

Research Paper

## 생활 속 미세먼지 영향평가를 위한 소형센서의 신뢰성 및 활용성 평가

김진수\* · 장유정\* · 김진석\* · 박민우\* · 부찬중\*\*\* · 이윤구\*\*\*\* · 김윤하\* · 우정현\*\*

건국대학교 신기술융합학과\*, 건국대학교 기술융합공학과\*\*,  
인천연구원 인천기후환경연구소\*\*\*, 한국환경정책평가연구원 환경평가본부\*\*\*\*

### Evaluation of the Usability of Micro-Sensors for the Portable Fine Particle Measurement

Jinsu Kim\* · Youjung Jang\* · Jinseok Kim\* · Minwoo Park\* ·  
Chanjong Bu\*\*\* · Yungu Lee\*\*\*\* · Younha Kim\* · Jung-Hun Woo\*\*

Department of Advanced Technology Fusion, Konkuk University\*,  
Department of technology fusion engineering, Konkuk University\*\*,  
Climate & Environment Research Center, The Incheon Institute\*\*\*,  
Environmental Assessment Group, Korea Environment Institute\*\*\*\*

**요약** : 국내의 미세먼지 문제가 심각해짐에 따라 개인이 활동하는 주변공간의 미세먼지 농도를 알고자 하는 욕구 또한 증가하여 직접 미세먼지의 실시간 농도를 측정할 수 있는 휴대용 미세먼지측정센서에 대한 수요가 증가하고 있다. 그러나 시중에 판매되는 미세먼지 간이측정기는 정해진 인증기준 없이 제작·판매되고 있다. 본 연구에서는 최근 판매가 급증하고 있는 휴대용 미세먼지 측정센서의 농도값을 어느 정도 신뢰할 수 있는지와 이러한 센서들이 어떠한 경우에 활용될 수 있는 지에 대해 일반적인 시민의 입장에서 고찰할 필요가 있다고 판단하였다. 이를 위해, 1) 기기 간 상호비교 및 보다 정확한 장비와의 비교를 수행하고, 2) 휴대용 기기를 활용하여 미세먼지의 영향을 저감할 수 있는 방안들에 대한 검증실험을 수행해 보았

First Author : Jinsu Kim, Dept. of Advanced Technology Fusion, Konkuk University, Seoul, 05029, Korea, Tel: +82-2-453-2706, Email : kjs7950@hanmail.net

Corresponding Author : Jung-Hun Woo, Dept. of technology fusion engineering, Konkuk University, Seoul, 05029, Korea, Tel: +82-2-453-2706, Email : jwoo@konkuk.ac.kr

Co-Authors : Youjung Jang, Dept. of Advanced Technology Fusion, Konkuk University, Seoul, 05029, Korea, Tel: +82-2-453-2706, Email : zaharyu@gmail.com

Jinseok Kim, Dept. of Advanced Technology Fusion, Konkuk University, Seoul, 05029, Korea, Tel: +82-2-453-2706, Email : kjssam45@naver.com

Minwoo Park, Dept. of Advanced Technology Fusion, Konkuk University, Seoul, 05029, Korea, Tel: +82-2-453-2706, Email : pmw2891@naver.com

Chanjong Bu, Incheon Climate & Environment Research Center, The Incheon Institute, Incheon, 22004, Korea, Tel: +82-32-715-5769, Email : BUCJ88@ii.re.kr

Yungu Lee, Environmental Assessment Group, Korea Environment Institute (KEI), Sejong-si, 30147, Korea, Tel : +82-44-415-7858, Email : yglee@kei.re.kr

Younha Kim, Dept. of Advanced Technology Fusion, Konkuk University, Seoul, 05029, Korea, Tel: +82-2-453-2706, Email : pinktokkya@naver.com

Received: 13 March, 2018. Revised: 11 June, 2018. Accepted: 31 July, 2018.

다. 그 결과 휴대용센서들의 농도 절대값을 그대로 신뢰하기엔 문제가 있었지만, 그 재현성과 선형성은 실 생활에서 활용되기에 유용하다고 판단되었다. 또한 휴대용 미세먼지 측정센서를 사용함으로써 사용자들은 자기 주변의 변화하는 미세먼지 농도에 대해 빠르게 인지하고 대처 할 수 있을 것으로 판단되어, 미세먼지 오염의 피해를 줄이는 데 활용할 수 있을 것이라 기대된다.

**주요어:** 미세먼지, 오염농도, 휴대용미세먼지측정센서, 미세먼지오염피해

**Abstract :** As atmospheric fine dust problems in Korea become more serious, there are growing needs to find the concentration of fine particles in indoor and outdoor areas and there are increasing demands for sensor-based portable monitoring devices capable of measuring fine dust concentrations instantly. The low-cost portable monitoring devices have been widely manufactured and used without the prescribed certification standards which would cause unnecessary confusion to the concerned public. To evaluate the reliability those devices and to improve their usability, following studies were conducted in this work; 1) The comparisons between sensor-based devices and comparison with more accurate devices were performed. 2) Several experiments were conducted to understand usefulness of the portable monitoring devices. As results, the absolute concentration levels need to be adjusted due to insensitivity of the tiny light scattering sensors in the portable devices, but their linearity and reproducibility seem to be acceptable. By using those monitoring devices, users are expected to have benefits of recognizing the changes of concentration more quickly and could help preventing themselves from the adverse health impacts.

**Keyword:** Fine particles, portable fine particle monitoring devices, health impact

## I. 서론

초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>)는 세계보건기구(WHO)에서 1급 발암물질로 지정된 만큼 인간의 건강에 치명적이며, 호흡기질환 등 각종 질환을 유발할 수 있다는 연구 성과도 증가하고 있다(Choi et al. 2015). 국내에서는 황사뿐만 아니라 가을 및 겨울철 스모그 현상 또한 자주 발생하여 미세먼지가 국민의 생활에 미치는 영향이 심각해지고 있다(Park et al. 2017). 이에 다양한 미세먼지 저감정책 시행 등 미세먼지를 해결하기 위한 노력을 하고 있지만, 1차적으로 배출되는 부분뿐만 아니라, 2차적으로 생성되고 외부 요인의 영향 등에 의해 미세먼지 문제를 완벽히 해결하기는 힘든 실정이다. 이에 따라 현대인들은 실내공간 대기질 정화 및 야외활동 시에는 황사마스크를 착용하는 등 미세먼지 대응 및 적응에 대한 관심을 갖게 되었다. 또한 실내 및 야외의 미세먼지 농도를 알고자 하는 욕구 또한 증가하여 직접 미세먼지의 실시간 농도

를 측정할 수 있는 휴대용 미세먼지센서에 대한 수요가 증가하고 있다.

시공간적으로 빠르게 변화하는 미세먼지 오염도 정보를 사용자의 입장에서 언제 어디서나 제공받을 수 있도록 하기 위해서 유비쿼터스 상세규모 대기환경서비스 시스템이 제안된 바 있다. 하지만 이 연구에서도 현실적으로 활용가능한 실제 소형센서가 존재하지 않아 상세규모 모델링을 활용한 가상센서를 정의하여 활용한 바 있다(Woo et al. 2016). 특허청에 따르면, 2016년의 미세먼지 측정기술 관련 특허출원이 2013년 대비 약 11배 이상 증가하였다(KIPO, <http://www.kipo.go.kr>). 그러나 시중에 판매되는 휴대용 미세먼지측정센서는 정해진 인증기준이 없이 제작되어 판매되고 있으며, 이에 환경부는 국민들이 미세먼지에 대한 정확한 정보를 접할 수 있도록 인증기준 마련 등 측정기의 신뢰도를 높이는 방안을 강구할 계획임을 밝혔다. 이에 본 연구에서는 일반적인 시민의 입장에서 휴대용 미세먼지측정센서의 신뢰도

의 평가가 필요하다고 판단하였다. 또한 현재의 소형 센서들은 작고, 상대적으로 저가이며, 무선 통신기능을 갖추고 있어 이러한 한계를 극복할 수 있는 좋은 대안이라 할 수 있을 것이다.

