

서울 지하철 객차 내 PM₁₀과 CO₂의 농도 변화

손흥지 · 류경남 · 임종권 · 장경조 · 이기영[†]

서울대학교 보건대학원 환경보건학과
(2009. 10. 9. 접수/2009. 10. 29. 수정/2009. 11. 15. 채택)

PM₁₀ and CO₂ Concentrations in the Seoul Subway Carriage

Hongji Sohn · Kyongnam Ryu · Jong Kwon Im · Kyungjo Jang · Kiyoung Lee[†]

Graduate School of Public Health, Seoul National University, Seoul, Korea

(Received October 9, 2009/Revised October 29, 2009/Accepted November 15, 2009)

ABSTRACT

The subway is the major public transportation system in Seoul with 2.2 million people using it everyday. Indoor air pollution in the subway can be a significant part of population exposure because of the number of people using the subway, time spent in transit and potentially high exposure for certain pollutants. The Korea Ministry of Environment has established the level 2 of recommended standards of PM₁₀ and CO₂ in subway trains. The aims of this study were to determine the airborne levels of PM₁₀, CO₂ and any correlation between pollutant levels and number of passenger in a subway train. The airborne PM₁₀ and CO₂ were measured on the inside of trains on line #4 for 4 different days from October to November in 2008. Average PM₁₀ and CO₂ levels were 113±25 µg/m³ and 1402±442 ppm, respectively. These levels did not exceed the level 2 of recommended standards of 250 µg/m³ for PM₁₀ and 3500 ppm for CO₂. PM₁₀ level was not correlated with the number of passengers, while CO₂ levels were positively correlated with the number of passengers. The findings suggested that PM₁₀ in subway trains may have sources other than those directly associated with the number of passengers.

Keywords: indoor air, subway, pollutants, Seoul, passenger

I. 서 론

지하철 이용은 경제규모 확대에 따른 도시의 인구증가로 인한 심각한 교통문제를 줄이는 방법 중 하나이다. 서울에서 지하철은 중요한 대중교통 수단 중의 하나로 하루 2백2십만 명 이상 이용하며 그 이용 수는 노선의 연장 및 추가 등으로 더 증가할 것이다.¹⁾ 이런 이용도의 증가는 곧 지하철 내 공기질에 대한 관심의 증가를 가져왔으며 이에 따라 지하철 환경에 대한 연구가 수행되고 있다. 우리나라에서 수행된 연구는 승객이 머무는 대합실, 승강장을 대상으로 수행한 연구를 포함하여^{2,3)} 최근 연구에서는 객차 내 환경도 다루어지고 있다.^{1,4-8)} 객차 내의 실내 환경을 대상으로 한 연구 중 승객수와 오염물질간의 관련성을 나타낸 논문은 소

수에 불과하다.^{1,5)} Lee 등(2008)의 연구에서는 2005년 7월부터 9월까지 서울지하철 전 노선별 하루 3번(7:00~9:00, 11:00~13:00, 18:00~20:00)에 걸쳐 객차 내 중앙 선반에서 PM₁₀을 측정한 결과 평균 농도 217.3±100.9 µg/m³, CO₂는 평균 1,577±701 ppm으로 나타났다. 승객수와 PM₁₀ 농도와의 상관 크기는 작았으나 음의 관련성을 보이는 것으로 조사되었으며(p<0.01), CO₂ 농도와 승객수와의 상관 크기는 0.52로 양의 관계가 있는 것으로 조사되었다(p<0.01).⁵⁾ Kwon 등(2008)의 연구에서는 2007년 3월과 6월에 수도권 지하철 6개 호선에 대한 PM₁₀ 평균 농도는 142 µg/m³으로 나타났으며 PM₁₀ 농도와 승객수와의 관계는 나타나지 않았고 CO₂ 농도의 증감은 승객수의 증감에 영향이 있다고 발표하였다.¹⁾ 두 연구에서 PM₁₀ 농도와 승객수와의 관계가 서로 다르게 나타났으며 CO₂ 농도와 승객수는 관련성이 있다고 나타났다.

