

지하철 역사 승강장의 PSD 설치에 의한 미세먼지 감소 효과

손종렬* · 정영림 · 박현희 · 오윤희 · 최원 · 김순근

고려대학교 보건과학대학 환경보건학과

The Removal Effect of Fine Particles Applied Platform Screen Door in Seoul Subway Station

Jong-ryeul Sohn* · Young-rim Jung · Hyun-hee Park · Youn-hee Oh ·

Won Choi · Soon-geun Kim

Department of Environmental Health, Korea University, Seoul, Korea

Abstract

The most principal approach to improve indoor air quality(IAQ) of subway was to examine the fine particulate(PM-10) from the emission sources. Therefore, this study was carried on the investigation the fine particulate for comparison with the removal efficiency of PM-10 in divided the PSD(Platform Screen Door) and Non-PSD subway station from July, 2007 to May 2008. In the monitoring results, the range of PM-10 concentration of Non-PSD station was 44.6~116.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and the range of PM-10 concentration of PSD station was 23.9~81.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. And then the range of PM-2.5 concentration of Non-PSD station was 17.4~56.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, and then the range of PM-2.5 concentration of PSD station was 17.9~34.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. In comparison with the results of the PSD and Non-PSD subway station, we found that the PM-10 removal efficiency of PSD was 30-40%. In conclusion, the PSD will be applied the effective facilities of decreasing PM-10 in subway station in Korea.

Keywords: Subway, IAQ, Fine particles, Platform screen door(PSD)

*Corresponding author E-mail: sohn1956@korea.ac.kr

1. 서론

지하철은 가장 중요한 시민교통 수단 중의 하나로, 시민이 가장 많이 이용하는 교통수단이다. 앞으로도 지하철의 운행은 늘어날 것으로 전망된다. 서울에서 지하철을 이용하는 시민들은 하루 약 1000만 명이다¹⁾. 서울시 지하철은 1974년 제 1기 지하철 1호선 9개 역을 시발로 현재는 제 2기 지하철 8호선까지 총 316개 역사를 운행하고 있으며, 2011년에는 3기 지하철이 완공되어 서울시 교통 분담률의 절반에 가까운 48%를 기록할 것으로 예상하고 있다.²⁾

뿐만 아니라 부산, 인천, 대전, 대구, 광주에서도 많은 시민들이 지하철을 이용하고 있다. 지하철에서 발생하는 입자상 물질은 호흡기계에 영향을 미치게 되며 Karlsson은 지하철 분진은 약 8배의 유전독성을 갖고 있으며 폐 조직에 4배의 산화적 스트레스를 준다고 보고했다³⁾. 지하철에서 발생하는 입자상 물질과 관련되어 국내에서 보고된 주요 연구는 박 등(2004)의 철도터널의 공기질⁴⁾, 이 등(2003)의 모델링을 이용한 지하역사내 공기질 관리방안,⁵⁾ 김 등(2004)의 16개 환승역의 승강장에서 PM10과 금속 농도,⁶⁾ 최 등(2004)의 서울 지하철역의 오염물질원에 대한 연구,⁷⁾ 김 등(1994)의 서울 지하철역의 에어로졸 오염물질의 양,⁸⁾ 김 등(2002)의 tradescatia bioassay를 통한 TSP의 생물학적 영향 조사,⁹⁾ 송 등(1999)의 대구 지역 지하철역의 실내공기질 특성,¹⁰⁾ 김 등(1998)의 서울 지역 지하철역의 호선별 오염물질 분포 특성 등이 있다.¹¹⁾ 최근에는 박 등(2005)에 의한 서울 일부 지하철 객차와 승강장에서 측정된 PM-10과 PM-2.5 농도 특성 조사,¹²⁾ 광 등(2005)에 의한 서울 일부 지하철 승무원석의 PM-10, 이산화탄소, 일산화탄소 모니터링을 통한 실내 공기질 특성 평가,¹³⁾ 김

등(2006)에 의한 서울시 일부 지하철역 내부유진균, 입자상 물질, 이산화탄소의 분포양상 조사¹⁴⁾, 이 등(2008)에 의한 서울시 지하철 객차 내 PM과 CO₂ 농도 분포 조사¹⁵⁾ 등이 발표되었다.

