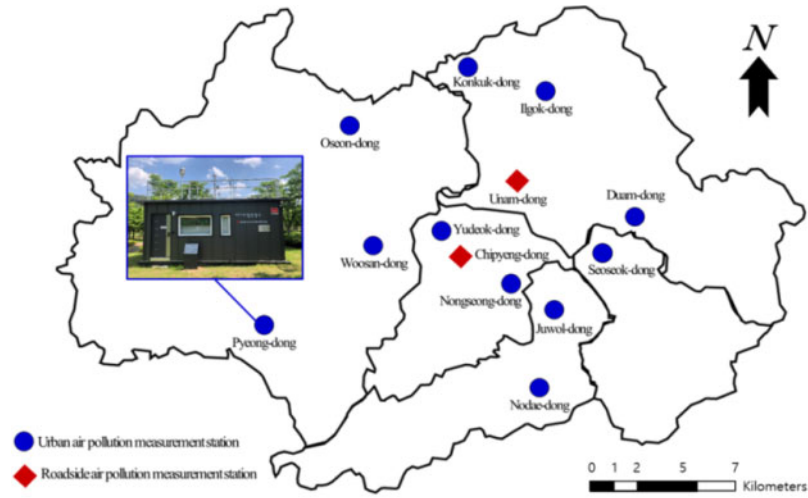


Fig. 1. Micro dust measurement station in Gwang-Ju.

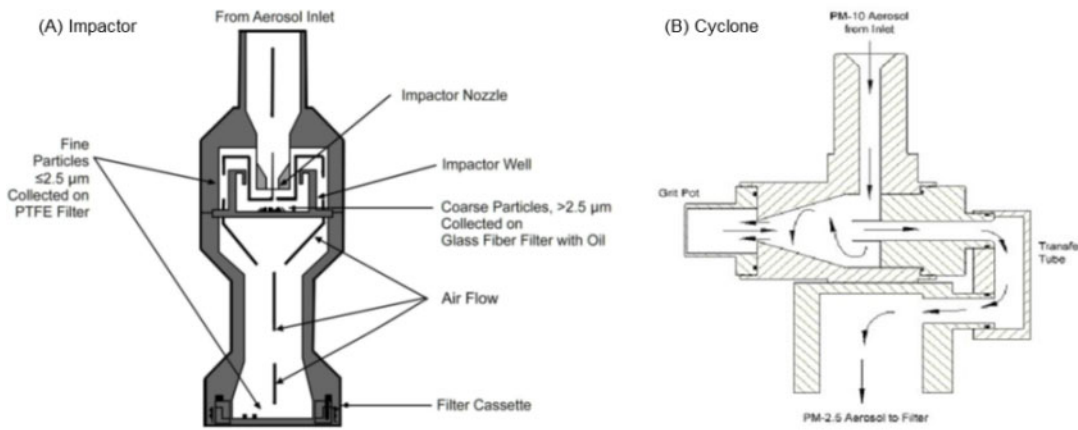


Fig. 2. PM-2.5 size separation device structure (A)Impactor (B)Cyclone.

10월 2일까지 약 7개월간 측정하였으며, 측정기간 중 황사발생 기간은 제외하였다.

2.3. 입경 분리장치별 비교분석

입경 분리장치는 미세먼지 측정장비에서 필터 전단에 위치하여 먼지를 등가입경으로 분리하는 장치를 말하며, 자동측정기는 원심력 집진 방식(Cyclone)을 사용하고 시료채취기는 관성 충돌 방식(Impactor)을 사용한다.

