

## 지하철역사의 호선별로 미세먼지의 노출특성에 대한 평가

황성호\* · 김종오\*\*

\*국립암센터 암예방사업과, \*\*동남보건대학교 환경보건과

### Evaluation of Exposure Characteristics of Fine Dusts by Subway Lines

Sung Ho Hwang\* and Jeong Oh Kim\*\*

\*Cancer Risk Appraisal & Prevention Branch, National Cancer Center

\*\*Department of Environmental Health, Dong-nam Health University

#### ABSTRACT

**Objectives:** This study aimed to assess the environmental factors that affect particulate matters (PM10) and to compare with outdoor PM10 concentrations in an underground subway stations.

**Methods:** The PM10 level was determined from May 2013 to September 2013 in the Seoul subway stations in four lines. PM mini-vol portable sampler was used to collect PM10 for 6 hrs. Arithmetic means of PM10 concentrations with standard deviation (SD) were calculated. Paired *t*-test was used to compare the differences between indoor PM10 and outdoor PM10 concentrations with correlation analysis which was used to identify the association between indoor PM10 concentrations and environmental factors.

**Results:** There were no different PM10 concentrations significantly between line 1, 2, 3 and 4 in an underground subway stations. Passenger number was positively associated with PM10 concentration while construction year was negatively associated with PM10 concentrations. Indoor PM10 concentrations were significantly higher than those in outdoor PM10 concentrations. PM10 concentrations were higher in the stations which were constructed before 1990s rather than the stations constructed after 1990s.

**Conclusion:** PM10 levels in the underground subway stations varied greatly depending on the construction year. Therefore, it might need to be more careful management to the stations which constructed in before 1990s.

**Keywords:** IAQ (Indoor air quality in subway platform), IAP (Indoor Air Pollution), I/O ratio, PM10, Construction year, Outdoor PM10

#### I. 서 론

대부분의 현대인들은 다양한 실내 환경에서 많은 시간을 보내고 있기 때문에 실내공기의 질은 건강영향에 중요한 요소이다.<sup>1)</sup> 실내 공기질은 건물 실내와 건물 주변의 쾌적한 공기의 정도를 의미하고, 건물 실내에 있는 사람들의 호흡과 관련한 건강과도 상관

이 있다. 우리나라 규정상 실내 공기 오염물질로는 미세먼지(PM10), 부유세균, 이산화탄소, 포름알데히드, 일산화탄소, 이산화질소, 라돈, 총휘발성유기화합물, 석면, 오존이 있다.<sup>2)</sup>

여러 가지 다양한 오염물질 중에서 직경 10  $\mu\text{m}$  이하의 입자에 뜻하는 PM10은 장기간 노출시 호흡기 감염 및 염증 증상을 일으킬 수 있으며, 폐 및

†Corresponding author: Department of Environmental Health, Dong-nam Health University, Tel: +82-31-249-6452, Fax: +82-31-249-6450, E-mail: jongokim@dongnam.ac.kr

Received: 31 October 2016, Revised: 08 February 2017, Accepted: 23 February 2017

심장 혈관 질환뿐만 아니라 폐암을 일으키는 것으로 알려져 있다.<sup>3)</sup> 다양한 실내 환경 중에서도 지하철은 많은 연령층의 사람들이 교통수단으로 이용되는 공공장소로 공기 중 미세먼지 발생의 영향을 받기 쉬운 대표적인 실내환경이다. 지하철은 전세계적으로 160개 이상의 도시에서 대중 교통 수단으로 많이 이용되고 있기 때문에 전 세계적으로도 지하철의 실내 공기질에 대한 연구는 중요하다. 지하철의 입자상 물질은 각진 모양, 큰 직경, 높은 질량을 보였으며, 철(Fe)로부터 기원되는 고농도의 금속물질을 포함하고 있다.<sup>4,6)</sup> 따라서 지하철역 이용자의 건강 보호 및 깨끗한 공기질을 유지하기 위해서는 지하철역의 미세먼지와 일반 대기의 미세먼지와의 관계를 파악하고, 오염특성을 확인하는 것은 매우 중요하다.<sup>7)</sup> 지하철 환경에서 오염된 공기 질은 부적절한 관리 및 환기 시스템으로 인해 발생할 수 있으므로 적절한 관리가 필요하다.<sup>8)</sup>