국외 연구 자료로는 국외에서의 지하철 내에 축적된 PM의 수준의 측정이나 평가에 대한 실태 조사는 미국 뉴욕¹⁶⁾, 영국 런던¹⁷⁾, 독일 베를린¹⁸⁾, 스웨덴 스톡홀름¹⁹⁾, 핀란드 헬싱키²⁰⁾, 일본 도쿄²¹⁾, 중국 광저우²²⁾와 홍콩²³⁾에서 수행되었다. 이를 통해 지하철 객차, 노면전차(tram)의 내부를 대상으로 오염물질의 농도가 보고되었다. Parml 등(2000)은 독일 뮌헨의 버스와 노면전차 내에서의 입자상 물질 농도를 조사하였고,²⁴⁾ Chow 등(2002)은 멕시코 멕시코시티의 PM-2.5와 PM-10의 화학적 구성을 조사하였으며,²⁵⁾ Gomes-Perales 등(2002)은 멕시코 멕시코시티의 대중교통수단 내 PM-2.5, CO 및 벤젠의 통근자들에 대한 노출을 조사하였고,²⁶⁾ Zielinski 등(1997)은 독일 뮌헨의 대중교통수단 내 공기 중 검댕 농도를 조사하였으며,²⁷⁾ Harrison 등(1997)은 영국 버밍햄의 PM-2.5와 PM-10의 유입원에 대해 조사하였다.²⁸⁾ Adams 등(2001)은 런던 시민들이 이용하고 있는 교통수단의 형태에 따른 PM-2.5의 노출수준을 조사하여 제시한 함으로써 미세먼지의 노출평가 중요함을 보고하였다.¹⁷⁾

지하철을 이용하는 많은 시민들 중에는 오염물질에 민감한 그룹인 노인, 어린이, 각종 질환자들이 포함되어 있다. 따라서 지하철 환경은 매우 중요하게 관리되어야 한다. 그러나, 지하철 환경에 대한 연구는 물론 관리 노력은 미흡한 실정이다. 서울 지하철, 특히 1-4호선의 경우 설립된 지 10년 이상이 되어 부대시설 및 환기시설이 노후화됨에 따라 지하철 이용객에게 유해한 영향을 줄 수 있는 미세먼지 등과 같은 각종 오염물질들이 상당량 외부로 배출되지 못하고 실내에 축적되고 있는 실정이다. 또한 대부

분의 서울 시민들이 매일 지하철을 이용하고 있기 때문에 이용객들의 지하철 실내 공기오염물질 노출에 따른 건강 위해성은 높은 수준이며, 특히 미세먼지인 PM-10, PM-2.5의 지속적인 노출은 이용승객과 역 근무자들의 건강 위협으로 나타날 수 있으므로 이에 대한 시민들의 사회적 관심 또한 계속해서 증가 추세에 있다.

특히 건강에 영향을 미치는 미세먼지(PM-10)는 환경부의 법적 관리기준은 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이지만,²⁹⁾ 서울특별시에서는 조례기준을 $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 규정하여 관리하고 있지만 일부 환승역들의 승강장은 기준치를 초과하고 있는 실정에 있다. 이에 서울시에서는 이러한 미세먼지의 발생요인이 열차풍에 의한 터널의 먼지로 인한 현상이라고 보고한 바 있다³⁰⁾. 과거 연구 자료를 참고하면³¹⁾ 열차풍은 10.0m/s 가량으로 오염물질이 유입추정 된다. 이에 대한 관리대책으로 Platform Screen Door(PSD)를 설치하게 되었는데, 이는 지하역사의 안전성과 미세먼지의 유입을 막는 수단으로 이용될 수 있다.

현재 서울 일부 역사에서 설치되어 운영되고 있으며, 2010년에는 모두 PSD를 설치할 예정에 있으나 미세먼지 감소효과에 대한 보고가 미흡한 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 PSD 설치 유·무에 따른 미세먼지(PM-10, PM-2.5)의 감소효과를 확인하기 위하여 서울 일부 역사를 선정하여 미세먼지 제거효과에 대한 실험을 수행하고 그 효과를 분석하여 지하철 승강장의 효율적 관리를 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

II. 연구방법

본 연구에서는 국내 지하역사내 승강장의 실내공기질을 평가하고자 서울 일부 지하철 중 1, 2, 4 호선의 역사 중 스크린도어가 설치된 역과 설치가 안 된 역을 선정하여 환경부의 실내공기질공정시험법²⁹⁾을 근거로 미세먼지(PM-10, PM-2.5)를 측정하여 비교·평가하였다. 서울지하철 역사 내 미세먼지의 측정은 승강장 중앙에서 스크린도어로부터 1m 정도 떨어진 곳의 바닥면으로부터 약 1.8m높이에서 30분간 측정하였는데 이때 사용된 미세먼지 자동측정장치는 Fig. 1과 같이 GRIMM Dust Monitor(Model 1108, GRIMM, Germany)로 매 6초마다 PM-10, PM-2.5를 농도를 측정하여 기록하였다.