두 가지 방식의 입경 분리장치는 Fig. 2에 표현하였다 (U.S. Environmental Protection Agency, 2012). 입경

분리장치는 미세먼지 측정에 있어서 범용적으로 사용되며, 이 두 방식의 분리 효율을 평가하고자 수동채취기의 구입 시기가 동일한 Met One社의 E-FRM 장비 2대에 각각 원심력 집진 방식과 관성 충돌 방식의 입경 분리장치를 설치하여 초미세먼지 농도 분율을 평가하였다. 측정은 미세먼지 농도가 높은 시기인 2020년 12월과 2021년 1월에, 그리고 미세먼지 농도가 낮은 시기인 2021년 4월에 총 3번에 걸쳐 33일간 채취하였다. 또한 두 장비 간의 미세먼지 농도 차이에 영향을 미칠 수 있는 요인을

Table 1. Summary of annual equivalence evaluation results

		Std.	2016	2017	2018	2019	2020	2021
PM-10	Slope	1.0 ± 0.1	1.0057	0.9438	1.1371	1.0322	1.0423	1.0009
	Intercept	± 5	3.5148	5.8865	0.4097	2.683	1.0916	1.8685
	Result	-	Pass	Fail	Fail	Pass	Pass	Pass
PM-2.5	Slope	1.0 ± 0.1	1.0253	1.0365	1.0709	1.0790	1.0536	1.0291
	Intercept	± 2.25	1.5267	4.1656	1.7968	1.7514	1.0871	1.1554
	Result	-	Pass	Fail	Pass	Pass	Pass	Pass

Table 2. Average concentration of micro dust by year(unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

		2016	2017	2018	2019	2020	2021
PM-10	Filter based(A)	40	39	41	34	35	36
	Bam1020(B)	44	42	47	38	37	40
	A - B	-4	-3	-6	-4	-2	-4
PM-2.5	Filter based(A)	18	36	23	18	19	20
	Bam1020(B)	20	41	26	22	21	23
	A - B	-2	-5	-3	-4	-2	-3

줄이기 위해 입경 분리장치의 설치 높이, 온도 등을 최대한 동일한 조건에서 측정하여 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 등가성평가

등가성평가는 현장에서 연속으로 수동-자동간의 미세먼지 농도를 측정하여 그 결과를 추세를 통해서 평가를 내리며, 평가의 기준과 해당연도의 등가성평가 결과는 Table 1에 나타났다. 등가성평가 기준은 PM-10, PM-2.5 추세선 그래프의 기울기 값이 1.0 ± 0.1 의 범위 내에 들어야 하며 그 절편의 값은 PM-10은 ± 5 , PM-2.5는 ± 2.25 에 들어야 적합평가를 내리고 자동측정기의 미세먼지 측정값을 실시간으로 공개 하게 된다(NIER, 2022).

평가 대상은 대기환경측정소 내 미세먼지 자동측정기이며, 해당 평가 결과는 각 측정소 별로 구분하여 분석한다. Table 1의 평가결과는 각 측정소별 등가성평가 자료를 모두 취합하여 연도별 분석하였다.

개별 측정소의 등가성평가 결과는 기준이내이었으나, 취합한 결과 PM-10은 2017~2018년, PM-2.5는 2017년도의 결과가 기준을 넘은 것으로 나타났다. 본 결과로 등가성평가의 판정을 내릴 수는 없으나 전체적으로 기울기의 값이 1.0 보다 크게 형성되어 있음을 확인할 수 있으며, 이는 자동측정기의 결과가 수동채취기보다 약간 더 높은 경향이라는 것을 확인할 수 있다.

3.2. 연도별 등가성평가 결과

Table 2는 앞서 확인한 자동측정기가 수동채취기에 비해 미세먼지 농도가 높게 나타나는 것을 미세먼지 농도 평균으로 확인하였다. 2016년부터 2021년까지 미세먼지 등가성평가 연도별 미세먼지 농도를 분석한 결과 자동측정기의 먼지 농도가 수동채취기의 농도보다 높게 측정되고 있음을 확인하였다. PM-10의 연도별 평균값은 $2 \sim 6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM-2.5는 $2 \sim 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도로 자동측정기가 높았다. 이는 수동채취기의 필터 측정 시 휘발성 물질이 증발되거나 자동측정기에서 수분의 증발이 완전히 이루어지지 않아서 자동측정기가 높게 나타난 것으로 판단된다

