

외기 미세먼지와 탑승객수에 따른 객실 PM10 농도변화 연구

Study on PM10 levels by the concentration of outdoor aerosols and the number of passengers in railway cabin

박은영* 박덕신** 권순박** 조영민** 김세영*** 정미영***
Park, Eun-Young Park, Duckshin Kwon, Soon-Bark Cho, Youngmin Kim, Se-Young Jung, Mi-Young

ABSTRACT

Indoor air quality in public transportation such as railway, subway and bus is hard to control because of spatial restrict and variation of passenger's number. On January 2007, The Ministry of Environment announced "the guideline of indoor air quality in public transportation" for the concentration managements of particulate matter and carbon dioxide. In this study, we measured the PM10 concentration inside the Mugunghwa-ho passenger cabin and outdoor air and counted passengers. By the statistical analysis using SigmaPlot 2001 and SPSS 13.0, we found that indoor PM10 concentration is significantly affected by outdoor air. It is suggested that the air quality of inflow to the passenger cabin for air exchange must be controlled to support the indoor environment comfortably.

1. 서 론

다수의 승객이 이용하는 대중교통수단인 객차, 전동차 및 버스 등에서의 실내공기질은 공간적인 제약성과 승객의 변동으로 인해 관리가 매우 어렵다. 환경부에서는 2007년 1월부터 '대중교통수단실내공기질 가이드라인'을 발표하고 대중교통수단 내에서의 미세먼지 및 이산화탄소의 농도에 대한 권고기준을 제안하여 차량의 설계·제작 및 운행시 고려할 것을 권고하는 등 승객의 쾌적한 이용을 위한 노력과 관심이 증가하고 있다(환경부, 2006). 미세먼지의 경우 승객의 호흡기 질환뿐 만 아니라, 심장에도 악영향을 끼치는 것으로 알려져 있어 세심한 주의가 필요하다. 이러한 미세먼지의 효율적인 관리를 위해서는 미세먼지를 발생시키는 원인을 파악하여 그에 맞는 제어 시스템을 갖추는 것이 필수적이다. 본 연구에서 대상으로 하고 있는 철도차량의 경우 환기 및 승객의 출입을 위한 문 개폐시 발생하게 되는 외기의 유입에 따라 실내로 유입될 수 있을 것으로 판단되며, 승객의 이동 및 활동에 따라서도 실내 미세먼지 농도가 달라질 것으로 예상된다. Yoon and Brimblecombe (2000)의 연구에 따르면, 실내로 들어오는 사람들이 착용하고 있는 의복에 의해서 상당한 농도의 미세먼지가 유입되는 것을 알 수 있다. 이에 반해 Li 등 (2006)의 연구를 보면, 겨울철 지하철 내부의 미세먼지 농도는 객실 내 승객수가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보여 음의 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 외기 미세먼지 농도에 따라 실내 미세먼지 농도가 어떻게 변화하게 되는지와 승객수의 변화가 객실 내 미세먼지 농도에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 종합적으로 파악하여 향후 효율적인 미세먼지 제어가 가능할 수 있도록 하고자 하였다.

* 한국과학기술연합대학원대학교, 비회원

E-mail : eypark@krri.re.kr

TEL : (031)460-5086 FAX : (031)460-5319

** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

*** 한국철도기술연구원 연구원, 비회원

2. 실험 방법

본 연구는 2007년 2월 16일부터 2008년 3월 19일까지 총 18일 동안 장항선과 전라선에서 영업 중인 신형무공화호 차량을 대상으로 수원역에서 출발하여 각 종착역인 익산역과 여수역까지 이동하면서 DustTrak(TSI사)을 이용하여 1분 간격으로 실내 미세먼지 농도를 측정하고, 각 역별로 탑승하는 승객을 계수하는 방식으로 수행되었다. 그리고 실제 도착 및 출발 시간에 있어서 차이가 발생할 수 있음을 감안하여 매 역마다 그 시간을 따로 기록하였다. 또한 수원역 출발 전에 10분 동안 배경농도를 측정하였으며, 종착역에서도 마찬가지로 도착 후 10분 동안 배경농도를 측정하여, 측정일의 외기 농도로 활용하였다. 상세한 측정 일정은 표 1에 나타내었으며, 표 2에는 실제 작성했던 측정일지의 예시로 2008년 2월 20일에 장항선 탑승시 기록한 내용을 보여주고 있다.