2004년 5월 이후, 환경부는 지하철을 포함한 공공 시설물의 실내 환경오염에서 국민건강을 보호하기 위해 실내공기질을 관리 및 유지하고 있다.<sup>1)</sup> 많은 불특정다수의 사람들이 이용하는 지하철역사에서 PM10 농도 분포 및 특성을 평가하여 전반적인 노출수준을 파악하는 것이 향후 원인인자 확인 및 공기질 개선에 도움이 될 수 있다.

본 연구의 목적은 서울메트로 지하철 1-4호선 전체 지하철역을 대상으로 공기 중 PM10 농도를 주변의 환경요소인 역사의 길이, 역사의 면적, 역사 설치년도, 승객수 간의 상관성 분석과 실내 및 실외 PM10 농도 간의 평균농도를 비교 평가를 통해 전반적인 지하철 역사 농도분포 및 영향인자들을 파악하는 것이다.

## II. 연구방법

### 1. 지하철 환경요소

본 연구는 2013년 5월부터 9월까지 100개 PM10 시료를 서울메트로 1-4호선까지의 100곳의 지하철역사에서 공기 중 농도를 측정하였다. Table 1은 100곳의 지하철 역사의 환경적 특징을 나타낸 표이다. 호선별로 측정된 역사의 개수가 다른 것은 호선마다 지상이 아닌 지하철역사의 개수가 다르기 때문이다. 즉, 1호선에서의 지하철역사는 10곳, 2호선은 37곳, 3호선은 21곳, 4호선이 21곳이다. 지하철 역사의 환경적 요소로는 역사의 길이, 역사의 면적, 역사의 설치년도 및 측정 당일의 평균 승객 수를 고려하였다. 환경요인(역사의 길이, 역사의 면적, 역사 설치년도, 승객 수)은 서울메트로 홈페이지에 공시된 자료를 활용하였다.

### 2. 시료채취 및 실외 PM10

각 지점에서 사용한 샘플러는 PM mini-vol portable sampler(Model 4.1, Airmetrics Co., USA)로, 시료채취 유량은 5 L/min로 고정하여 6시간 동안 측정하였다. 시료포집에 사용한 필터는 직경 47 mm, pore size 2 µm의 teflon filter (Zeflour, Pall Cor, USA)를 사용하였다. Teflon 필터는 시료채취 전·후로 3일간 항온·항습기에 보관한 후에, 전자저울(Sartorius Co., Model CPA2PF)로 칭량하였다. 실외 PM10 농도는 Air Korea에서 측정된 자료를 적용하여 지하철 역사 실내 PM10 농도와 비교하였다.<sup>9)</sup> 지역적인 차이를 고려하여 역사 측정일과 가장 가까운 실외에 위치한 PM10 농도지점과 비교하였다. 모든 실내 PM10 농도는 공시된 2013년 서울메트로 실내공기

**Table 1.** The characteristics of environmental factors in the four line of underground subway stations.

Line	Mean (range)				No. of passenger
	No. of station	Length of station (m)	Areas of station (m <sup>2</sup> )	Year of construction	
Line 1	10	210 (210-210)	8759.4 (5490-10465)	1977 (1974-2005)	61,278 (15,718-150,136)
Line 2	37	198 (90-205)	8347.4 (3936-18506)	1984 (1980-2005)	72,837 (2949-263,820)
Line 3	32	205 (205-205)	8997.9 (3860-14613)	1989 (1985-2010)	38,822 (7,716-124,914)
Line 4	21	205 (205-205)	8560.8 (5913-15490)	1985 (1985-1994)	55,075 (2,387-99,167)
Total	100	203 (90-210)	8641.6 (3860-18506)	1985 (1974-2010)	57,251 (2,387-263,820)

질 측정결과를 활용하였다.