Table 3. Paired sample statistics

		N	Mean ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Std. Deviation	Sig. (2-tailed)
PM-10	Filter based	974	36.4	17.3	0.000
	Bam1020	974	40.0	18.6	
PM-2.5	Filter based	1365	20.0	12.0	0.000
	Bam1020	1365	22.7	13.5	

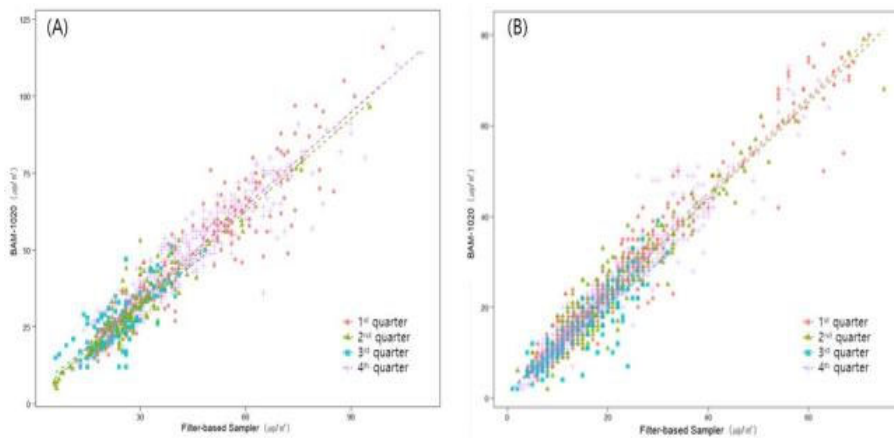


Fig. 3. Quarterly equivalent evaluation (A)PM-10 and (B)PM-2.5.

(NIER, 2014).

Table 3은 2016년부터 2021년까지 6년간 진행한 등가성평가 분석결과로 PM-10은 974건에 자동측정기의 평균 농도는 $36.4 \pm 17.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 수동채취기는 $40.0 \pm 18.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났으며, PM-2.5는 1,365건에 자동측정기의 평균 농도는 $20.0 \pm 12.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 수동채취기는 $22.7 \pm 13.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다.

이 자료를 토대로 대응표본 T 검정을 실시한 결과 자동측정기와 수동채취기 간의 PM-10, PM-2.5 농도 값의 차이가 존재하는 것으로 나타났다. 이는 등가성평가 결과 모두 ‘기준 이내’로 합격하였으나, PM-10, PM-2.5 모두 자동측정기의 미세먼지 농도가 수동채취기에 비해 높게 측정되고 있음을 의미한다.

3.3. 분기별 등가성평가 결과 분석

Fig. 3은 6년간 미세먼지 등가성평가 결과를 분기별로 비교 한 결과를 나타냈다. 자료의 수는 PM-10,

PM-2.5 모두 4분기가 가장 많은데 이는 등가성평가의 주된 평가 기간이 장마가 끝난 이후에 진행하는 경우가 많아 4분기 자료가 가장 많은 것으로 판단된다.

PM-10의 경우 1분기에서 4분기까지 모두 등가성평가 기준 이내에 들어오는 것을 Table 4를 통해 확인할 수 있으나, 3분기의 결과는 기울기 0.9034, 절편 4.7865, 결정계수(R^2) 0.6258로 데이터 분산의 정도가 다른 분기에 비해 크며, 평가 결과도 수동채취기의 미세먼지 농도가 높게 측정된 것을 알 수 있었다. Jung(2020)의 연구결과와 같으며 월별 등가성평가 적합도 결과 PM-10의 경우 등가성평가 적합도가 12월에 93.3%로 가장 높고 7월에 33.3%로 가장 낮게 나타났으며, 계절별 평가 결과 겨울에 90%로 적합하며 여름이 68%로 가장 낮게 나타났다. 본 연구의 평가 결과 분기(7~9월)에 주로 장마와 태풍이 불어오는 기간으로 세정효과에 의한 미세먼지 농도가 낮게 유지되고, 자동측정기의 시료채취부에 있는 습도조절장치가 일정한 습도의 유량을 포집하게 작동하여

Table 4. Trend line of quarterly equivalent evaluation(2016~2021)