표 1. 무공화호 측정 일정

| 측정일자 | 하행 (수원→종착) | | 상행 (종착→수원) | | 비고 |
|-----------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-----|
| | 탑승구간 | 실제 탑승시간 | 탑승구간 | 실제 탑승시간 | |
| 2008. 2. 16 (토) | 수원→익산 (17개역) | 13:13~16:51 | 익산→수원 (19개역) | 18:00~22:05 | 장항선 |
| 2008. 2. 17 (일) | 수원→익산 (18개역) | 08:53~12:42 | 익산→수원 (18개역) | 13:50~17:46 | |
| 2008. 2. 18 (월) | 수원→익산 (19개역) | 06:11~09:58 | 익산→수원 (18개역) | 12:10~15:56 | |
| 2008. 2. 19 (화) | 수원→익산 (17개역) | 13:14~16:53 | 익산→수원 (19개역) | 18:00~21:58 | |
| 2008. 2. 20 (수) | 수원→익산 (18개역) | 08:55~12:43 | 익산→수원 (18개역) | 13:50~17:46 | |
| 2008. 2. 21 (목) | 수원→익산 (19개역) | 06:16~09:58 | 익산→수원 (18개역) | 12:10~15:54 | |
| 2008. 2. 22 (금) | 수원→익산 (17개역) | 13:13~16:51 | 익산→수원 (19개역) | 18:00~21:59 | |
| 2008. 2. 23 (토) | 수원→익산 (18개역) | 08:54~12:40 | 익산→수원 (18개역) | 13:50~17:46 | |
| 2008. 2. 25 (월) | 수원→익산 (17개역) | 13:13~16:50 | 익산→수원 (19개역) | 18:00~21:59 | |
| 2008. 2. 26 (화) | 수원→익산 (18개역) | 08:55~12:45 | 익산→수원 (18개역) | 13:50~17:45 | |
| 2008. 2. 28 (목) | 수원→익산 (19개역) | 06:11~10:00 | 익산→수원 (18개역) | 12:10~15:55 | |
| 2008. 2. 29 (금) | 수원→익산 (18개역) | 15:01~18:50 | | | |
| 2008. 3. 11 (화) | 수원→익산 (19개역) | 15:02~18:55 | | | |
| 2008. 3. 12 (수) | 수원→익산 (19개역) | 15:02~18:48 | 익산→수원 (19개역) | 06:45~10:31 | |
| 2008. 3. 13 (목) | | | 익산→수원 (19개역) | 06:45~10:38 | |
| 2008. 3. 18 (화) | 수원→여수 (22개역) | 08:50~14:05 | 여수→수원 (21개역) | 17:20~22:41 | 전라선 |
| 2008. 3. 19 (수) | 수원→여수 (22개역) | 08:43~14:01 | 여수→수원 (21개역) | 17:20~22:42 | |