널리 쓰이는 미세먼지 측정방법 중에는 중량법, 베타선측정법, 광산란법 등이 있는데, 우리나라의 환경 대기 중 미세먼지 공인측정 방법은 중량법과 베타선 측정법이다. 중량법은 가장 보편적인 입자상물질 측정방법이며, 등속채취를 통해 대기 중의 입자상 물질들을 필터에 포집한 뒤, 채취한 공기의 체적과 포집된 물질의 질량을 측정하여 오염물질의 입자농도( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )를 구하는 방법이다(Hinds et al, 1999). 이 방법은 입자상물질의 무게를 직접 측정하여 비교적 정확한 질량을 측정할 수 있는 장점이 있기 때문에 정확한 관측을 위해서는 중량법을 이용하여 초미세먼지의 농도를 측정하는 것이 좋다(NIER 2016). 그러나 다른 측정방법에 비해 시료 포집에 걸리는 시간이 길고 자동화가 어려우며, 시료를 채취하는 중에는 농도변화를 파악할 수 없는 단점이 있다(Kim et al, 2014). 베타선측정법은 방사성 물질의 베타 붕괴로 인해 발생된 에너지가 포집된 물질에 의해 감쇄된 정도를 파악하여 포집된 미세먼지를 질량 값으로 환산하여 농도를 나타내는 방법이다. 비교적 짧은 시간간격으로 측정이 가능하고, 측정 방식이 간단하여 현재까지 대기 중 미세먼지의 자동측정에 사용되고 있다(Bong et al, 2015).

광산란법은 입자에 빛을 조사한 뒤, 산란된 빛을 통해 입자의 농도를 측정하는 방식으로, 산란된 빛을 수광부로 집속시킨 뒤 집속된 빛의 양을 전기적 신호를 통해 측정하여 입자의 개수와 크기를 측정할 수 있다. 입자의 크기와 개수를 토대로 전체 입자의 부피를 구할 수 있으며, 이 값에 밀도를 보정하여 질량 농도를 출력할 수 있다. 그러나 광산란에 의한 측정 방법은 먼지의 밀도 및 습도조건의 영향에 민감하여 정확한 농도를 모사하기 어려운 단점이 있다(Kim et al, 2014). 이러한 단점에도 불구하고, 광산란법은 실시간 농도변화를 파악할 수 있으며, 부피가 작고 가벼워 휴대용 미세먼지 측정기에 널리 사용되고 있다. 광산란법에 대한 형식승인은 일본이 유일하며,

미국환경청 (U.S. EPA)에서도 일부 인정하고 있다 (Kim et al, 2009; Choi et al, 2018).

본 연구에서는 생활 속에서 널리 사용되고 있는 광산란법 기반의 휴대용 미세먼지 측정센서들의 신뢰성을 평가하고 그 활용성을 제고하기 위해, 1) 센서 간 상호비교 및 보다 정확한 기기와의 비교를 수행하고, 2) 휴대용 센서를 활용하여 미세먼지의 농도 특성을 이해하고 영향을 저감할 수 있는 방안들에 대한 검증실험을 수행하여 보았다. 본 연구를 통해 이미 우리의 생활 속에서 많이 활용되고 있는 저가의 휴대용 측정센서가 실생활 속 미세먼지를 이해하고 수요자 개인의 건강을 보호하는데 있어 기여할 수 있는 바를 기초적으로 평가해 보고자 하였다.

## II. 미세먼지 측정기기

### 1. 저가형 휴대용 미세먼지 측정센서

최근 미세먼지 문제가 부각됨에 따라 저가형 휴대용 미세먼지 측정기가 다양하게 개발되어 시장에서 판매되고 있다. 본 연구에서는 시장에서 많이 판매되는 소형센서 중 측정기에 부착된 액정을 통해 미세먼지의 농도를 실시간으로 확인할 수 있으며, 가격수준이 비슷한 세 모델을 이용하여 연구를 수행하였다.

#### 1) A 측정센서

이 기기는 광산란법을 이용하여  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_1$ 의 농도를 측정하고, 동시에 반도체감지기술을 이용하여 HCHO, TVOC등도 측정할 수 있다. 또한 185g의 가벼운 무게로 휴대하기에 용이하다. 미세먼지의 경우,  $999 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 측정이 가능하다. 본 연구에서는 해당 기기 3개를 통해 실험을 진행하였다(이하 A1, A2, A3).

#### 2) B 측정센서

광산란법을 이용하여 초미세먼지( $\text{PM}_{2.5}$ )만의 농도를 측정하며, 최대  $666 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지의 농도를 측정할 수 있다. 이 센서는 스마트폰 등의 기기와 호환이 가능하여 데이터 전송과 원격제어가 가능하며, 크기가 작고 100g의 가벼운 무게로 휴대하기 용이한 장점이

있다. 본 연구에서는 해당 기기 2개를 통해 실험을 진행하였다(이하 B1, B2).

### 3) C 측정센서

이 센서 역시 광산란기법을 이용하여 미세먼지의 농도를 측정한다. 이 기기는 PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>를 측정할 수 있으며, 두 물질 모두 최대 999 µg/m<sup>3</sup>의 범위까지 측정가능하다. 본 연구에서는 해당 기기 3개를 통해 실험을 진행하였다 (이하 C1, C2, C3).

## 2. 휴대용 미세먼지 측정기기 : S 측정기

이 기기는 국내에서 제작한 기기이며, 광산란법을 이용하여 직경 0.3 µm이상의 입자상물질을 감지할 수 있으며, 사용자는 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>의 농도를 실시간으로 확인할 수 있다. 또한, 두 물질 모두 1,000 µg/m<sup>3</sup>까지 측정이 가능하다. 이 제품은 일본 공업규격(Japanese Industrial Standards, JIS)에 따라 제작되었다. 비교적 가벼워서 이동이 가능하긴 하지만 상시 휴대하기엔 부담스러운 무게와 부피이고, 전원 케이블을 연결하여 사용해야 하기 때문에 완전한 휴대형 측정기라고 보기는 어렵다. 본 연구에서는 휴대용 미세먼지 측정센서의 신뢰성을 평가하기 위해 일본공업규격에 의해 형식승인을 인정받은 이 기기를 기준측정기로 삼아 측정값의 비교를 실시하였다 (이하 S). 이 제품의 가격은 정부 측정소에 설치된 기기에 비해서는 훨씬 더 저렴하지만, 위에서 소개한

저가형 휴대용 기기에 비해 100배정도 비싼 가격으로 판매되고 있다.

## III. 휴대용 미세먼지 측정센서의 신뢰성 평가

### 1. 휴대용 미세먼지 측정센서 간의 반응선형성 평가

#### 1) 실험방법

밀폐된 상자에 A1, A2, A3, B1, B2, C1, C2, C3, S 센서를 넣은 후, 연소를 통해 발생된 연기를 포집한 후 60cc주사기에 채취하여 이용하여 1회에서 15회까지 순차적으로 투입하였다. 연기 시료의 발생을 위해서는 일상생활에서 흔히 접할 수 있는 모기향을 연소시켰다. 모기향의 연기입자 입경은 담배연기나 오일연소 연기의 크기와 비슷하다고 판단되기 때문에 0.01~1µm정도의 입경일 것으로 사료된다(Malm 1999). 그리고 하나의 모기향은 75~137개비의 담배를 피우는 것과 같은 양의 PM<sub>2.5</sub>를 발생시키기 때문에 고농도의 연기를 포집한 후 투입횟수에 따른 농도 변화를 분석하는 본 연구에 적절한 시료라고 판단된다(Liu et al. 2003). 기체의 혼합을 돕기 위해 소형 팬을 설치하여 오염물질 투입 후 약 15초 후부터의 측정값을 기록하였다. 오염물질의 투입 횟수에 따른 각 휴대용 미세먼지 측정센서의 농도변화를 통해 측정값의 선형성을 파악한 후, 각 기기의 측정값을 기준측정기인 S의 측정값과 비교분석하였다.