	Quarter	N	Trend line	R ²
PM-10	1 st	144	$y = 1.0270x + 2.4962$	.8477
	2 nd	185	$y = 1.0020x + 2.5681$	.8934
	3 rd	111	$y = 0.9034x + 4.7865$	.6258
	4 th	534	$y = 1.0139x + 3.5122$	.9138
PM-2.5	1 st	203	$y = 1.0655x + 2.5139$	.9308
	2 nd	303	$y = 1.0650x + 1.2766$	.9245
	3 rd	118	$y = 0.9513x + 1.2997$	.7578
	4 th	741	$y = 1.0765x + 1.2480$	.9340

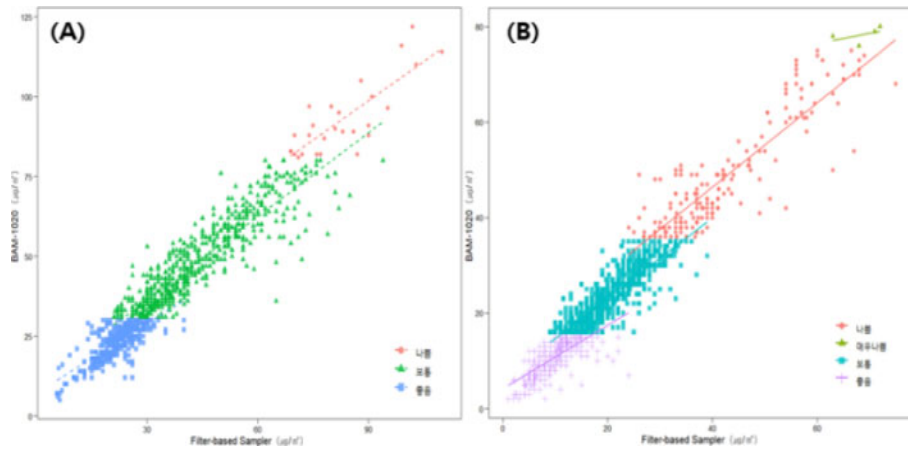


Fig. 4. Equivalent evaluation by micro dust concentration section (A)PM-10 and (B)PM-2.5.

수분 증발로 인해 수동채취기보다 낮게 나타난 걸로 판단된다(Park, 2017).

PM-2.5의 분기별 평가 결과는 PM-10과 비슷하게 나타난 것으로 확인된다. 3분기의 결과는 기울기 0.9513, 절편 1.2997, 결정계수 0.7575 로 PM-10 3분기 결과와 비교하면 자료의 분산 및 기울기와 절편 모두 양호하게 나타났다. 이는 PM-2.5의 입경분포에 따른 물리적인 특성으로 인해 세정효과의 영향이 상대적으로 덜 받은 것으로 판단된다. 또한 상대습도가 증가함에 따라 PM-2.5의 핵화(Nucleation) 및 응축(Condensation)의 증가로 주로 2차 에어로졸인 PM-2.5의 생성이 증가하여 PM-10에 비해 높은 것으로 판단된다(Yoo, 2020).

Fig. 4는 PM-10, PM-2.5의 6년간 등가성평가 결과 자료를 환경부 미세먼지 예보기준에 따른 농도 구간별로 분석하였고 Table 5는 그 결과 각 농도구간 별 추세선을 나타낸 것이다. 분석 결과 좋음·보통 구간의 자료가 많았으며, PM-10의 추세선은 보통 수준(31~80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에서 수동-자동 간에 가장 비슷하게 나오며 결정계수도 0.8099로 높게 나타났다. 그러나 좋음 수준(0~30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에서 상대적으로 결정계수(0.5631) 및 추세선의 기울기가 낮게 분석되어 저농도 구간에서 두 장비간의 농도 값의 차이가 더 큰 것을 확인했다.