표 2. 2008년 2월 20일 측정 결과 정리표

| 역명 | 예정 | | 실제 | | 승객수 |
|------|-------|-------|-------|-------|-----|
| | 도착시간 | 출발시간 | 도착시간 | 출발시간 | |
| 수원 | 08:50 | 08:51 | - | 08:55 | 67 |
| 평택 | 09:12 | 09:13 | 09:16 | 09:18 | 70 |
| 천안 | 09:27 | 09:29 | 09:34 | 09:35 | 74 |
| 아산 | 09:34 | 09:35 | 09:41 | 09:42 | 73 |
| 온양온천 | 09:45 | 09:46 | 09:52 | 09:53 | 65 |
| 도고온천 | 09:59 | 10:00 | 10:03 | 10:04 | 63 |
| 신례원 | 10:05 | 10:06 | 10:09 | 10:10 | 61 |
| 예산 | 10:12 | 10:13 | 10:15 | 10:16 | 60 |
| 삼교 | 10:23 | 10:24 | 10:24 | 10:25 | 58 |
| 홍성 | 10:38 | 10:39 | 10:36 | 10:39 | 23 |
| 광천 | 10:54 | 10:55 | 10:52 | 10:56 | 18 |
| 대천 | 11:15 | 11:16 | 11:12 | 11:16 | 8 |
| 웅천 | 11:32 | 11:33 | 11:32 | 11:33 | 7 |
| 판교 | 11:49 | 11:50 | 11:46 | 11:54 | 7 |
| 서천 | 12:00 | 12:01 | 12:05 | 12:07 | 4 |
| 장항 | 12:06 | 12:07 | 12:11 | 12:12 | 5 |
| 군산 | 12:14 | 12:15 | 12:18 | 12:19 | 4 |
| 대야 | 12:22 | 12:23 | 12:26 | 12:27 | 3 |
| 익산 | 12:37 | - | 12:43 | | |

매역과 역 사이에서 측정된 미세먼지 측정값은 구간별로 평균하였으며, 출발전과 도착후에 측정한 외기 농도는 10분 측정치를 평균하였다. 그리고 SigmaPlot 2001과 SPSS 13.0을 이용하여 외기 농도 및 승객수가 실내 미세먼지와 어떤 관계를 갖는지에 대한 상관성 및 회귀분석을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

외기 미세먼지에 따라 실내 미세먼지가 어떻게 변화하는지 알아보기 위하여 그림 1과 같이 미세먼지의 입경별 농도 분포를 그려본 결과, 외기 미세먼지와 실내 미세먼지는 입경별 분포가 매우 유사한 것으로 나타나 외부로부터 유입된 미세먼지가 실내 미세먼지에 직접적으로 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있었다.

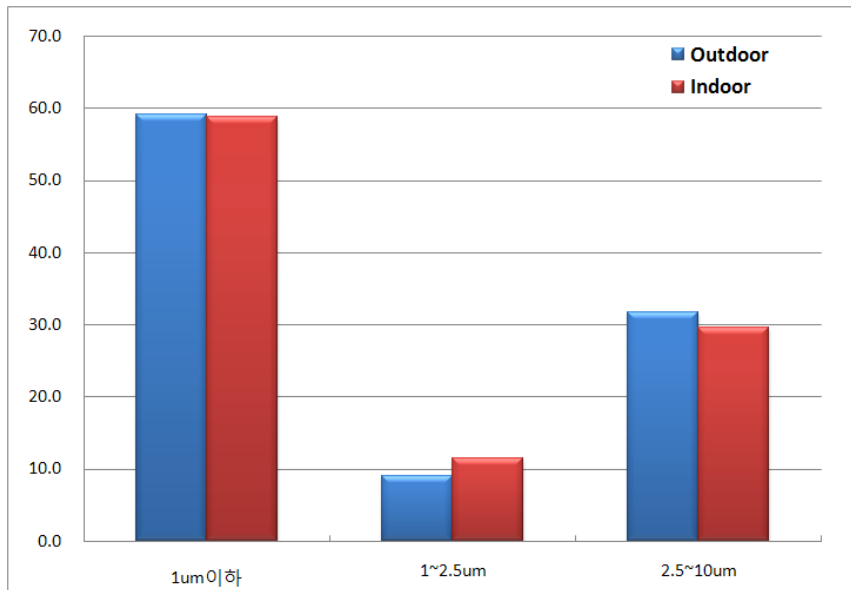


그림 1 외기 미세먼지와 실내 미세먼지의 입경별 농도 분포(%)

승객수와 실내 미세먼지 농도 사이의 상관성을 보기 위하여 그림 2와 같이 그래프를 작성하였다. 전체 측정 결과에 대해서는 두 변수 사이에 어떠한 상관관계도 나타나지 않았다.