3. 통계분석

통계분석은 SAS (version 9.3) 프로그램을 사용하였다. Shapiro-Wilk test 결과 PM10 농도의 분포가 정규분포를 나타내어 모든 통계분석은 모수 방법을 이용하여 수행하였다. 지하철 노선별(1-4호선) 농도 분포와 환경요인 분포특징을 확인하기 위해 기술통계분석을 실시하였고, 실내 PM10 평균농도와 실외 PM10 평균농도간의 유의성 검정을 위해 Paired t-test 분석을 실시하였다. 또한 PM10 농도와 역사설치 년도 간에 상관성을 알아보기 위해 Pearson test 분석법을 적용하여 통계적 상관성을 검정하였다.

III. 연구결과

Table 2는 1-4호선간의 PM10 농도분포를 나타낸 것이다. 농도 값은 Shapiro-Wilk test 결과 정규분포를 보여 산술평균으로 나타내었다. 지하역사 100곳의 공기 중 PM10평균농도는  $91.8 \pm 4.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로, 하위 88.3 - 상위  $91.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (95% 신뢰구간) 범위를 나타내었다. 가장 높은 PM10 평균농도는 1호선에서  $95.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났고, 다음으로 4호선( $91.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 2호선( $90.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 3호선( $91.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 순으로 평균농도 분포를 보였다.

Pearson 상관분석은 PM10 농도와 지하철 역사의 길이, 역사면적, 역사 설치년도와의 관계를 확인하기 위해 수행되었다. PM10 농도와 설치년도( $r = -0.437$ ,  $p < 0.001$ )는 유의한 역상관성이 있었고, 승객수( $r = 0.498$ ,  $p < 0.001$ ) 및 역사길이( $r = 0.462$ ,  $p < 0.001$ )는 유의한 상관성이 있었지만, 역사면적( $r = 0.134$ ,

Table 2. The characteristics of PM10 concentrations in the four line of underground subway stations

Line	Sample	No. of PM10 concentration		
		Mean $\pm$ SD <sup>a</sup>	Low 95% CI <sup>b</sup>	High 95% CI <sup>b</sup>
Line 1	10	95.7 $\pm$ 5.5	91.8	99.7
Line 2	37	90.4 $\pm$ 6.1	88.3	92.4
Line 3	32	90.1 $\pm$ 4.4	88.5	91.6
Line 4	21	91.1 $\pm$ 3.8	89.4	92.8
Total	100	91.8 $\pm$ 4.9	88.3	91.6

<sup>a</sup>; Standard deviation, <sup>b</sup>; Confidence interval

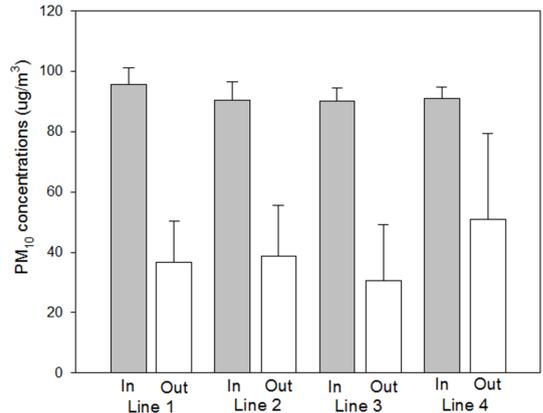


Fig. 1. Comparison between indoor and outdoor concentration of PM10 in four lines ( $p < 0.001$ ).