Table 1. Specifications of monitoring devices

	A	B	C	S
Monitoring devices				
Portability	○	○	○	○
Size(LHW) / Weight	150mm×70.8mm ×43.6mm/185g	62mm×62mm ×37mm/100g	55mm×55mm ×20mm/66g	125mm×100mm ×150mm/1.6kg
Measuring pollutants	PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>1</sub> , HCHO, TVOC	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub>
Producing area	China	China	China	South Korea

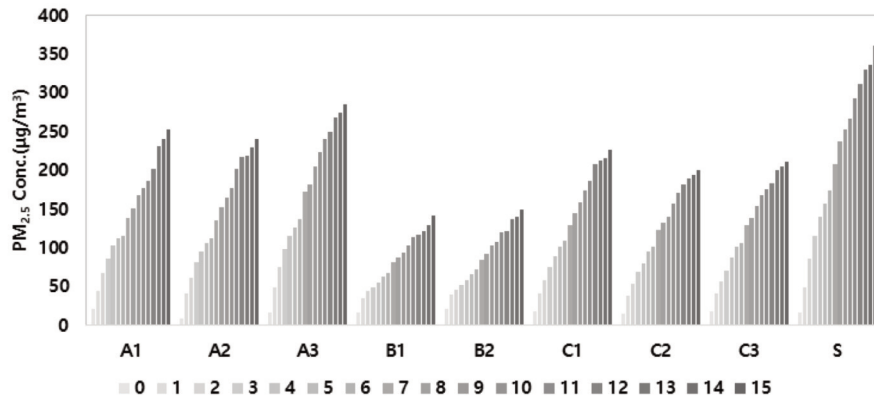


Figure 1. Concentration responses for smoke injection by monitoring device

## 2) 측정결과

모든 측정센서에서 투입횟수에 따른 측정값의 선형성을 확인할 수 있었다. 그러나 반응민감성 및 측정값의 선형성을 평가하기 위해 일본공업규격에 따라 제작된 S측정센서와 비교한 결과, 모든 저가형 휴대용 미세먼지 측정센서의 측정값은 S의 측정값보다

낮은 농도를 보였다(Figure 1).

휴대용 미세먼지 측정센서 모델 중, A가 가장 민감한 반응을 보였으나, 각 기기별 측정값의 편차가 다른 모델에 비해 높게 나타났다(Figure 2). B는 오염물질에 대해 가장 둔감한 반응을 보였으나, 동일한 모델의 센서 사이의 측정값이 매우 유사한 농도를 측정

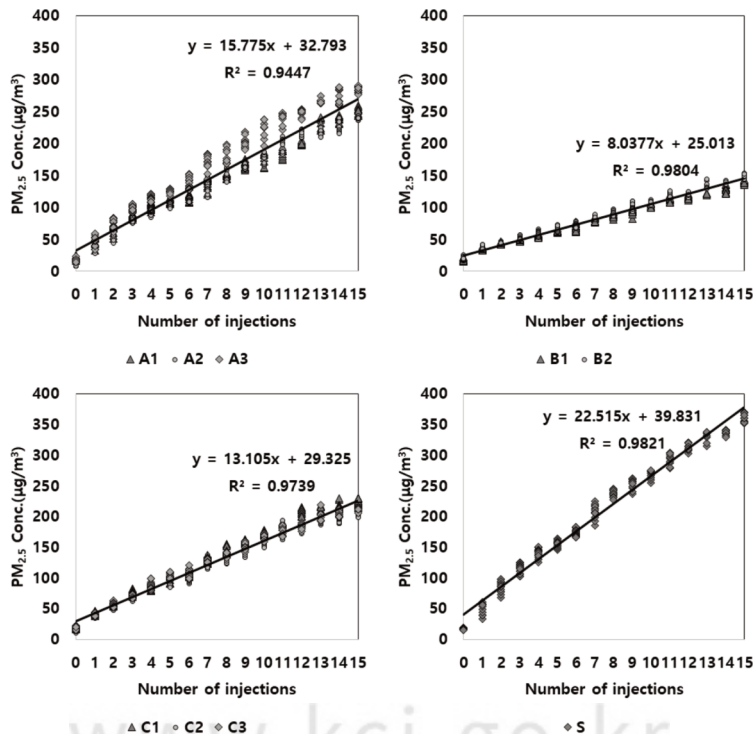


Figure 2. Analysis of sensitivity by monitoring devices according to the number of smoke injections

하여 센서의 재현성이 가장 높은 것으로 판단된다. C 또한 동일 센서의 측정값 간의 높은 상관성과 선형성을 보인다. 세 모델을 S와 비교한 결과, A가 기준측정기인 S와 가장 유사한 농도값 범위를 보였지만, 15회 투입시의 A의 평균농도는 약  $259 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 기준측정기의 평균농도인  $361 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 72%에 못 미치는 값을 보였기 때문에, 세 모델 모두 농도의 절대값을 그대로 신뢰하기에는 문제가 있다고 판단되었다. 즉, 기기 제조사별로 측정 절대값의 수준은 차이가 있었지만 동일 제조사의 기기 간 재현성은 나쁘지 않았고 선형성도 좋았기 때문에, 휴대형 저가 미세먼지 측정기를 활용하여 전반적인 오염도 변화를 파악하거나 오염도의 상대적 비교를 하는 용도로는 유용하다고 판단되었다. 하지만 여기에서 쓰인 모든 장비는 우리나라 대기환경 중의 미세먼지 농도를 측정하는 공인 시험방법이 아니기 때문에 본 실험은 기초적인 신뢰성 검토실험으로 이해되어야 하며, 좀 더 정확한 공인시험장비를 통한 지속적인 검증시험이 필요하다.

## 2. 환경부 도로변 측정소 자료 및 교통량 자료와의 비교

국립환경과학원의 대기정책지원시스템(CAPSS)에서 제공하고 있는 국가대기오염배출량의 2013년도  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ 에 대하여 주요배출원별 배출현황을 보면 차량에 의한 배출량은 12 kton/yr, 11 kton/yr로  $\text{PM}_{10}$ 대비  $\text{PM}_{2.5}$ 의 배출 비율이 92%인데, 이 중 도로재비산먼지의 경우 24%의 비율을 보인다(NIER 2016). 그러므로 차량에서의 연소배출량이  $\text{PM}_{2.5}$ 의 배출에 기여하는 비율이 상당한 것을 알 수 있다. 이에, 휴대용 측정기를 활용하여 도로이동오염원에 의한 미세먼지의 영향을 확인하기 위하여 도로에서의 미세먼지 농도를 측정하여 도로변 대기측정망의 측정치와 비교분석하였다.

### 1) 측정방법

현재 환경부와 지자체에서는 자동측정망으로 도시 대기측정망, 도로변대기측정망, 배경농도측정망 등을 다양한 목적에 따라 운영하고 있다. 도로변 대기측정망은 자동차에서 배출되는 대기오염물질이 일반

대기질에 미치는 영향을 파악하기에 적절한 지역을 선정하여 설치한다. 도로에서 거리가 도로 끝으로부터 10m이내를 원칙으로 하고, 지상에서 높이는 1.0~10m를 원칙으로 한다. 미세먼지( $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ )는 베타선 흡수법을 이용한 측정기로 자동 측정하고 있다(환경부 국립환경과학원 2016). 도로변대기 측정소의 경우 설치장소가 도로에 인접해 있어 차량에서 배출되는 오염물질의 영향을 측정한다고 하지만, 도로중앙이 아닌 도로에 인접한 주변에 위치하고 있기 때문에 자동차 배출가스만의 직접적인 영향만을 나타내지 못할 가능성도 있다.

이에 본 연구에서는 도로변대기측정망 중 강변북로측정소(서울특별시 한강사업본부) 바로 곁의 강변북로 위를 지나는 육교 정중앙에서 미세먼지를 측정하였다. 대상도로는 왕복 10차선이며, 측정을 실시한 육교의 도로로 부터의 높이는 4.7m이다. 해당 위치에서의 미세먼지 측정값을 국가측정망인 강변북로측정소(도로변)의 값과 비교하였으며, 측정소의 위치 및 실험장소와의 거리는 Figure 3에 표시하였다. 강변북로측정소에 설치된 BAM-102 기기는 US EPA Federal Equivalent Method (FEM)과 유럽연합의  $\text{PM}_{2.5}$  및  $\text{PM}_{10}$  인증을 획득한 기기로, 기본적인 작동 원리는 베타선 흡수법을 사용하여 주변의 미립자 농도를 측정한다. 데이터 분석은  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  까지 가능하고, 측정범위는  $1,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  까지 기본으로 설정되어 있다. 이 기기는 자동 농도 검사가 가능한 장비로 사용되는 필터 테이프의 사용 주기인 60일 동안 장기 원격 작동이 가능하다(Gobeli et al. 2008).