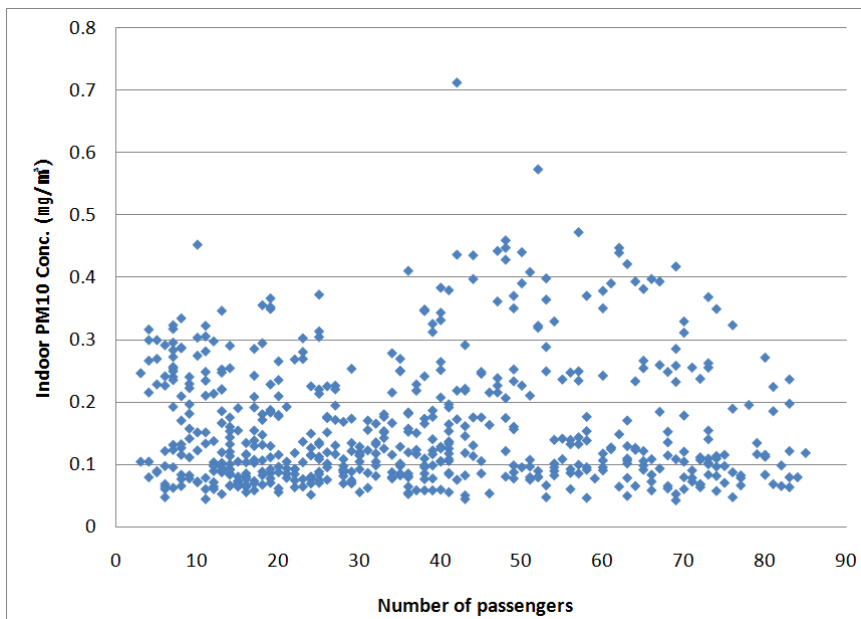


그림 2. 전체 측정값에 대한 승객수와 실내 미세먼지 농도 그래프

외기 농도의 변화에 따른 실내 미세먼지 농도 변화의 양상을 보기 위하여 외기 농도별로 우선 측정결과를 구분한 후에 승객의 수가 적은 경우와 많은 경우로 나누어 각각 그래프를 그려보았다. 승객수를 나누는 기준은 전체 측정결과에서의 승객수 평균이 37명으로 나타나 이를 기준으로 37명 미만과 37명 이상인 결과들로 구분하였다. 그림 3에 나타난 그래프는 외기 미세먼지 농도가 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 경우의 측정결과를 승객수와 실내 미세먼지의 상관 분포를 그린 것이며, 그림 4와 5는 각각 외기 미세먼지 농도가 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상, $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상인 경우의 측정결과를 대상으로 한 것을 보여준다.