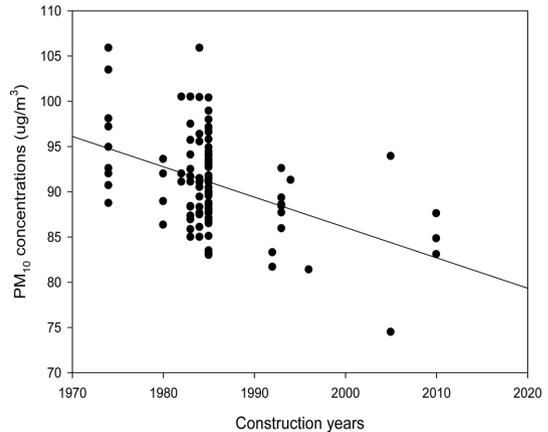


Fig. 2. Plot regression between PM10 concentration and construction years ( $p < 0.001$ ) in stations.

$p > 0.05$ )과는 유의한 상관성이 없었다.

Fig. 1은 지하철 내에서의 PM10 농도와 실외(대기 중)의 PM10 농도를 비교한 결과이다. 지하철 1-4호선 모두 실외의 대기 PM10 농도 보다 높게 나타났고, 이는 통계적으로도 유의한 결과를 나타내었다 ( $p < 0.001$ ). 실내와 실외 PM10 농도 차이가 가장 많이 나타나는 호선은 3호선(실내 PM10 평균농도:  $90.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 실외 PM10 평균농도:  $30.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 이었고 실내/실외 농도비(I/O ratio)는 3.4, 그 다음으로 1호선(실내 PM10 평균농도:  $95.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 실외 PM10 평균농도:  $36.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , I/O ratio: 2.8), 2호선(실내 PM10 평균농도:  $90.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 실외 PM10 평균농도:  $38.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , I/O ratio: 3.8), 4호선(실내

PM10 평균농도: 91.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 실외 PM10 평균농도: 51.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , I/O ratio: 2.3) 순으로 나타났다.

Fig. 2는 Pearson 상관분석에서 유의한 상관성 결과를 보인 역사 PM10 농도와 설치 년도간의 상관성 분포를 나타낸 것이다. 지하철 역사 설치 년도가 1990년도를 기점으로 1990년도 이전에 설치된 역사에서 PM10 농도가 1990년도 이후에 설치된 역사의 PM10 농도보다 높게 나타나는 양상을 보였고(Fig. 2, 지하철 역사 길이가 205 m<sup>2</sup>를 기점으로 PM10 농도가 높게 나타나는 양상을 보였다).

#### IV. 고 찰

본 연구 결과 지하철 역사 PM10의 평균 농도는  $91.8 \pm 4.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 우리나라 다중이용시설 유지기준과 미국환경보호국에서 권장하는  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 넘지 않았으며,<sup>10)</sup> 서울시 조례로 강화된 다중이용시설 유지기준인  $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 도 초과하지 않았다.<sup>1)</sup> 다른 실내 환경에서의 PM10 농도를 측정된 연구를 보면 도심가의 초등학교는 평균  $42.3 \pm 9.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고, 석탄을 사용하는 주택은 평균  $105.9 \pm 23.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며, 피트니스 센터의 경우 평균 범위  $3.5\text{-}101 \mu\text{g}/\text{m}^3$  나타났다.<sup>11-13)</sup> 도심가의 초등학교와 비교해 볼 때 본 연구에서의 PM10 평균농도가 높다는 것을 알 수 있다.

서울메트로 100개 역사에서의 PM10 평균농도와 세계 각국에서 측정된 PM10 농도를 비교한 결과, 지하철 역사의 PM10 평균농도는 멕시코시티, LA, 타이페이, 프라하의 농도와 비슷한 농도 수준<sup>14-17)</sup>이었지만, 로마, 런던, 카이로, 스톡홀름의 지하철 역사보다는 낮은 농도 분포를 나타내었다.<sup>18-21)</sup> 하지만 지하철 실내공기질은 외기농도와 계절별 특성을 고려해야 하기 때문에 단순히 농도비교만으로는 무리

가 있다.<sup>22)</sup> 또한 우리나라와 다른 지하철 역사 구조, 운행 빈도, 지하터널 환기상태 등을 고려하여야 한다.<sup>23,24)</sup> 본 연구의 4호선 역사내 PM10 평균농도를 2004년도에 측정된 서울메트로 4호선 역사 측정자료<sup>25)</sup>와 비교한 결과, 2004년 역사의 PM10 농도는  $359 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 본 연구 결과 PM10 평균농도  $91.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  보다 약 4배 높게 나타났다. 본 연구에서 측정된 서울메트로 1-4호선 지하역사 내의 PM10 농도가 2004년의 결과 보다 낮게 나타난 이유는 서울메트로의 지속적인 공기청정기 설치 및 공기질 관리의 결과로 사료되었다.