본 연구에서는 차량의 통행량 및 차종에 따른 농도 변화를 확인하기 위하여 미세먼지 측정과 동시에 측정위치를 지나는 차량을 촬영하여 차량통행량을 역시 확인하였는데, 차종은 승용차, SUV, 화물차 및 버스, 총 3가지 분류로 나눠서 기록하였다. 측정은 2017년 6월 18일 17시~22시에 진행하였고, 시간대 별로 최소 2번, 최대 6번의 미세먼지 측정과 시간대 별 최소 5분, 최대 15분의 교통량 측정이 이루어졌으며, 측정값을 평균하여 강변북로 도로변 측정소의 측정값과 비교하였다.

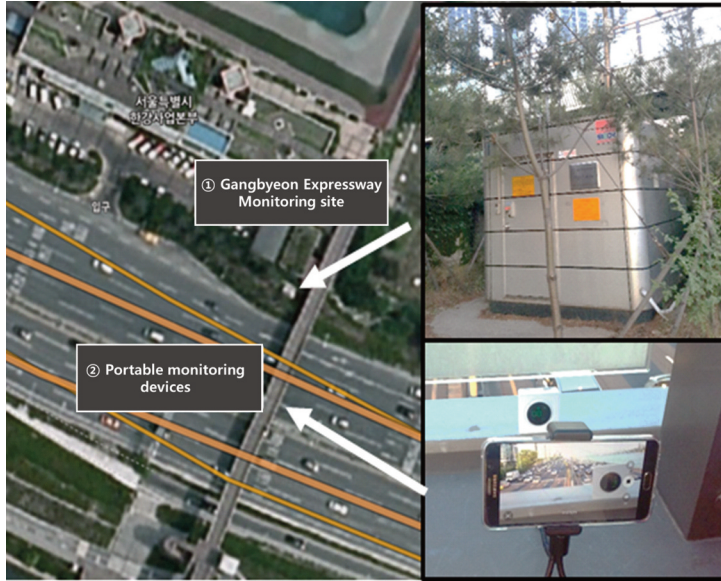


Figure 3. Measurement sites for air pollutants around roads

## 2) 측정결과

차량통행량 변화와 미세먼지 농도 변화 사이의 관계를 확인하기 위하여 앞에서 언급한 바와 같이 강변북로 육교위에서 미세먼지와 교통량을 함께 측정하여 그 둘의 관계를 평가하고자 하였다. Table 2~3에서는 측정한 미세먼지 농도를 시간대별로 평균한 측정치와 해당시간의 국가측정망 값을 비교하였다. 시간대별 측정소의 측정값과 휴대용 측정센서의 측정값 평균을 비교하여 보면, PM<sub>10</sub>의 경우에는 대체로 휴대용 측정기가 20%정도 과소산정 하였지만, PM<sub>2.5</sub>의 경우에는 약 60% 과다 산정하였다. PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>의 비율을 보면 도로변 측정망은 50%이하로, 미세먼지 측정센서는 70%이상으로 나타났다. 이러한 차이는 두 가지 가능성이 있다고 판단된다. 첫째는 휴대

용 측정센서의 PM<sub>10</sub> 및 PM<sub>2.5</sub> 측정 민감성이나 불확실성이 높을 가능성이다. 이러한 가능성을 줄이기 위해서는 공인시험장비와 채취구를 일치시키는 검증실험이 필요하다. 그리고 두 번째로는 도로변에 위치한 강변북로 측정소의 경우 재비산에 의해 배출되는 입자상물질에 많은 영향을 받고, 도로상에 위치한 측정센서의 위치는 차량배기가스만의 배출에 더 많은 영향을 받았을 가능성이다. 참고로 홍콩의 도로변에서 이루어진 유사연구 사례를 보면 PM<sub>2.5</sub>의 배출원이 자동차에서 29%, 도로재비산으로 1%가 발생한다는 연구결과가 있다(Y, Cheng et al, 2015).

Figure 4는 미세먼지 측정치의 시간대 평균 농도를 나타낸 것으로 강변북로의 해당시간대 값을 함께 표시하였다. 위의 표에서 나타난 바와 같이 측정지점

Table 2. Comparison of PM<sub>10</sub> average concentration for the roadside monitoring station and portable monitoring

	① Monitoring site in Seoul		② Portable monitoring devices		
	Gangbyeon roadside monitoring site		A	C	Average
17:00~17:59	57		41	39	40
18:00~18:59	54		33	42	38
19:00~19:59	54		40	46	43
20:00~20:59	58		50	57	54
21:00~21:59	65		57	62	60

Table 3. Comparison of PM<sub>2.5</sub> average concentration for the roadside monitoring station and portable monitoring

	① Monitoring site in Seoul	② Portable monitoring devices			
	Gangbyeon roadside monitoring site	A	B	C	Average
17:00~17:59	22	37	39	34	37
18:00~18:59	23	30	38	36	35
19:00~19:59	28	37	41	42	40
20:00~20:59	25	46	42	47	45
21:00~21:59	31	54	45	56	52

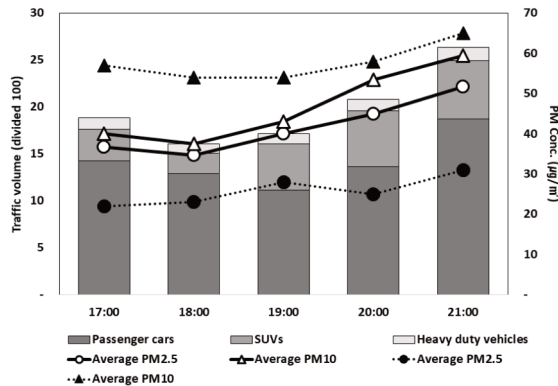


Figure 4. Trend of hourly traffic volume and PM concentration on June 19, 2017

(Solid line: measurement value of portable monitoring devices, dotted line: measurement value of Gangbyeon roadside monitoring site)

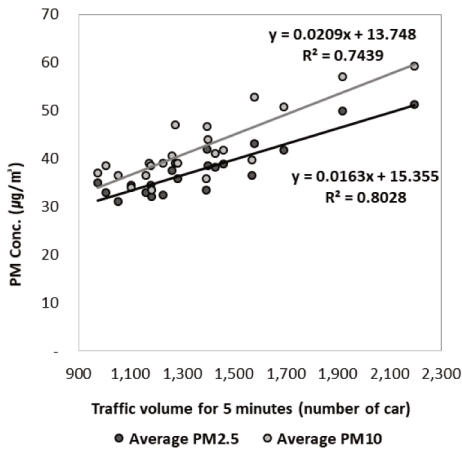


Figure 5. Correlation between traffic volume and PM concentration

과 불과 30여m 떨어져 있는 강변북로 측정소의 값과 비교하여 보았을 때, PM<sub>2.5</sub>는 1.5배~1.9배 높은 측정치를 보인 반면에 PM<sub>10</sub>은 측정소의 값보다 낮은 측정치를 보였다. 측정값의 수준이 옳다고 가정한다면,

이는 도로변에서 측정되는 PM<sub>2.5</sub>보다 도로상에서 발생하는 양이 더 많음을 의미하며, PM<sub>2.5</sub>의 발생과 차량 통행이 밀접한 관련이 있음을 의미하는 것이라고 판단된다. Figure 6은 이를 좀 더 객관적으로 분석하기 위해 차량과 미세먼지 농도간의 상관관계를 분석한 것이다. 측정 시간동안 시간당 약 18,000대~26,000여대의 차량이 통행하는 것으로 나타났고, PM농도의 변화경향과 차량의 통행량은 유사한 형태를 보이는 것을 확인할 수 있었다.