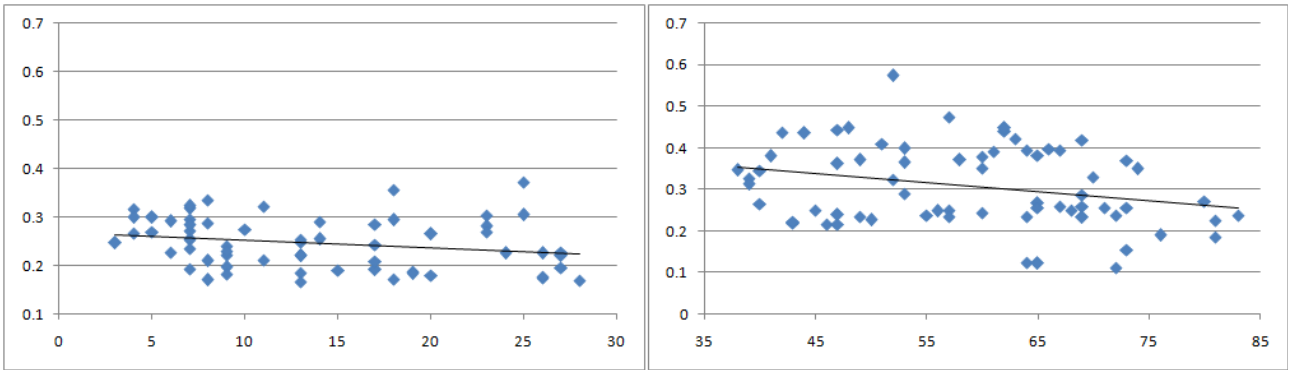


그림 3. 외기 농도가 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상인 경우 승객수와 미세먼지 농도 그래프
(a) 승객수가 37명 미만인 경우, (b) 승객수가 37명 이상인 경우

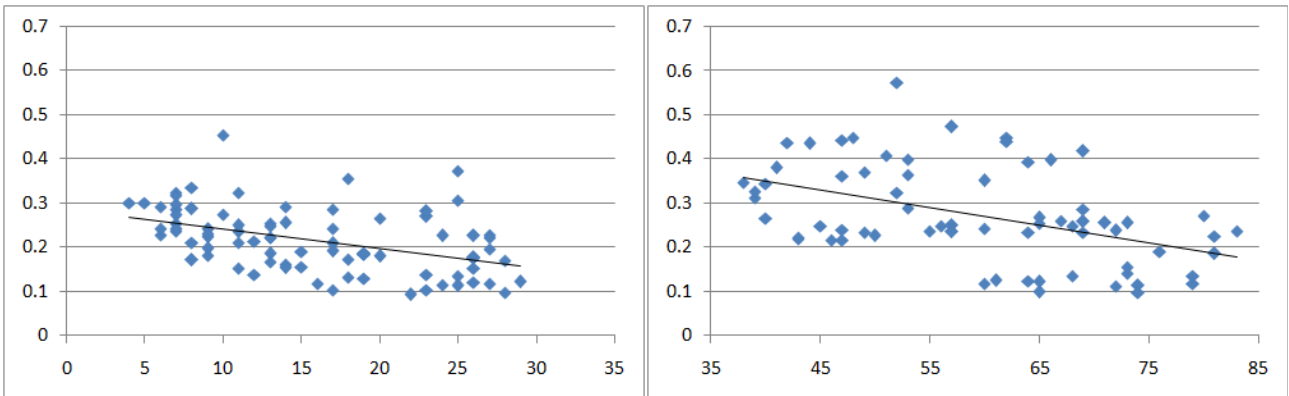


그림 4. 외기 농도가 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상인 경우 승객수와 미세먼지 농도 그래프
(a) 승객수가 37명 미만인 경우, (b) 승객수가 37명 이상인 경우

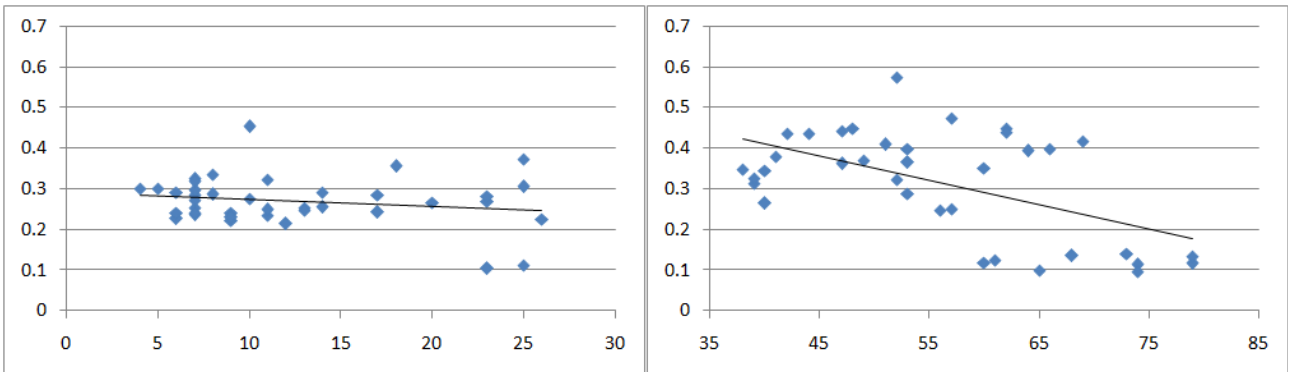


그림 5. 외기 농도가 $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상인 경우 승객수와 미세먼지 농도 그래프
(a) 승객수가 37명 미만인 경우, (b) 승객수가 37명 이상인 경우