지하역사 내의 PM10 농도와 역사의 길이와 역사 설치년도 간의 유의한 상관성은 직접적으로 역사의 길이가 길수록 PM10 농도가 높아지기에 합당한 설명근거를 찾기는 어려웠다. 실제 역사의 길이 및 설치년도 차체의 영향이었다기 보다는 역사마다 다른 승객수의 영향이 작용했을 것으로 판단되었다. 다른 연구결과에서도 본 연구결과와 같이 실내 PM입자 분포는 사람의 존재 유무에 강한 상관관계를 나타내었는데 이는 사람을 통하여 부유입자가 재생성되면서 PM10 농도에 영향을 미쳤기 때문이다.<sup>26)</sup> PM10 농도와 지하역사 설치년도 간에 유의한 역상관성을 보인 결과를 좀더 자세히 살펴보기 위한 상관성 산점도 분포 결과(Fig. 2) 1990년에 설치된 역사를 기점으로 PM10 농도가 차이가나는 것을 알 수 있었다. 오래된 건물 사무실과 새 건물 사무실 간의 초미세먼지(Ultra fine particle) 농도를 조사한 연구<sup>27)</sup>에 따르면 오래된 건물 사무실이 새 건물 사무실에 비해 유의하게 높게 나타났다. 이는 오래된 건물이 새 건물에 비해 초미세먼지의 발생원인이 되는 복사기, 레이저 프린트 및 담배연기의 노출이 새 건물 사무실에 비해 많았기 때문인 것으로 해석하였다. 하

**Table 3.** Pearson correlation analysis between PM10 and environmental factors in underground subway stations

	PM10	Length of station	Areas of station	Year of construction	No. of passenger
PM10	1.000				
Length of station	0.462**	1.000			
Areas of station	0.134	0.207*	1.000		
Year of construction	-0.437**	-0.384**	0.109	1.000	
No. of passenger	0.498**	0.210	0.100	-0.380	1.000

\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.001$

지만 본 연구에서 오래된 역사와 그렇지 않은 역사 간에 나타난 PM10 농도 차이의 결과를 설명하기에는 발생원인이 될 만한 근거가 충분치 않아 해석상의 어려움이 있다.

Fig. 1에서 지하 역사내의 PM10 농도가 실외 PM10 농도 보다 유의하게 높게 나타났는데 이러한 결과는 Lee(2015)<sup>28</sup> 연구 결과와 일치하였다. Lee(2015) 연구에 따르면 역사내 PM10 농도가 높은 것은 지하철 터널에서 생성된 큰 입자의 영향을 받았기 때문이라고 설명하였다. 즉, 지하철이 역사에 정착하여 출입문이 개폐될 때 열차풍에 의해 지하터널이나 선로 내부로부터 미세먼지가 재비산하여 승강장 미세먼지 농도가 높게 나타난 것이다.<sup>29,30</sup> 이러한 영향 외에도 미세먼지는 불충분한 공기교환 횟수와 부적절한 환기시스템 관리와 같은 문제로도 미세먼지 농도를 증가시키는 원인이 될 수 있기 때문에 적절한 환기시스템 관리가 중요하다.