#### IV. 생활환경 미세먼지 측정기 활용성 평가

##### 1. 운전 중 에어컨 가동에 따른 차량 내부 미세먼지 농도 변화

###### 1) 실험방법

차량에 내장되어있는 에어컨의 가동에 따른 차량 내부의 미세먼지 농도 변화를 파악하기 위해 총 3회

Table 4. Experimental settings for mobile monitoring

	1st measurement	2nd measurement	3rd measurement
Vehicle type	Sportage - Diesel (2016)	Lotze - Gasoline (2007)	Sportage - Diesel (2016)
Measuring time	May 31, 2017 10:30 to 11:30 pm	June 11, 2017 1:00 pm to 3:00 pm	June 19, 2017 1:00 pm to 2:00 pm
Measuring section	Konkuk University - Gireum	Jamsil Naru Station - Seocho	Konkuk University - Ewha

의 실험을 수행하였다. 실험 차량은 스포티지(경유-2016연식)과 로체(휘발유-2007연식) 두 차종을 이용하여 측정을 실시하였다(Table 4).

각 차량의 에어컨 가동에 따른 차량내부 미세먼지 농도를 파악하기 위해 주행 중 창문을 개방하여 차량 내부의 대기질을 차량 외부와 동일한 수준으로 설정한 후, 창문을 폐쇄하여 외부 공기의 유입을 차단하였다. 그 후, 차량 내부에 내장되어 있는 에어컨을 내기순환과 외기순환 기능으로 각각 구별하여 선택하고, 약 10분 동안 휴대용 미세먼지 측정센서를 사용하여 차량 내부의 미세먼지 농도 변화를 측정하였다. 또한, 미세먼지 측정센서의 위치는 조수석에 위치하며, 높이는 탑승인원이 호흡하는 높이에 측정기를 설치하여 측정하였다. 이를 통하여 에어컨 작동 여부와 작동 모드에 따른 차량 내부 공기의 정화효과에 대하여 분석하였다.

## 2) 실험결과

비교적 최근에 생산된 차량을 통하여 측정을 실시한 1차, 3차 실험의 결과를 통하여 신차의 에어컨 작동에 따른 차량 내부의 대기질 변화를 확인하고자 하였다. 이때 에어컨을 내기순환 혹은 외기순환으로 작동하여 각 모드에 따른 미세먼지 농도 변화를 확인하였다. 1차 실험의 경우 외부 공기의 초미세먼지 농도는 각 센서별로 30~50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  정도로 나타났다(Figure 7). 각 실험의 초미세먼지 감소율의 산정은 실험 종료 직전의 차량 내부의 측정센서의 초미세먼지 농도값에 실험 시작 전 차량 내부의 측정센서의 미세먼지 농도값을 나눈 값을 활용하였다. 비교적 높지 않은 농도에서는 내기 순환 에어컨의 초미세먼지 감소율은 65~81% 정도였다. 하지만 3차 실험과 같이 외부 공기가 40~70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  수준의 비교적 고농도를 나타낸 경우의 경우 내기 순환 에어컨의 초미세먼

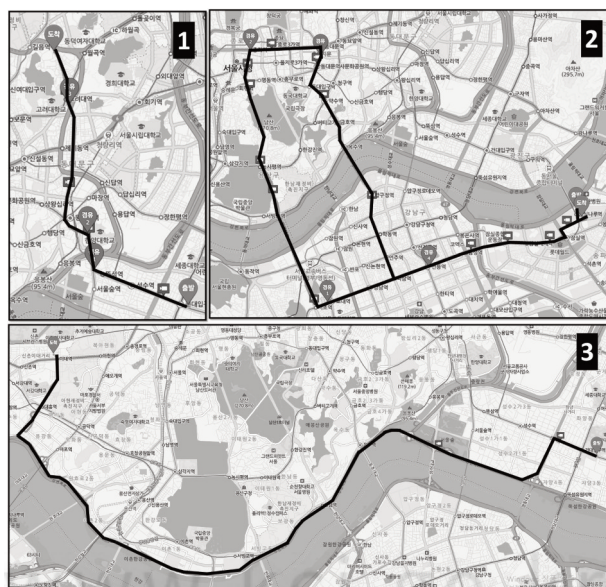


Figure 6. The traffic path of the mobile monitoring experiment

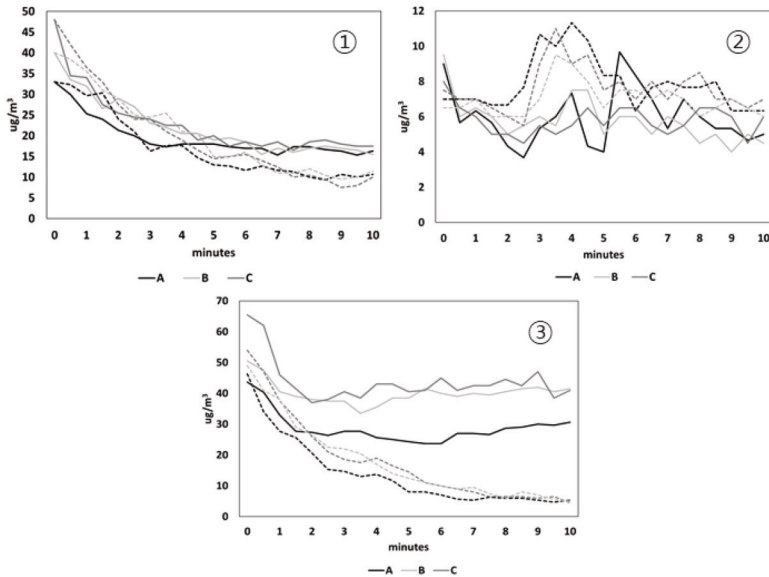


Figure 7. ①, ③ : Changes of the PM<sub>2.5</sub> concentration inside of the 2016 diesel vehicle with the air conditioner on, ② : Changes of the PM<sub>2.5</sub> concentration inside of the 2007 gasoline vehicle with the air conditioner on (Solid line: Outside air circulation, dotted line: Inside air circulation)

지 농도 감소율은 80%이상으로 높은 감소율을 보인다.

1차 실험(5/31일자 실험)의 내기순환과 외기순환의 감소율 차이는 크지 않은 것으로 나타난다. 하지만 동일한 연식의 차량으로 실험한 3차 실험(6/19일자 실험)의 내기순환과 외기순환의 감소율의 차이는 약 2~4배의 차이를 보이고 있다(Table 5). 이는 두 가지 요인에 의한 결과로 사료된다. 첫 번째 요인은 두 번의 실험에 활용된 차량이 동일한 연식과 동일한 차종이지만 두 차량은 같은 차량이 아니기 때문에 에어컨 필터의 사용 기간 및 횟수에 따른 차이가 존재할 수 있다. 두 번째 요인으로는 주행환경의 차이로 인한 결과로 사료된다. 1차 실험의 경우 건국대학교에서 길음역까지 주행하며 실험을 실시하였다. 주행 속도는 최고 60 km/hr가 넘지 않으며 신호대기로 인하여 주행과 제동을 반복하여 외기순환시 외부 대기의 유량이 적게 유입되었을 것으로 판단된다. 3차 실험의 경우 건국대학교에서 이대역까지 주행하였고 주행속도는 최고 80 km/hr이며 외기순환 실험 때의 도로상황이 원활하여 외부 대기의 유량이 실내로 많이 유입되었고, 이에 따라 미세먼지의 유입 또한 1차

실험의 조건보다 많아져 차량 에어컨 필터의 미세먼지의 감소율이 적게 나타난 것으로 판단된다.

Figure 7의 2번 그림은 2007년에 생산된 차량을 통하여 실험을 실시한 결과이다. 외기 순환 에어컨 가동 시와 내기 순환 에어컨 가동 시 모두 4~10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  농도에서 유지가 되었다. 하지만 주변 도시대기 측정소와 비교해서 보면 내기 순환 에어컨 가동 시 측정소 농도값(3~6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 보다 높은 농도가 측정되었고, 외기 순환 에어컨 가동 시에는 측정소 농도 값(8~9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 보다 낮은 농도가 측정되었다. 해당 차량의 총 주행거리는 약 20만km이지만 에어컨 필터교체를 단 한 번도 하지 않은 차량이기 때문에 이와 같은 결과가 도출되었다고 판단된다. 이를 통해 차량에 장착되어 있는 에어컨과 에어필터가 어느 정도 차량 내 공기를 정화 할 수 있는 능력을 갖추고 있음을 알 수 있지만, 연식이 오래된 차량의 경우 에어컨의 필터 교체 및 정비가 필수적이라고 판단된다.