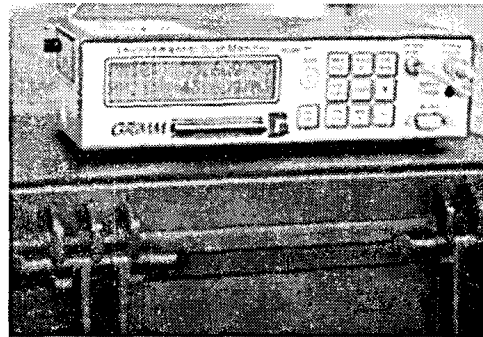


Fig. 1. GRIMM DUST MONITOR

III. 결과 및 고찰

연구대상역사를 호선별로 PSD가 설치된 역사와 설치안 된 역사를 비교하여 측정된 결과는 Table 2와 Fig. 2~4와 같다.

Table 2. The Concentration of PM-10, PM-2.5 in PSD and Non-PSD subway station

| Line | Station | PM-10 | PM-2.5 | |
|------|---------|--------------|--------|------|
| 1 | PSD | Dongmyo | 42.7 | 25.7 |
| | | Seoul | 81.1 | 25.2 |
| | Non-PSD | CityHall | 95.0 | 56.6 |
| | | Jonggak | 94.3 | 48.4 |
| | | Jongno-3ga | 65.6 | 39.0 |
| 2 | PSD | Euljiro | 23.9 | 19.9 |
| | | Ewha Univ. | 26.1 | 17.9 |
| | | Hongik Univ. | 62.2 | 22.2 |
| | Non-PSD | City Hall | 116.5 | 48.3 |
| | | Sinchon | 44.6 | 17.4 |
| 4 | PSD | Chungjeongno | 80.4 | 35.7 |
| | | Dongdaemun | 58.2 | 34.4 |
| | | Myeong-dong | 61.5 | 29.4 |
| | Non-PSD | Sadang | 48.5 | 27.6 |
| | | Chungmuro | 88.1 | 56.2 |
| | | Hyehwa | 67.6 | 48.1 |
| | | Sungshin | 68.9 | 45.9 |

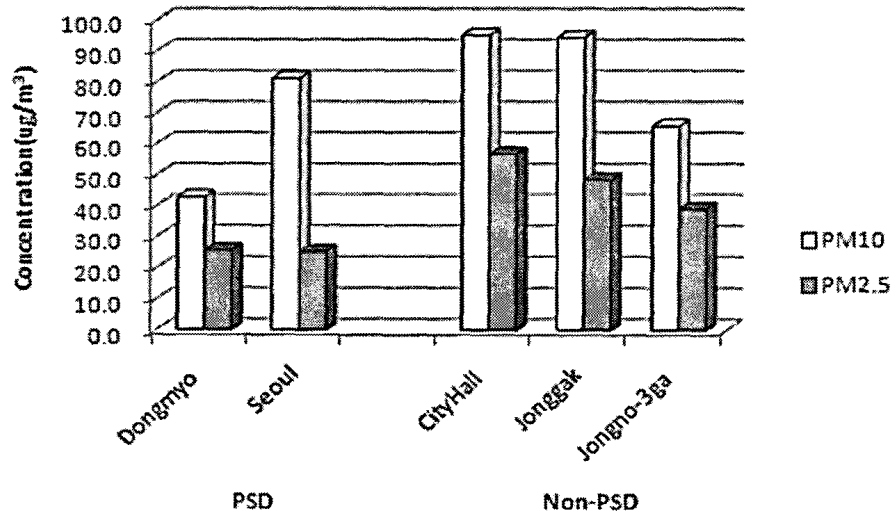


Fig. 2. In comparison with the Concentration of PM-10 and PM-2.5 in Line 1 PSD and Non-PSD subway station.