전체 측정결과에 대한 그래프에서는 아무런 관계도 보이지 않았으나, 외기 미세먼지 농도가 높아짐에

따라 승객수와 실내 미세먼지 농도 사이에는 약한 음의 상관관계가 나타나는 것을 알 수 있었다. 각 결과에 대한 회귀분석을 수행한 결과 (표 3)를 보면 전체 측정결과에 대한 회귀분석에서는 유의한 관계를 보이지 않다가 ($p=0.411$), 외기 농도를 구분한 경우에는 유의한 수준으로 나타나는 경우가 많았다. 특히 외기 미세먼지 농도가 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상인 경우를 보면 승객수에 관계없이 모두 유의한 수준 ($p=0.000$)인 것으로 분석되었다. 또한, 승객수가 37명 미만인 경우에는 실내 미세먼지 농도와 승객수 사이에 일관된 상관성을 보이지는 않았으나, 승객수가 37명 이상인 경우를 보면, 모두 유의수준이 0.05 이하인 것으로 나타나 승객수와 실내 미세먼지 농도 사이에 음의 상관관계가 있는 것을 보여주었으며, 외기 미세먼지 농도가 높아짐에 따라 상관계수가 점차 증가하는 경향을 보이고 있어, 승객수가 일정수준 이상으로 증가하게 되는 경우에는 승객의 활동 및 착용한 의복 등으로 인하여 실내에 있는 미세먼지를 흡수하여 제거하는 작용을 하는 것으로 나타났다. 이는 앞서 말한 Li 등 (2006)의 연구 결과와 일치하는 것으로 객실에서는 승객이 미세먼지의 오염원보다는 제거 기작에 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단되어 진다.

종합해보면, 객실 내 미세먼지 농도의 제어를 위해서는 외부에서 유입되는 공기에 포함된 미세먼지를 제거하는 것이 가장 중요할 것으로 사료되며, 일정 수준 이상의 승객이 탑승한 경우에는 승객의 활동이나 의복에 의한 제거 기작이 보다 활발한 것으로 나타나 승객의 흡입량 등에 대한 보다 세밀한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

표 3. 외기 농도별 승객수와 실내 미세먼지 농도에 대한 회귀분석 결과표
(독립변수 : 승객수, 종속변수 : 실내 미세먼지 농도)

| Outdoor concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | number of passengers | R | p |
|---|----------------------|-------|-------|
| Total | Total | 0.034 | 0.411 |
| | under 36 | 0.188 | 0.001 |
| | over 37 | 0.153 | 0.012 |
| over 100 | under 36 | 0.230 | 0.072 |
| | over 37 | 0.273 | 0.025 |
| over 200 | under 36 | 0.453 | 0.000 |
| | over 37 | 0.464 | 0.000 |
| over 400 | under 36 | 0.194 | 0.236 |
| | over 37 | 0.544 | 0.011 |

참고문헌

1. 환경부 (2006) 대중교통수단 실내공기질 관리 가이드라인
2. Young Hun Yoon and Peter Brimblecombe (2000), "Clothing as a source of fibres within museums", Journal of Cultural Heritage, Vol. 1, pp. 445-454
3. Tian-Tian Li, Yu-Hua Bai, Zhao-Rong Liu, Jin-Feng Liu, Guang-Shan Zhang and Jin-Long Li (2006), "Air quality in passenger cars of the ground railway transit system in Beijing, China" Science of the Total Environment, Vol. 367, pp. 89-95