PM-2.5의 추세선도 나쁨 구간(36~75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에서 두 장비 간 농도가 비슷하며 결정계수도 0.7819 높은 것으로

Table 5. Trend line of equivalent evaluation by micro dust concentration section(2016~2021)

	Concentration($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	N	Trend line	R ²
PM-10	0~30	363	$y = 0.7239x + 7.2629$	.5631
	31~80	584	$y = 0.8701x + 10.315$	.8099
	80~150	27	$y = 0.8173x + 25.108$	.6687
PM-2.5	0~15	457	$y = 0.6632x + 4.1994$	.5005
	16~35	726	$y = 0.8440x + 6.2415$	.7244
	36~75	178	$y = 0.8816x + 11.143$	.7819
	76~	4	$y = 0.2143x + 63.571$	.2571

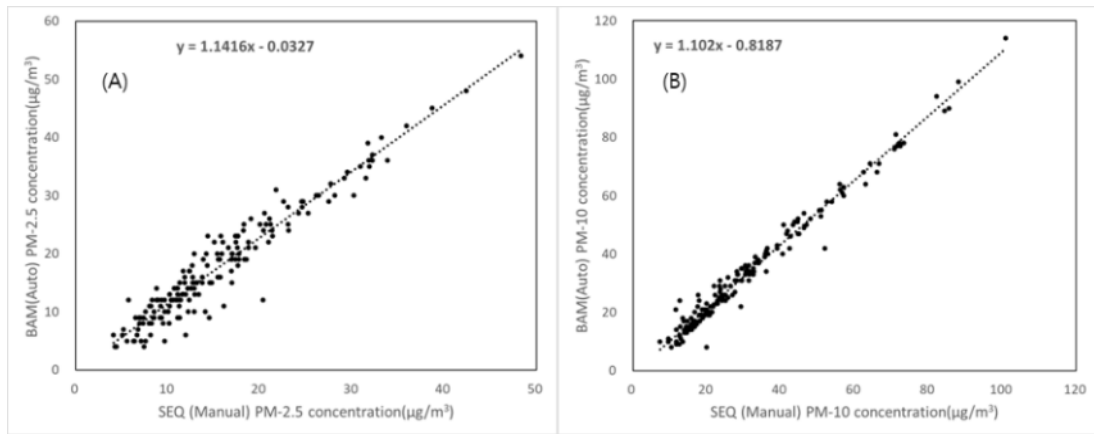


Fig. 5. Long-term micro dust monitoring (A) PM-10 and (B) PM-2.5.

확인하였으며 PM-10과 비슷한 경향을 나타내는 것으로 나타났다.

3.4. 장기간 등가성평가 모니터링

Fig. 5는 7개월간 진행한 장기간 등가성평가 모니터링 결과로 PM-10은 $y = 1.102x - 0.8187$, $R^2 = 0.9783$ 이며, PM-2.5는 $y = 1.1416x - 0.032$, $R^2 = 0.9240$ 으로 나타났다. 기존 분석결과와 마찬가지로 자동측정기 먼지 농도가 높게 측정되고 있음을 확인하였다.

미세먼지 측정의 기준기인 수동채취기를 기준으로 자동측정기의 농도 값의 차이를 살펴본 결과를 Fig. 6에 표현하였다. $BAM > SEQ$ 구간은 수동채취기의 농도가 자동측정기의 농도보다 낮은 것을 의미하고, $BAM < SEQ$ 는 수동채취기의 농도가 자동측정기 보다 높은 것을 의미한다.

미세먼지 농도 편차는 2월에서 10월까지 진행하면서 전체적으로 양의 오차($BAM > SEQ$)로 증가하는 경향을 보인다. 이는 기존의 연구결과와(Jung, 2020) 같은 결과로 두 장비의 계절 간 차이가 나타나는 것으로 파악되며 고농도 미세먼지가 발생하는 겨울에 자동측정기의 먼지 농도 값이 높게 측정되었고, 이후 봄, 여름에 편차가 비교적 낮게 나타나고 있다. 중량법의 농도가 낮은 경우는 필터 측정 시 휘발성 물질이 증발되어 낮게 나타나거나, 연속장비의 수분 제어가 원활히 이뤄지지 않아 자동측정기가 높게 측정되는 것으로 판단된다(Hauck et al., 2004).