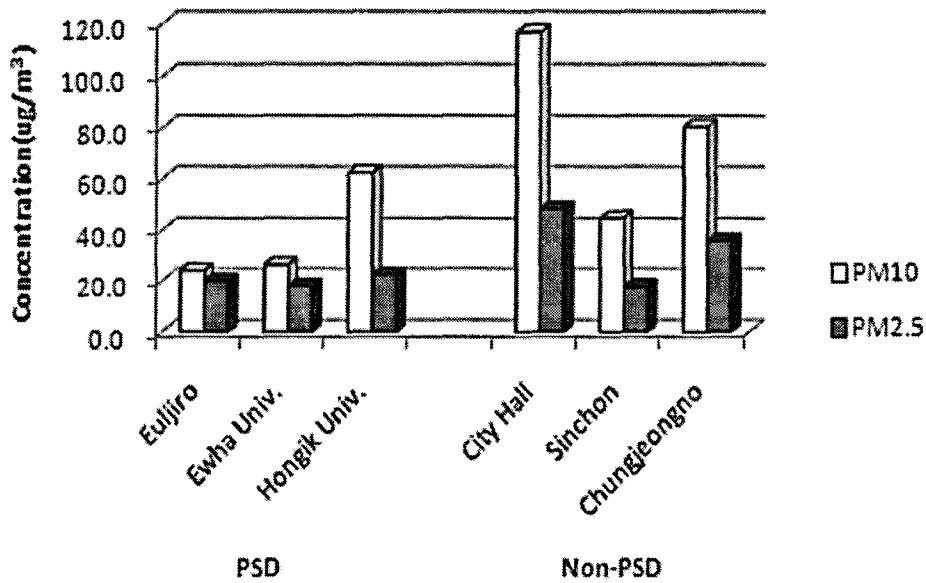


Fig. 3. In comparison with the Concentration of PM-10 and PM-2.5 in Line 2 PSD and Non-PSD subway station.

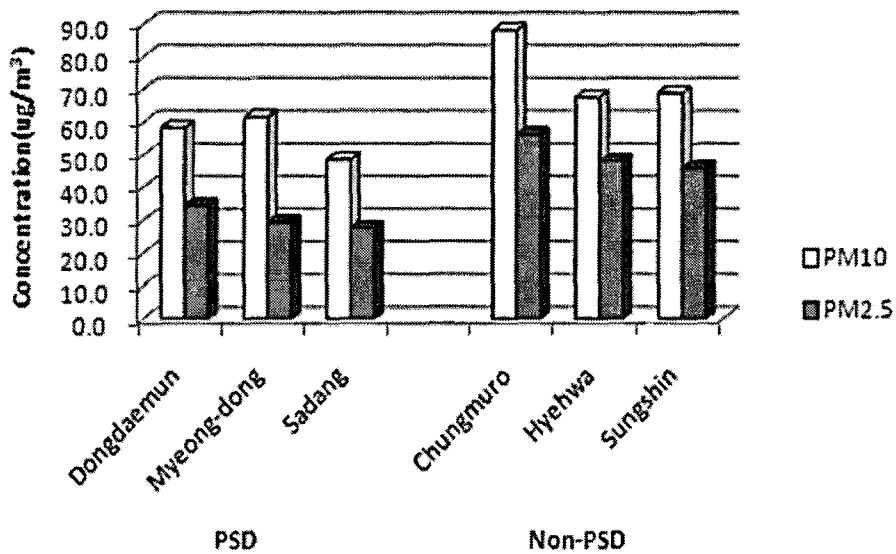


Fig. 4. In comparison with the Concentration of PM-10 and PM-2.5 in Line 4 PSD and Non-PSD subway station.