본 연구는 서울메트로 지하 역사내 PM10 농도 수준을 측정 평가한 연구로 몇 가지 제한점이 있다. 첫째, 지하철 역사내 PM10 농도와 실외 PM10를 동시에 측정하여 비교하지 못하고 대기환경망(Air Korea) 자료로 비교하여 평가한 것이다. 같은 시료 채취기로 동시간에 측정을 하여 비교하지 못하여 정확한 비교라고 할 수 없다. 둘째, 온도, 습도, 역사 부피와 같은 환경요인 자료를 함께 고려하여 측정농도 값과 비교 하지 못하였다. 셋째, 측정이 그 역사를 대표할 수 있을 만큼의 충분한 기간과 시료수가 아니어서 그 역사의 농도 수준을 대표할 수가 없다. 하지만 본 연구는 서울메트로 전체 지하역사 역사 100곳(1-4호선)에서 측정 및 평가를 하였기 때문에 전반적인 지하역사의 PM10 농도 수준을 알 수 있는 근거가 되는 기초 자료로 활용될 수 있다.

## V. 결 론

본 연구는 서울메트로 지하철 1-4호선 전체 지하역사 대상으로 공기 중 PM10 농도를 주변의 환경요소와 실외 PM10 농도 간의 상관성 및 평균농도 비교를 실시한 연구로 주요 결과로는 다음과 같다.

지하철 역사의 PM10 농도는 1-4호선간의 농도 차이가 없었고, 환경요소인 승객수와 가장 유의한 상관성을 보였다.

역사내의 PM10 농도는 유지기준을 초과하지는 않았지만 실외 PM10 농도와 비교해 유의하게 높은 것으로 나타났다.

지하역사 PM10 농도와 설치년도 간의 상관성을 분포도를 통해 1990년도 이전에 설치된 역사가 1990년 이후로 설치된 역사보다 PM10 농도가 높은 것으로 나타났다.

## 감사의 글

본 연구는 2016년도 동남보건대학교 연구비 지원에 의하여 수행된 것임.

## References

1. Klepeis NE, Nelson WC, Ott WR, Robinson JP, Tsang AM, Switzer P, *et al.* The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of Expo Analysis Environmental Epidemiology*. 2001; 11: 231-252.
2. Ministry of Environment of Korea. Indoor Air quality management in public facilities Indoor Air Quality Management Act Amendment. 2014.
3. US Environmental Protection Agency (USEPA). Available at: <http://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/introduction-indoor-air-quality>, 2016 [accessed 10 October]
4. Nieuwenhuijsen MJ, Gomez-Perales JE, Colvile RN. Levels of particulate air pollution, its elemental composition, determinants and health effects in metro systems. *Atmospheric Environment*. 2007; 41(37): 7995-8006.
5. Seaton A, Cherrie J, Dennekamp M, Donaldson K, Hurley JF, Tran CL. The London underground: dust and hazards to health. *Occupational and Environmental Medicine*. 2005; 62(6): 355-362.
6. Sitzmann B, Kendall M, Watt J, Williams I. Characterisation of airborne particles in London by computer-controlled scanning electron microscopy. *Science of the Total Environment*. 1999; 241(1-3): 63-73.
7. Zhao W, Hopke PK. Source apportionment for ambient particles in the San Gorgonio wildness. *Atmospheric Environment*. 2004; 38: 5901-5910.
8. Kwon SB, Park DS, Cho YM, Park EY. Measurement of natural ventilation rate in Seoul metropolitan subway cabin. *Indoor and Built Environment*. 2010; 19(3): 366-37.