3.5. 입경 분리장치 별 분리특성 평가

미세먼지 농도가 등가성평가 기준장비인 수동채취기에 비해 자동측정비가 높게 측정되고 있음을 확인한 후

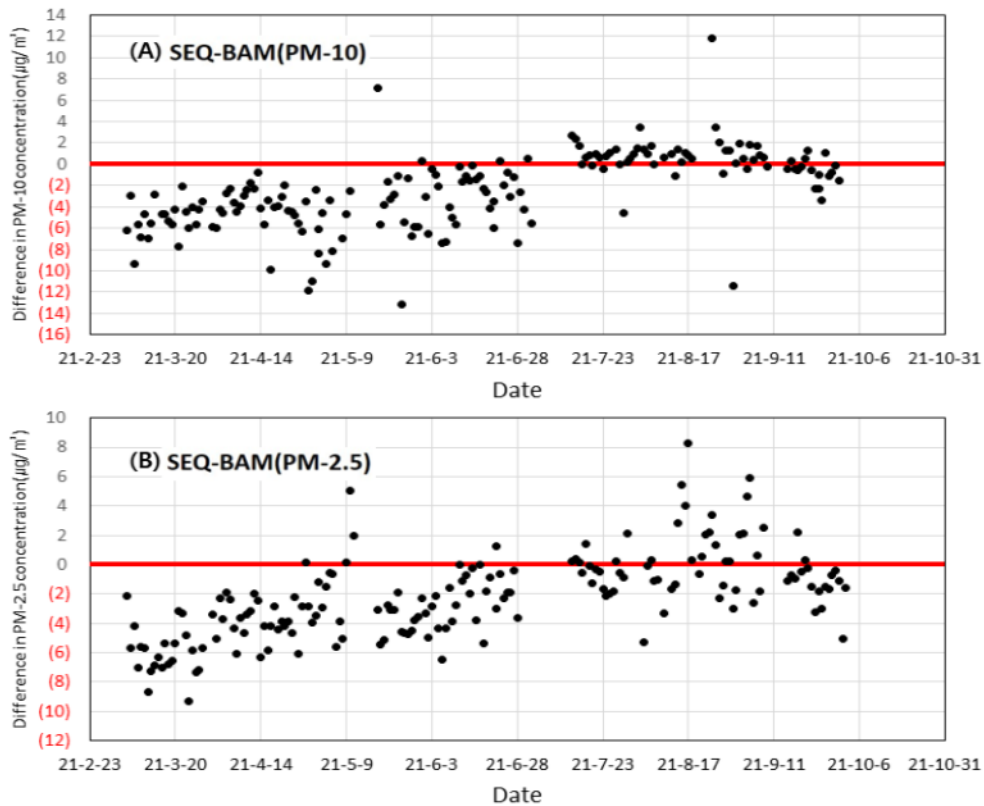


Fig. 6. Difference in micro dust result(SEQ-BAM) (A): PM-10 and (B): PM-2.5.

그 원인들 중 한가지인 입경 분리장치의 농도 분율을 확인하였다.

평가 방법으로 PM-2.5 시료채취기 2대에 각각 입경 분리장치를 설치하여 미세먼지의 농도 값을 산출하였다. 설치 위치는 미세먼지가 시료흡입부에서 필터까지 이동 중에 질산염과 황산염으로 반응하여 질량 농도가 과하게 표시되거나 혹은 감소할 경우를 배제하기 위하여 동일한 높이에 설치하였으며, 기타 평가에 영향을 미칠 수 있는 모든 조건들은 동일하게 조정하였다(McMurry et al., 2004).

평가 결과는 Fig. 7에 나타냈으며 기준기인 수동채취기의 관성 충돌 방식을 기준으로 원심력 집진 방식을 평가한 결과 Fig. 7(A)은 두 장치의 먼지 농도는 높은 상관관계를 가지는 것으로 나타났으며, $y = 1.0837x + 0.7735$, $R^2 = 0.9972$ 로 원심력 집진 방식의 입경 분리장치가 상대적

으로 높은 농도 값을 보였다.