2006년 환경부에서 「대중교통수단 실내공기질 관리 가이드라인」을 제시하였다.⁸⁾ 대상오염물질은 PM₁₀과

[†]Corresponding author : Graduate School of Public Health, Seoul National University
Tel: 82-2-740-8881, Fax: 82-2-745-9104
E-mail : cleanair@snu.ac.kr

CO₂이며 대상 대중교통은 도시철도와 열차·버스로 나누어져 있다. 대상오염물질별 권고 기준은 시간에 따라 Level 1과 Level 2로 제시되어 있다. 평상시는 Level 1의 기준이내로 관리하고 혼잡시(도시철도: 출·퇴근시, 열차·버스: 주말, 휴일, 성수기)는 Level 2 기준을 초과하지 않도록 관리할 것을 권장하고 있다. 열차·버스의 경우 CO₂ 권고 기준은 Level 1의 경우 2,000 ppm 이하, Level 2의 경우 3,000 ppm 이하이며 PM₁₀의 기준은 Level 1의 경우 150 µg/m³ 이하, Level 2의 경우 200 µg/m³ 이하이다. 지하철의 경우는 도시철도에 해당하며 CO₂ 권고 기준은 Level 1의 경우 2,500 ppm 이하, Level 2의 경우 3,500 ppm 이하이며 PM₁₀의 기준은 Level 1의 경우 200 µg/m³ 이하, Level 2의 경우 250 µg/m³ 이하이다. PM₁₀은 기도(airways)와 하기도계(lower respiratory system)에 충분히 침착될 수 있는 직경의 크기며 다수의 역학 연구에 의하면 호흡기계 질환, 심혈관계 질환, 천식 증상 악화, 폐에 악영향을 포함하여 죽음에 이르게까지 한다고 보고되고 있다.⁹⁻¹²⁾ Karlsson 등(2005)의 스웨덴 스톡홀름에서 수행한 연구에서는 유전자 손상 분석기(comet assay)를 이용하여 입자에 따른 DNA 손상을 알아본 결과 도시 도로에서 발생하는 입자상물질과 지하철에서 발생하는 입자상물질 모두 DNA 손상을 야기시키며 특히 지하철에서 발생하는 입자상 물질은 도시의 도로에서 발생하는 입자상 물질보다 유전자의 DNA 분자에 손상을 일으키는 정도가 약 8배 높으며, A549 세포에 도시 도로에서 발생한 입자상물질, 지하철에서 발생한 입자상물질을 노출시켜 8-OxodG를 분석한 결과 지하철에서 발생하는 입자상물질이 도시 도로에서 발생하는 입자상물질에 비해 8-OxodG의 농도가 4배 높았다. 이는 곧 폐 조직에 산화손상 일으키는 경향이 4배 정도 높다는 것을 보여준다.¹³⁾ CO₂는 일반적으로 실내공기질을 대표하는 지표로 사용되고 있다.¹⁴⁾

이 연구는 출근 시간 때 지하철 4호선의 당고개역부터 사당역 구간을 대상으로 지하철 객차 내의 PM₁₀과 CO₂ 농도와 승객수의 관계를 알아보고 객차 내 두 오염물질의 분포를 파악하는데 목적이 있다.

II. 연구방법

본 연구는 지하철 4호선 당고개역부터 사당역 구간에서 지하철 객차 내 PM₁₀과 CO₂ 농도와 지하철 승객수의 분포를 파악하기 위해 2008년 10월 29일, 10월 30일, 11월 5일, 11월 6일(이하 Event 1, Event 2, Event 3, Event 4로 표기) 총 4일에 걸쳐 PM₁₀을 측

정하였으며, CO₂는 Event 2, Event 4 총 2일에 걸쳐 측정하였다. 측정 모두 출근시간대인 아침 8시 20분부터 아침 9시 20분까지 조사하였으며 대상오염물질의 조사 위치는 지하철 12 객차 중 6번째 객차 내 중앙 지점에서 이루어졌다.