## 2. 에어컨 가동에 따른 실내공기질 분석

현대인은 학교, 집, 사무실 등 실내공간에서 하루 중 가장 많은 시간을 보낸다. 최근 실내공간의 대기

Table 5. The PM<sub>2.5</sub> reduction rate in the 1st and 3rd experiment

		A1	A2	A3	B1	B2	C1	C2
May 31, 2017(1st)	Outside air circulation	55%	44%	50%	61%	62%	65%	62%
	Inside air circulation	73%	64%	65%	71%	72%	78%	81%
June 19, 2017(3rd)	Outside air circulation	20%	33%	41%	11%	16%	33%	42%
	Inside air circulation	88%	94%	84%	91%	87%	92%	92%

질의 중요성에 대한 인식이 높아지며 실내 공기질 정화에 대한 관심이 높아지고 있다. 국내의 에어컨은 보급률이 80%를 웃돌고, 이에 따라 에어컨의 공기청정기능 및 시중에 판매되는 각종 필터의 효율에 대한 관심 역시 높아지고 있다. 본 실험에서는 실내에 설치된 고정식 에어컨의 공기청정기능을 평가하였다.

1) 실험방법

본 연구 대상지는 일반적인 사무실과 비슷한 환경이며, 에어컨은 설치되어 있지만 공기청정기는 따로 설치되어 있지 않다. 실험장소에 설치되어 있는 에어컨은 냉방 능력이 11,000W 으로 약 30평형에 적합한 용량의 기기로 판단되며, 해당 기기를 통해 일반 필터식 공기청정기의 기능을 모사하여 실험을 진행하였다(Figure 8). 실험은 총 2회 진행하였다. 측정 센서는 출입문에서 멀리 떨어져 있고 실험공간의 중앙에 위치하며 평소 사람들이 자주 이용하는 회의테이블에 설치하였다. 실험은 사람들의 이동과 활동에 의한 영향을 가장 적게 받을 수 있는 오후 7시부터 11시 사이에 진행하였다. 그러나 실생활에서의 영향을 평가하는 실험인 만큼 부득이하게 실험실의 문이 열리거나, 사람들이 이동하는 것에 대한 변수는 통제하지 않고, 자연스러운 상황에서의 실험환경을 설정하여 진행하였다.

시간에 따른 농도의 변화측정값을 비교하기 위해, 휴대용 미세먼지 측정센서를 총 5대 사용하였고(B1, B2, C1, C2, C3), 외부 미세먼지의 농도와 비교를 위해 본 대상지와 거리상 가장 가까운 위치의 도시대기측정망인 서울 광진구 구의 아리수정수센터의 실시간 미세먼지 농도 측정값을 활용하였다(Air Korea, <http://www.airkorea.or.kr>). 휴대용 미세먼지 측정센서 중 C3의 경우, 실외의 농도를 확인하



Figure 8. Air conditioner and filter

기 위해 실험장소의 창문 외부에 부착하여 농도를 확인하였다.

2) 실험결과

실외에 부착된 C3의 농도는 도시대기측정망의 측정농도와 다소 차이를 보이는데, 이는 실험장소와 해당 도시대기측정망의 거리가 약 2km가량 떨어져 있어 측정환경에 따른 차이로 판단된다. 1차 및 2차 실험에서 에어컨 작동에 따라 미세먼지 농도가 서서히 감소하여 작동 후 5시간 후에는 미세먼지 농도가 약 40% 감소하는 것을 확인할 수 있다(Figure 9). 본 실험을 통하여 가정 및 사무공간에서 사용되는 일반 에

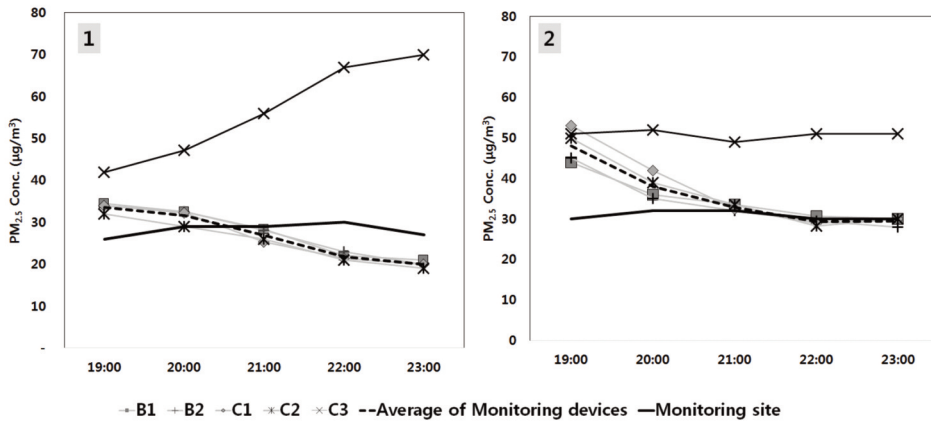


Figure 9. Changes of indoor and outdoor PM<sub>2.5</sub> concentrations at the office (1: on June 15, 2: on June 21, 2017)

어권이 미세먼지 정화 기능을 어느 정도 발휘할 수 있음을 알게 되었다.

### 3. 휴대용 미세먼지 측정센서를 활용한 황사마스크의 효율 평가

시중에 유통되고 있는 황사마스크(미세먼지마스크 또는 방역용마스크등으로 불림)는 미세입자의 크기가 0.6 µg인 미세입자를 80%이상 차단 할 수 있어야 하며 식품의약품안전처의 허가를 받아야 한다. 황사마스크와 일반마스크의 가장 큰 차이는 마스크의 구조와 섬유에 있다. 황사마스크의 구조는 미세한 입자도 막아내는 부직포, 정전기 필터로 구성되어 있다. 이때 부직포는 필터의 역할을 하며 초미세먼지를 1차적으로 차단하고 정전기 필터를 통해 2차적으로 전하를 띠는 미세먼지를 차단한다. 또한 필터에 나노섬유를 사용하여 일반 마스크에 쓰이는 일반 섬유보다 정교하고, 정돈되어있지 않은 형태의 배열로 구성되어있어 초미세먼지 차단효율이 높다(Leung et al, 2012).

최근 잦은 초미세먼지 고농도 사례로 인해 황사마스크의 사용량이 늘었는데 방한용 마스크에 비해 50%정도 비싼 황사마스크의 가격 때문에 재사용을 위해 물세탁을 하는 사람들이 생겨나고 있다. 그러나 황사마스크를 물세탁할 경우 물의 전기친화성 때문에 황사마스크의 구성하고 있는 정전기필터의 정전기 능력을 저하시키고, 나아가 나노섬유의 배열형태를 바꿔 필터 기능을 떨어뜨릴 수 있다. 이에 시중에

판매되는 황사마스크의 미세먼지 차단효율 및 세탁 후 황사마스크의 효율 변화를 분석하였다.

이전의 연구에서는 분진포집효율평가를 통해 황사마스크의 효율을 평가하여 성능 기준을 재고할 것을 식약청에 건의해왔다(Lee et al, 2007). 현재 국내에는 의약외품으로 허가된 ‘보건용 마스크’가 존재한다. 허가된 보건용 마스크는 KF80, KF94, KF99와 같이 성능별로 나뉘지게 되는데 KF(Korea Filter)의 뒤에 붙는 숫자들은 각각의 미세먼지 차단 효과를 나타낸다. 본 연구에서 사용한 KF94는 0.4 µm 크기의 입자를 94% 걸러낼 수 있는 성능을 의미한다. 그래서 본 연구에서는 진공상태를 이용하여 보다 간단하게 KF94 수준의 보건용 황사 마스크의 효율을 평가하는 실험을 진행하였다.