PSD 설치 유무에 따라 대상역사별 PM-10 측정결과는 1호선의 경우 PSD가 설치된 동묘역은 $42.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고, 서울역은 $81.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되었으며, 2호선의 경우

을지로입구역은 $23.9\mu\text{g}/\text{m}^3$, 이화역대역은 $26.1\mu\text{g}/\text{m}^3$, 홍익대역은 $62.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로, 4호선의 경우 동대문역은 $58.2\mu\text{g}/\text{m}^3$, 명동역은 $61.5\mu\text{g}/\text{m}^3$, 사당역은 $48.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났

다. 이에 비해 PSD가 설치 안 된 1호선의 서울시청역은 $95.0\mu\text{g}/\text{m}^3$, 종각역은 $94.3\mu\text{g}/\text{m}^3$, 종로3가역은 $65.6\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2호선의 서울시청역은 $116.5\mu\text{g}/\text{m}^3$, 신촌역은 $44.6\mu\text{g}/\text{m}^3$, 충정로역은 $80.4\mu\text{g}/\text{m}^3$, 4호선의 충무로역은 $88.1\mu\text{g}/\text{m}^3$, 혜화역은 $67.6\mu\text{g}/\text{m}^3$, 성신여대역은 $68.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되었다. 연구대상역사 중 동일역사일지라도 호선별로 측정값이 다르게 나타난 이유는 이용승객수의 차이로 판단되며, 대부분 PSD가 설치 안 된 역사가 PSD가 설치된 역사보다 높은 PM-10 농도값을 나타냈다.

PSD 미설치 역사의 PM-10 농도범위는 $44.6\sim 116.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났고, 이에 비해 PSD 설치역사의 경우에는 $23.9\sim 81.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 이들 결과는 김진경(2004) 등이 발표한 $104\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 박동욱(2005) 등이 발표한 $132.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 낮은 결과를 나타냈는데 이는 지하역사내 PM-10 측정 시간과 승객수에 따라 차이가 나기 때문에 같은 시간대 같은 위치에서 같은 장비로 측정해야만 비교 평가할 수 있을 것으로 생각된다. 이에 비해 PM-2.5의 경우, PSD 설치 역사에서의 호선별로 평균농도는 1호선 $25.5\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2호선 $30.5\mu\text{g}/\text{m}^3$, 4호선 $20.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났으며, 농도 범위는 $17.9\sim 34.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. PSD 미설치 역사에서의 호선별 평균농도는 1호선 $48.0\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2호선 $33.8\mu\text{g}/\text{m}^3$, 4호선 $50.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났으며, 농도 범위는 $17.4\sim 56.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 나타냈는데 이러한 결과는 박동욱(2005)이 보고한 $118.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 낮은 결과로 PM-10과 유사한 이유로 측정위치와 측정시간, 이용승객수 등에 따라 발생 미세먼지가 다를 수 있음을 보여준 결과로 생각된다. 이러한 결과를 토대로 지하역사내 PSD 설치 효과를 평가한 결과 PSD 설치 역사가 PSD 미설치 역사에 비해 약 30% 정도 미세먼지 농도가 감소한 것으로 나타났다.

IV. 결론

최근 서울시 일부 지하역사내 설치된 PSD(Platform Screen Door)의 미세먼지 감소효과를 평가하고자 1, 2, 4호선 역사 중 일부 역사를 대상역사로 선정하여 승강장에서의 미세먼지인 PM-10과 PM-2.5를 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 지하철 1호선의 경우 PSD가 설치된 역사의 PM-10과 PM-2.5의 평균농도는 각각 61.9 , $25.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였으며, PSD 미설치 역사의 PM-10과 PM-2.5의 평균농도는 각각 85.1 , $48.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되었다. PSD 설치 역사는 PSD 미설치 역사에 비해 PM-10은 27%, PM-2.5는 47%가 감소한 것으로 나타났다.

2. 지하철 2호선의 경우 PSD가 설치된 역사의 PM-10과 PM-2.5의 평균농도는 각각 37.4 , $20.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였으며, PSD 미설치 역사의 PM-10과 PM-2.5의 평균농도는 각각 80.5 , $33.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되었다. PSD 설치 역사는 PSD 미설치 역사에 비해 PM-10은 53%, PM-2.5는 41%가 감소한 것으로 나타났다.

3. 지하철 4호선의 경우 PSD가 설치된 역사의 PM-10과 PM-2.5의 평균농도는 각각 56.1 , $30.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였으며, PSD 미설치 역사의 PM-10과 PM-2.5의 평균농도는 각각 74.9 , 50.1 로 측정되었다. PSD 설치 역사는 PSD 미설치 역사에 비해 PM-10은 25%, PM-2.5는 39%가 감소한 것으로 나타났다.