Fig. 7(B)은 각 일자별 미세먼지 농도 값과 원심력/관성력 농도 분율은 최대 141%에서 최소 103%로 평균 115%로 평가되었으며, 이는 원심력 집진 방식이 관성 충돌 방식에 비해 평균 15% 높은 미세먼지 농도 값을 보였다. 이는 기존의 연구와 비슷한 결과로 먼지가 포집되며 늘어난 압력 손실로 유량이 감소하여 원심력 집진 방식의 분리 입경이 커져 포집량이 증가된 것으로 판단된다(Jung et al., 2010; Ghim, 2017).

4. 결론

본 연구는 등가성평가의 정확도를 향상시키기 위한 방법으로 지난 6년간 광주광역시 보건환경연구원에서 추진한 미세먼지 등가성평가 결과를 연도별, 분기별, 농

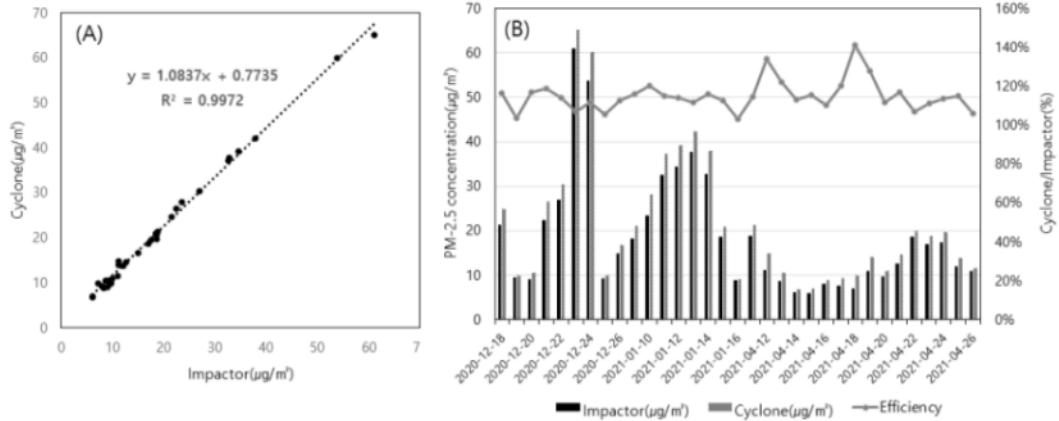


Fig. 7. Concentration distribution by particle size separation device.

도 구간 별로 평가하였고 장기간 등가성평가 모니터링과 입경 분리장치별 미세먼지 농도를 비교하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 2015년부터 2021년까지의 등가성평가 결과를 통계 처리해본 결과 두 장비(시료채취기-자동측정기)간의 미세먼지 농도는 차이가 있다고 분석되었다. 분기별 평가결과 3분기(7~9월)에는 추세선 및 결정계수가 다른 분기에 비해 다른 경향을 나타내며, 농도 구간별 분석결과 저농도 구간에서 두 장비간의 농도 값의 차이가 더 큰 것을 확인했다.

2. 장기간 모니터링을 통한 계절에 따른 변화를 알아본 결과, 고농도 미세먼지가 발생하는 겨울에는 자동측정기의 먼지 농도 값이 수동채취기보다 높게 측정되었고, 이후 봄, 여름에 편차가 비교적 낮게 측정되었다.

3. 마지막으로 원심력 집진 방식과 관성 충돌 방식인 입경 분리장치의 미세먼지 농도를 비교한 결과 원심력/관성력 농도 비율은 최대 141%에서 최소 103%로 평균 115%로 원심력 집진 방식이 관성 충돌 방식에 비해 평균 15% 높은 미세먼지 농도 값을 보였다.