9. Air Korea. Available online : <http://www.airkorea.or.kr/index>, 2016 [accessed 10 October]
10. ANSI/ASHRAE (2004) Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, 1791 Tullie Circle NE, Atlanta, GA 30329. 2004.
11. Yang J, Nam I, Yun H, Kim J, Oh HJ, Lee D, *et al.* Characteristics of indoor air quality at urban elementary schools in Seoul, Korea: Assessment of effect of surrounding environments. *Atmospheric Pollution Research*. 2015; 6: 1113-1122.
12. Shao L, Hu Y, Wang J, Hou C, Yang Y, Wu M. Particle-induced oxidative damage of indoor PM10 from coal burning homes in the lung cancer area of Xuan Wei, China. *Atmospheric Environment*. 2013; 77: 959-967.
13. Kwon SB, Jeong W, Park D, Kim KT, Cho KH. A multivariate study for characterizing particulate matter (PM10, PM2.5, and PM1) in Seoul metropolitan subway stations, Korea. *Journal of Hazardous Materials*. 2015; 297: 295-303.
14. Mugica-Alvarez V, Figueroa-Lara J, Romero-Romoa M, Sepulveda-Sanchez J, T. Lopez-Moreno T. Concentrations and properties of airborne particles in the Mexico City subway system. *Atmospheric Environment*. 2012; 49: 284-293.
15. Kam W, Cheung K, Daher N, Sioutas C. Particulate matter (PM) concentrations in underground and ground-level rail systems of the Los Angeles Metro. *Atmospheric Environment*. 2011; 45: 1506-1516.
16. Cheng YH, Lin YL, Liu CC. Levels of PM10 and PM2.5 in Taipei Rapid transit system. *Atmospheric Environment*. 2008; 42(31): 7242-7249.
17. Branis M. The contribution of ambient sources to particulate pollution in spaces and trains of the Prague underground transport system. *Atmospheric Environment*. 2006; 40(2): 348-356.
18. Ripanucci G, Grana M, Vicentini L, Magrini A, Bergamaschi A. Dust in the underground railway tunnels of an Italian town. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2006; 3(1): 16-25.
19. Seaton A, Cherrie J, Dennekamp M, Donaldson K, Hurley JF, CL, Tran CL. The London underground: dust and hazards to health. *Occupational and Environmental Medicine*. 2005; 62(6): 355-362.
20. Johansson C, Johansson PA. Particulate matter in the underground of Stockholm, *Atmospheric Environment*. 2003; 37(1): 3-9.
21. Awad AHA. Environmental Study in subway metro stations in Cairo, Egypt. *Journal of Occupational Health*. 2002; 44(2): 112-118.
22. Kim MJ, Rae BS, Kang OY, Kim JT, Yoo CK. Monitoring and prediction of indoor air quality (IAQ) in subway or metro systems using season dependent models. *Energy and buildings* 2014; 46: 48-55.
23. Moreno TN, Perez C, Reche V, Martins E, de Miguel, Capdevila M, *et al.*, Subway platform air quality: assessing the influences of tunnel ventilation, train piston effect and station design, *Atmospheric Environment*. 2014; 92: 461-468.
24. Martins V, Moreno T, Mendes L, Eleftheriadis K, Diapouli E, Alves CA, *et al.*, Factors controlling air quality in different European subway systems, *Environmental Research*. 2016; 146: 35-46.
25. Kim, KY, Kim YS, Roh YM, Lee CM, Kim CY. Spatial distribution of particulate matter (PM10 and PM2.5) in Seoul metropolitan subway stations. *Journal of Hazardous Materials*. 2008; 154(1-3): 440-44.
26. Oh HJ, In-Sick Nam IS, Yun H, Kim J, Yang J, Sohn JR. Characterization of indoor air quality and efficiency of air purifier in childcare centers, Korea. *Building and Environment*. 2014; 82: 203-214.
27. Nur FR, Juliana J. Indoor air quality (IAQ) and sick buildings syndrome (SBS) among office workers in new and old building in Universiti Putra Malaysia, Serdang. *Health and the Environment Journal*. 2012; 3(2): 98-109.
28. Lee TJ, Lim H, Kim SD, Park DS, Kim DS. Concentration and Properties of Particulate Matters (PM10 and PM2.5) in the Seoul Metropolitan. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*. 2015; 31(2): 164-172.
29. Kim KH, Ho DX, Jeon JS, Kim JC. A noticeable shift in particulate matter levels after platform screen door installation in a Korean subway station. *Atmospheric Environment*. 2012; 49(1): 219-223.
30. Lee TJ, Jeon JS, Kim SD, Kim DS. 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*. 2010; 26(5): 543-553.