#### 1) 실험방법

황사마스크의 미세먼지 차단효율 및 세탁 후 효율 변화에 대한 실험을 위해 고농도의 시료를 제조한 뒤, 희석배수 적용을 통해 초미세먼지 예보기준별로 보통(16~50 µg/m<sup>3</sup>), 나쁨(51~100 µg/m<sup>3</sup>), 매우나쁨(101~250 µg/m<sup>3</sup>)일 때의 농도를 만들어 마스크의 효율을 비교하였다. 실험을 위해 측면에 지름 3cm크기의 구멍이 있는 아크릴상자(8×8×9cm)를 제작하여 그 안에 미세먼지 측정센서(B1, B2)를 넣고 가운데 5×5cm크기의 구멍 난 아이소보드(10×10cm)로 공기가 새어나가지 않게 막아주었다. 두 아이소보드

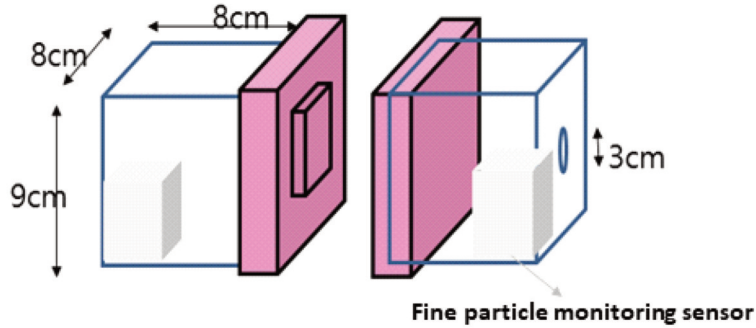


Figure 10. Experimental instrument for the dust mask reduction efficiency

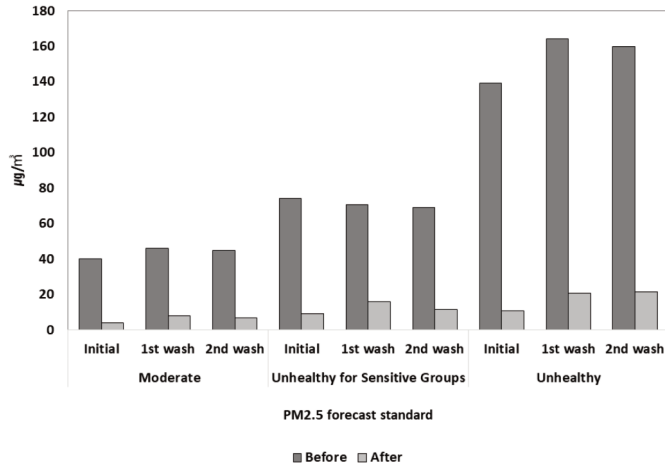


Figure 11. Comparison of dust mask efficiencies before and after wash

사이에 황사마스크를 끼우고 고무줄로 고정시킨 후, 실험 시작 전 양 쪽의 아크릴 내부 농도를 똑같이 맞추었다. 그 후, 오른쪽 상자로 제조된 고농도 먼지 시료를 주입하였고, 왼쪽 상자에는 진공청소기의 흡입구를 직접 연결한 후 가동하여 공기를 빨아들이도록 설정하였다. 황사마스크의 차단효율과 마스크 세탁 후의 변화를 파악하기 위해, 미세먼지 예보 기준별로 제조된 시료를, 1) 마스크를 세탁하지 않았을 때, 2) 1차 세탁하였을 때, 3) 2차 세탁하였을 때의 각각의 경우에 대해 마스크를 통과한 후 농도를 측정하였다.

## 2) 실험결과

예보기준이 '보통'일 경우에 대해 실험하기 위해, 마스크를 통과하기 전의 미세먼지 농도는 40~46

µg/m³가량으로 설정하여 시료를 조제하였다. 시료는 3.1절에서와 같이 담배연기를 공기로 희석하여 사용하였다. 마스크를 통과한 농도는 마스크를 세탁하지 않았을 경우 4 µg/m³, 세탁 후 7~8 µg/m³의 농도를 보이며 차단 효율은 세탁하지 않았을 경우 90%, 1차 세탁이 83% 2차 84%로 나타났다. 실험 결과, 세탁 후 효율이 세탁 전에 비해 약 7~8%가 떨어지는 것을 볼 수 있었지만, 1차 세탁 이후에는 크게 차이가 없었다. '나쁨' 예보일 기준으로 마스크의 효율을 보기 위해, 마스크를 통과하기 전의 미세먼지 농도를 70 ~ 74 µg/m³으로 설정하여 시료를 조제하고 실험하였다. 마스크를 통과한 농도는 세탁하지 않았을 경우 9 µg/m³, 1차세탁과 2차세탁 후의 농도는 각각 16 µg/m³, 12 µg/m³의 값을 나타내었다. 마스크

크를 세탁한 후, 세탁하기 전보다 차단효율이 떨어졌고, 2차 세탁 후 1차 세탁보다 오히려 효율이 약간 높아졌지만 큰 차이는 보이지 않았다. 이는 '나뽀' 예보 일 기준의 실험 당시 기상조건으로 인하여 높은 습도의 환경에서 실험이 이루어졌기 판단된다. '매우 나뽀'일 경우에는, 마스크를 통과하기 전의 미세먼지 농도를 140 ~ 165  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 설정하였다. 마스크를 통과한 후의 농도를 살펴보면, 세탁하지 않았을 경우 11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 1차세탁 및 2차세탁 후 21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가량으로 효과가 떨어지는 것을 알 수 있었다.

다양한 경우를 가정하여 총 9번의 측정을 실시한 결과, 황사마스크는 초미세먼지를 90%가량 차단할 수 있는 것을 확인할 수 있었다. 황사마스크를 세탁하였을 경우에는 세탁하지 않았을 경우보다 차단 효율이 낮아지지만, 예보기준이 매우 나뽀인 경우를 제외하면, 대기환경기준의 연평균 목표치인 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하의 농도로 저감시켜 줌을 확인할 수 있었다. 이를 통해, 소비자는 황사마스크를 착용함으로써 호흡을 통한 미세먼지로부터의 영향을 감소시킬 수 있고, 새 제품의 구입이 어려운 경우 세탁을 하여 착용하는 것도 미착용하는 것보다는 나은 결과를 보임을 확인할 수 있었다. 그러나 앞에서의 실험들에서 보았듯이, 실험에 사용된 휴대용 미세먼지 측정센서는 광산란법을 이용하여 미세먼지를 측정하기 때문에 정확한  $\text{PM}_{2.5}$ 의 농도를 산정한 것이라고는 할 수 없다. 또한 마스크의 착용은 마스크 자체의 효율에도 영향을 받지만 마스크와 안면 사이의 기밀에 따라 훨씬 더 큰 영향을 받을 수 있기 때문에 이번 실험은 상대적이며 기초적인 시도로서의 의미를 가지는 것으로 이해해야 할 것이라고 판단된다. 이와 같은 이유로 정확한 결과를 얻기 위해서는 공인시험법에 따른 추가 실험이 필요할 것이다.

## V. 요약 및 결론

초미세먼지에 대한 관심이 높아지면서, 어린이나 노약자등 취약계층을 주변에 두고 있는 사람들을 중심으로 휴대용 미세먼지 측정센서의 수요가 증가하고 있다. 하지만 시중에서 쉽고 저렴하게 구할 수 있

는 기기가 과연 얼마나 신뢰성이 있는지와 이들에 대한 좀 더 올바른 활용방법에 대한 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 광산란법을 활용한 저가형 휴대용미세먼지 측정센서의 미세먼지 농도 측정값의 적정성을 평가하여, 수요자들이 실생활에서 미세먼지 오염농도의 특성을 좀 더 과학적으로 이해하고 스스로 건강 영향을 줄일 수 있도록 돕는 방안에 대한 연구를 수행하였다.

이를 위해 첫 번째로, 휴대용 미세먼지측정센서의 측정값의 안정성을 및 반응민감성을 분석하여 센서별 적정성을 평가하였다. 제한된 공간에서의 각 센서별 측정값을 비교한 결과, A는 동일 모델센서의 측정값사이의 오차가 다른 두 모델에 비해 컸으며, B와 C의 동일 센서간 측정값은 비교적 비슷한 수준을 보여 A에 비해 안정성이 높다고 판단되었다. 그리고 이 측정센서들을 밀폐된 상자에 넣은 후 오염물질을 반복 투입하여 센서별 반응민감성을 평가하였는데, 비록 센서간 오차는 컸지만 A 측정센서가 가장 민감한 반응을 보였으며, B는 동일한 모델의 센서 사이의 측정값이 매우 유사한 농도를 측정하여 센서의 재현성이 가장 높은 것으로 판단되나, 세 모델 중 오염농도에 대해 가장 둔감한 반응을 보였다. C의 경우, 동일 센서 간 측정값이 비슷한 수준을 보여 높은 안정성을 보였으나, 검증된 기기인 S의 측정값의 반응민감성에는 못 미치는 수준을 보였다.