이 연구에서 측정 비교한 대상역사별 미세먼지의 농도는 지하철 호선별로 주변시설, 이용승객수 등에 따라 차이가 나지만, PSD 설치가 된 역사가 PSD 미설치 된 역

사에 비해 PM-10는 약 35%, PM-2.5는 약 42%의 미세먼지 감소효과를 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 지하역사내 실내공기오염물질 중 최대 이슈인 미세먼지 농도를 효율적으로 관리를 위해서는 PSD가 중요한 기능을 할 수 있다는 것을 보여주는 중요한 결과이다.

지하역사 내에는 여러 오염원이 있겠지만, 터널로부터 발생되어 유입되는 미세먼지를 원천적으로 차단하여 쾌적한 실내공기질을 유지하기 위해서는 역사 내 PSD설치가 필요하므로 단기적으로는 단계적으로 미설치 역사에 PSD를 설치하고, 장기적으로는 지하터널에서의 오염원을 근본적으로 제거할 수 있는 대책 등이 필요하므로 이에 대한 지속적인 연구가 수행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원 건설교통기술 연구개발사업 중 도시철도 터널 및 차량의 공기질 개선 기술개발에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

V.참고문헌

1. 김기연, 박재범, 김치년, 이경중: 서울시 일부 지하철역내 분포하는 부유세균 및 입자상 오염물질 평가, 한국환경보건학회지, Vol. 32, No.4, 2006, pp.254-261
2. Choi, H. W., Hwang, I. J., Kim, S. D. and Kim, D. S.: Determination of source contribution based on aerosol number and mass concentration in the seoul subway station. Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, Vol.20, No.1, 2004, pp.17-31.
3. Karlsson HL, Kilsson L, Moller L.: Subway prarticle area more genotoxic then street particle and induce oxidative stress in cultured human lung cell, Chen Res Toxicol, Vol 18, 2005, pp.19-23.
4. 박덕신, 조영민, 이철규, 박병현: 철도 터널에서의 공기질 연구. 한국대기환경학회지, 38, 363-364, 2004.
5. 이회관, 김신도: 모델링을 이용한 지하역사 내 공기질 관리 방안에 관한 연구. 대한환경공학회 추계학술연구발표회 논집, 591-596, 2003.
6. 김진경, 백남원: 서울시 지하철 역사의 실내 공기 중 분포하는 먼지의 특성에 관한 연구. 한국환경보건학회지, 30(2), 154-160, 2004.
7. Choi, H. W., Hwang, I. J., Kim, S. D. and Kim, D. S.: Determination of source contribution based on aerosol number and mass concentration in the seoul subway station. Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, 20(1), 17-31, 2004.
8. Kim, D. S., Kim, S. D., Kim, Y. S., Shin, E. B. and Lee, T. J.: Quantitative determination of aerosol contribution in Seoul metropolitan subway stations. Journal of Korean Society of Environmental Engineers, 16(3), 309-319, 1994.
9. Kim, J. K., Shin, H. S., Lee, J. J., Kim, K. and Lee, J. H.: Study on the biological effects of TSP collected from the subway station with tradescatia bioassay. Korean Journal Environmental Toxicology, 17(3), 245-252, 2002.
10. Song, H. B., Shin, D. C., Hwang, S. M., Park, Y. J., Hong, S. H., Moon, Y. H. and Back, S. O.: Characterization of indoor air quality at subway stations on Taegu Area. Journal of