위의 결과를 종합하여 대기환경측정소의 등가성평가를 진행할 시 3분기 기간 동안의 평가를 지양해야 하며, 자동측정기의 정확한 미세먼지 농도값 측정을 위한 등가성평가의 주기를 기존의 평가(1회/2년)에서 기후 조건에 따라 변경하여 분기마다 측정하여 그 정확도를 높일 필

요가 있는 것으로 사료된다. 또한 등가성평가의 결과 자동측정기의 농도가 수동채취기에 비해 높게 측정되므로 등가성평가 판정 기준을 기율기 0.9~1.1에서 0.9~1.0의 범위로 자동측정기의 농도가 높게 측정되는 부분을 축소하여 관리하고, 추세선의 기율기와 절편 값의 평가 기준에 결정계수를 평가 항목에 넣어 관리하면 미세먼지 측정값의 오차를 줄일 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 2021년 환경부 환경분야 시험검사의 국제적 적합성 기반구축사업과 광주광역시보건환경연구원 연구역량강화 사업의 지원으로 수행하였습니다.

REFERENCES

Dockery, D. W., Pope, C. A., 1994, Acute respiratory effects of particulate air pollution, Annual Review of Public Health 2015, 107-132.
 Ghim, Y. S., 2017, Comparison of PM_{2.5} concentrations by measurement method, J. Korean Soc. Atmos. Environ., 33, 515-520.
 Hauck, H., Berner, A., Gomiscek, B., Stopper, S., Puxbaum, H., Kundi, M., Preining, O., 2004, On the equivalence of gravimetric PM data with TEOM and beta attenuation

- measurements, *J. Aerosol. Sci.*, 35, 1135-1149.
- IARC (WHO), 2013, Air pollution and cancer, IARC Publication No 161, 978-92-832-2166-1, Lyon, France.
- Jung, C. H., Park, J. H., Hwang, S. M., 2010, Analysis of measurement error for PM-2.5 mass concentration by inter-comparison study, *Journal of environmental impact assessment*, 19, 431-441.
- Jung, C. H., 2020, Improvement of the PM₁₀/PM_{2.5} equivalent test, 11-1480523-004128-01, NIER, Incheon, Korea.
- McMurry, P. H., Shepherd, M. F., Vickery, J. S., 2004, Particulate Matter Science for Policy Makers: A Narsto Assessment, Cambridge University Press, Cambridge, England, 109-112.
- National Institute of Environmental Research, 2022, Guidelines for installation and operation of the air environment measuring network, 11-1480523-004654-01, NIER, Incheon, Korea.
- National Institute of Environmental Research, 2014, PM_{2.5} National reference methods assessment(I), 11-1480 523-002023-01, Incheon, Korea.
- National Institute of Environmental Research, 2014, PM_{2.5} National reference methods assessment(II), 11-1480 523-002119-01, Incheon, Korea.
- Park, M. K., 2017, Comparison of real-time measurements for PM_{2.5} and quality control method, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 33, 616-625.
- Peters, T. M., 2001, Field performance of PM_{2.5} federal reference method samples, *Aerosol. Sci. Technol.*, 34, 433-443.
- U. S. Environmental Protection Agency, 2012, APTI Course 435, Atmospheric Sampling, 978-1249432845, EPA, Washington, USA.
- Yoo, H. G., 2020, Impact of meteorological conditions on the PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations in Seoul, *J. Climate Change Res.*, 11, 521-528.

-
- Researcher. Min-Cheol Cho
GwangJu Institute of Health and Environment
chomc234@ko.rea.kr
 - Researcher. Seung-Ho Kim
GwangJu Institute of Health and Environment
goodone@korea.kr
 - Researcher. Hye-Yun Na
GwangJu Institute of Health and Environment
nhy1207@korea.kr
 - Researcher. Nan-Hee Kim
GwangJu Institute of Health and Environment
knhee68@korea.kr
 - Researcher. Gwang-Un Cho
GwangJu Institute of Health and Environment
chodaebak@korea.kr
 - Director of Environmental Research Department. Seok-Jin Bae
GwangJu Institute of Health and Environment
bsj4833@korea.kr
 - Director of Micro dust Research Divison. Se-Haeng Lee
GwangJu Institute of Health and Environment
sehang@korea.kr