두 번째로는 실생활에서 휴대용 미세먼지 측정센서를 활용할 수 있는 연구를 수행하였다. 여기에는 차량에 의한 미세먼지 영향분석, 운전 중 에어컨 가동에 따른 차량 내부 미세먼지 농도변화, 고정형 에어컨 가동에 따른 실내 미세먼지 분석, 황사마스크의 효율을 평가가 포함되었다.

차량에 의한 도로변의 미세먼지 영향을 분석한 결과,  $\text{PM}_{2.5}$ 의 발생과 차량 통행이 밀접한 관련이 있음을 알 수 있었고,  $\text{PM}_{10}$ 보다는  $\text{PM}_{2.5}$ 가 교통량과의 상관관계가 더 높음을 알 수 있었다. 그리고  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  모두 개별 차종 보다는 통행량 총계에 더 높은 상관관계를 보였다. 운전 중 에어컨 가동에 따른 차량 내부 미세먼지의 농도 변화를 분석한 결과, 에어컨을 가동 했을 시 초미세먼지 농도가 줄어들며, 내

기순환 에어컨이 외기순환 에어컨보다 비교적 더 큰 폭으로 감소시키는 경향임을 볼 수 있었다. 또한 실내에서 사용되는 일반 에어컨 또한 미세먼지 농도를 약 40%이상 정화시켜주는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 황사마스크의 효율 및 정전식 마스크를 세탁했을 때의 영향을 분석한 결과, 전반적으로 만족스러운 차단효과를 보여주었다. 세탁 전후의 비교에서, 세탁하지 않은 경우와 세탁의 경우는 적지 않은 차이를 보였으나 1차와 2차 세탁에서의 유의한 효율차이는 나타나지 않았고, 모두 미세먼지 '보통' 이하 수준의 농도로 저감시켜 주었다.

이러한 결과를 토대로 판단해 보면, 저가형 휴대용 미세먼지 측정센서의 구매자들은 측정센서를 이용하여 정확한 농도수준을 아는 것에는 어려움이 있을 것으로 예상되나, 미세먼지의 농도 변화 추이 및 오염 여부에 대한 상대적 정보를 얻기에는 적절하다고 판단되었다. 또한 실생활에서 미세먼지가 발생할 수 있는 다양한 요인들이 있는데, 소형센서가 부착된 휴대용 미세먼지 측정기를 사용함으로써 어린이나 노약자, 호흡기 질환이 있는 환자들이 측정농도의 변화를 빠르게 이해하고 대처 할 수 있을 것으로 판단되며, 쾌적한 삶을 원하는 사용자들에게 유용한 도구로 활용될 수 있을 것이라 기대되었다. 하지만 현재의 저가형 미세먼지 측정기에는 제조사에서 제공하는 기기마다의 정확한 측정 가능 스펙이 충분히 과학적으로 설명되어 있지 않기 때문에 이에 대한 보완 역시 필요하다고 판단되었다.

본 연구는 현재 널리 판매되고 사용되는 휴대용 미세먼지 측정센서가 측정하는 농도의 수준이 얼마나 믿을 수 있는지에 대한 기초적인 해답을 얻고자 수행되었다. 본 연구에서 사용한 센서기들은 초소형의 광산란센서를 활용함으로써, 소형이고 저렴하여 많은 국민들이 사용하고 있지만 그 농도의 수준과 유용성은 검증된 적이 거의 없다. 그러므로 본 연구의 의미는, 고가의 정확한 공인장비를 사용한 검증실험을 수행하기에 앞서 현존하는 센서에 대한 많은 궁금증을 과학적인 접근 방법을 통해 해소하고자 한, 초기적인 신뢰성과 활용성 연구라는 의미를 가진다고 사료된다. 본 연구를 시작으로 향후에 공인된 장비를

통한 정확하고 신뢰성있는 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

## 사사

본 연구는 환경부 「기후변화특성화대학원사업」의 지원과 2017년도 정부 (과학기술정보통신부, 환경부, 보건복지부)의 재원으로 한국연구재단-미세먼지 국가전략프로젝트사업”의 지원을 받아 수행됨 (NRF-2017M3D8A1092022).

## References

- Air Korea, <http://www.airkorea.or.kr>
- Bong CK, Kim YG, Lee JH, Bong HK, and Kim DS. 2015. Mutual Comparison between Two the Real-time Optical Particle Counter for Measuring Fine Particles. *Journal of the Korean Society of Urban Environment*. 15(3): pp. 219-226. [Korean Literature]
- Cheng Y, Lee S, Gu Z, Ho K, Zhang Y, Yu Huang Y, Watson JG, Cao J, and Zhang R. 2015. PM2.5 and PM10-2.5 chemical composition and source apportionment near a Hong Kong roadway. *Particuology*. 18: 96-104.
- Choi SI, Ahn JE and Cho YM. 2018. Review of Analysis Principle of Fine Dust. *Prospectives of industrial chemistry*. Vol. 21(2), 16-23. [Korean Literature]
- Gobeli D, Schloesser H, Pottberg T. 2008. Met One Instruments BAM-1020 Beta Attenuation Mass Monitor US-EPA PM2.5 Federal Equivalent Method Field Test Results.
- Hinds WC. 1999. "Aerosol technology," Second Edition, John Wiley & Sons, New York.
- Kim DS, Cho YK, and Yoon YH. 2014.

- Development of a Real-time Monitoring Device for measuring Particulate Matter. Particle and Aerosol research, 10: 1-8. [Korean Literature]
- Kim HH. 2009. A Study on Accuracy/Precision Improvement of Environmental Analyzer Type Approval Performance Test Method. NIER. [Korean Literature]
- Kim JH, Oh J, Choi JS, Ahn JY, Yoon GH, and Park JS. 2014. A Study on the Correction Factor of Optic Scattering PM2.5 by Gravimetric Method. Journal of the Korean Society of Urban Environment. 14(1): pp. 41-47. [Korean Literature]
- KIPO(Korea Intellectual Property Office), <http://www.kipo.go.kr/>
- Lee JB, Lee MC, An GS, Heo HR, Jung K, Kim JH and Kim MY. 2007. Evaluation on the dust removal efficiency of mask for asian dust. Korean Society for Atmospheric Environment, pp. 467-468. [Korean Literature]
- Leung WW and Hung CH. 2012. Skin effect in nanofiber filtration of submicron aerosols. Separation and Purification Technology 92: 174-180.
- Liu W, Zhang J, Hashim JH, Jalaludin J, Hashim Z, and Goldstein BD. 2003. Mosquito coil emissions and health implications. Environ Health Perspect. 2003 Sep; 111(12): 1454-1460.
- Park SE, Shin HJ. 2017. Analysis of the Factors Influencing PM2.5 in Korea : Focusing on Seasonal Factors. DOI :10.15301/jepa.2017.25.1.227. [Korean Literature]
- Malm WC. 1999. Introduction to Visibility, Cooperative Institute for Research in the Atmosphere (CIRA) Report.
- NIER(National Institute of Environmental Research). 2016. Air Pollution Monitoring Network Installation and Operation Guidelines. [Korean Literature]
- NIER(National Institute of Environmental Research). 2016. ANNUAL REPORT OF AIR QUALITY IN KOREA 2015. [Korean Literature]
- Woo JH, An SM, Hong K, Kim JJ, Lim SB, Kim HS, and Eum JH. 2016. Integration of CFD-Based Virtual Sensors to A Ubiquitous Sensor Network to Support Micro-Scale Air Quality Management, Journal of Environmental Informatics 27(2): 85-97.
- Woo JH, Baek EO, Gwon KH. 2013. Constructing u-City Seoul by Future Foresight Analysis, Seoul Government Resport.