- Korean Society of Environmental Engineers, 21(9), 1673-1688, 1999.
11. Kim, M. Y., La, S. H., Shin, D. C., Han, K. M., Choi, K. S. and Chung, I. H.: Distribution characteristic between line and line for indoor air pollutant factors at subway stations in Seoul Area. *Korean Journal of Environmental Health and Society*, 24(2), 134-144, 1998.
 12. 박동욱, 윤경섭, 박수택, 하권철, 서울 일부 지하철 객차와 승강장에서 측정된 PM10과 PM2.5 농도의 특성, *한국환경보건학회지*, 제31권 제1호(2005).
 13. 박현석, 진구원, 김원, 양원수, 최상준, 박동욱, 서울 일부 지하철 승무원석의 PM, 이산화탄소, 일산화탄소 모니터링에 의한 실내 공기질 특성 평가, *한국환경보건학회지*, 제31권 제5호(2005).
 14. 김기연, 박재범, 김치년, 이경중, 서울시 일부 지하철역 내 부유 진균, 입자상 물질, 이산화탄소의 분포 양상, 예방의학회지, 제39권 제4호(2006년 7월).
 15. 이철민, 박화미, 노영만, 김윤신, 박동선: 서울시 지하철 객차 내 PM과 CO2의 농도 분포. *한국환경보건학회지*, 제34권 제 1호(2008), pp 34-41
 16. Chillrud, S. N., Epstein, D., Ross, J, M., Sax, S. N., Pederson, D., Spengler, J. D. and Kinney, P. L.: Elevated airborne exposures of teenagers to manganese, chromium, and iron from steel dust and New York city's subway system. *Environment and Science Technology*, 38, 732-737, 2004.
 17. Adams, H. S., Nieuwenhuijsen, M. J. and Colvile, R. N.: Determinants of fine particle personal exposure levels in transport microenvironments, London, UK. *Atmospheric Environment*, 35, 4557-4566, 2001.
 18. Fromm, H., Oddoy, A., Piltoy, M., Krause, M. and Lahrz, T.: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and diesel engine emission (Elemental carbon) inside a car and a subway train. *The Science of Total Environment*, 217, 165-173, 1998.
 19. Johansson, and Johansson, P. A.: Particulate matter in the underground in Stockholm. *Atmospheric Environment*, 3, 3-9, 2003.
 20. Aarnio, P., Yli Tuomi, T., Kousa, A., Makela, T., Hirsikko, A., Hameri, K., Raisanen, M., Hillamo, R., Koskentalo, T. and Jantunen, M.: The concentrations and composition of and exposure to fine particles (PM2.5) in the Helsinki subway system. *Atmospheric Environment*, 39, 5059-5066, 2005.
 21. Furuya, K., Kudo, Y., Okinaga, K., Yanuki, M., Takahashi, S., Araki, Y. and Hisamatsu Y.: Seasonal variation and their characterization of suspended particulate matter in the air of subway stations. *Soil and Environment Science*, 19, 469-485, 2001.
 22. Chan, L. Y., Lau, W. L., Zou, S. C., and Cao, Z. X. and Lai, S. C.: Exposure level of carbon monoxide and respirable suspended particulate in public transportation modes while commuting in urban area of Guangzhou, China. *Atmospheric Environment*, 36, 5831-5840, 2002.
 23. Chan, L. Y., Lau, W. L., Lee, S. C., and Chan, C. Y.: Commuter exposure to particulate matter in public transportation modes in Hong Kong, *Atmospheric Environment*, 36, 3363-3373,

- 2002.
24. Praml, G. and Schirl, R.: Dust exposure in Munich public transportation: A comprehensive 4-year survey in buses and trams, *Int Arch Occup Environ Health*, 74, 209-21, 2000.
25. Chow, J. C., Watson, J. G., Edgerton, S. A. and Vega, E.: Chemical composition of PM_{2.5} and PM₁₀ in Mexico City during winter 1997. *The Science of the Total Environment*, 287, 177-201, 2002.
26. Gomez-Perales, J. E., Covile, R. N., Nieuwenhuijsen, M. J., Fernandez-Brem auntz A., Gutierrez-Avedoy, V. J., Paramo-Figueroa, V. H., Blanco-Jimenez, S., Bueno-Lopez, E., Mandujano, F., Bernabe-Cabanillas, R. and Ortiz-Segovia, E.: Commuters` exposure to PM_{2.5}, CO and benzene in public transport in the metropolitan area of Mexico City. *Atmospheric Environment*, 38, 1219-1229, 2004. *Atmospheric Environment*, 36, 5831-5840, 2002.
27. Zielinski M, Rommelt H, Fruhmam G. Ambient air soot concentrations in Munich public transportation systems, *Sci Total Environ*, 1997, 196, 107-10
28. Harrison RM, Deacon AR, Jones MR. Sources and processes affecting concentration of PM_{2.5} and PM₁₀ particulate matter in Birmingham (U.K.). *Atmos Environ* 1997, 31(24), 4103-17.
29. 환경부: 다중이용시설등의 실내공기질 관리법, 2005.
30. 서울특별시 지하철공사: 지하공기오염 저감방안에 관한 연구, 2003
31. 남재성. 오명도,: 도시 지하철 승강장에 서의 열차풍 연구, 건축도시연구정보센터 학술지 논문집, 1999.