PM₁₀ 측정은 광산란 방식의 휴대용장비(Sidepak AM510, TSI)를 이용하였다. 이 기기에 부착되어 있는 impactor에 의해 먼지의 공기역학적 직경 10 µm 이상의 먼지를 제거 하였으며 유량은 1.7 l/min을 유지하였다. 매 측정 전 zero filter로 calibration을 하였다. PM₁₀은 10초 간격으로 연속 측정되어 측정 장비에 저장되었다. 측정 후 저장된 자료는 Sidepak AM510 소프트웨어를 이용하여 컴퓨터를 통해 자료를 받아 사용하였다. CO₂는 센서를 통하여 적외선 흡수 원리를 이용한 휴대용측정장비(Testo 435-2 IAQ Monitor)를 이용하여 10초 간격으로 연속 측정하여 기기에 저장되었으며 측정 후 저장된 자료는 Testo 435-2 소프트웨어를 이용하여 컴퓨터를 통해 자료를 받아 사용하였다. 각 조사일마다 조사원들은 객차에 탑승하여 각 역마다 객차 내 승객수를 준비된 로그북에 기록하였으며 승객수로 인하여 셀 수 없는 경우는 객차의 1/4, 1/2 영역의 승객수를 세어 보정하였다. 그 외 조사원들은 기기의 작동시간, 각 역에 따른 객차 문의 개폐 시간, 열차의 운행 구간별 운행시간 등을 기록하였다. '지하철 운행 중 오염물질(PM₁₀ 및 CO₂) 농도'는 지속적으로 측정되었지만, 사람 수와 오염물질의 관계를 알아보기 위한 데이터 처리 시에는 지하철이 역에 정차하였던 시간 동안 측정된 농도는 제외시켜 처리된 자료이다. 오염물질의 농도 기준은 「대중교통수단 실내공기질 가이드라인」의 도시철도로 아침 8시 20분부터 9시 20분으로 혼잡시에 해당하여 Level 2를 적용하였다. 오염물질과 승객수의 관계를 알아보기 위해 승객수를 총 3 그룹으로 나누었다. 지하철의 한 객차 내 마련된 의자에 앉을 수 있는 승객수는 총 54명이다. 그룹 1은 0-74명으로 지하철의 한 객차 내 마련된 의자(54석)에 모두 앉을 수 있으며 서 있는 승객이 최대 20명으로 객차 내의 공간이 여유로우며 승객수를 세었을 때 정확히 셀 수 있다. 그룹 2는 75-160명으로 객차 내 서 있는 승객이 앉아 있는 승객보다 조금 많을 경우도 포함되어 있으며 승객들의 공간이 그룹 1에 비해 좁고 움직이거나 이동은 가능하나 다소 어려움이 있다. 승객수를 세었을 때 셀 수 있었으나 120명 초과 시 다소 무리가 있었다. 그룹 3은 161명 이상으로 객차 내 서 있는 승객이 앉아 있는 승객수의 2-3배를 초과하였으며 승객들이 움직일 수 있는 공간

이 확보되지 않았으며 사람 수를 세는 것에도 어려움이 있었다.

III. 결과 및 고찰

1. PM₁₀ 농도 및 승객수와의 관계

지하철 4호선 당고개역부터 사당역까지 측정시 지하철 객차 내 평균온도는 Event 2와 Event 4에서 각각 24°C, 23°C로 나타났다. Event 1과 Event 3에서는 측정기기의 결함으로 온도를 측정할 수 없었다. 4일간 측정된 전체 PM₁₀의 평균 농도는 113 ± 25 µg/m³으로 나타났다며, 4일에 해당하는 각 PM₁₀의 평균 농도는 125 ± 26 µg/m³, 92 ± 16 µg/m³, 108 ± 22 µg/m³, 127 ± 22 µg/m³으로 조사되었다(Table 1). 4일 모두 「환경부 대중교통수단 실내공기질 가이드라인」에서 제시한 PM₁₀ 혼합시 권고기준인 250 µg/m³보다 낮은 수준으로 나타났다.

선행 연구 중 Park 등(2005)의 연구에서는 Portable Aerosol Spectrometer Particle(Model 1108, GRIMM, Germany)로 지하철 1, 2, 4, 5호선을 대상으로 오후(13:00~16:00)에 객차에서 측정된 PM₁₀의 평균 농도가 144.0 µg/m³으로 나타났으며,⁶⁾ Lee 등(2008)의 연구에서 광산란 방식의 휴대용 장비인 DustMate(Tunkey Instruments Ltd.)를 이용하여 전 노선을 대상으로 하루 3번(7:00~9:00, 11:00~13:00, 18:00~20:00) 객차에서 측정된 PM₁₀의 평균 농도는 215.1 ± 101.4 µg/m³으로 나타났다.⁵⁾ 또한 Kwon 등(2008)의 연구에서는 광산란 방식의 장비를 이용하여 수도권 지하철 6개 라인에 대하여 하루 2번(7:00~9:00, 18:00~21:00) 측정된 결과 PM₁₀의 평균 농도가 142 µg/m³으로 나타나¹⁾ 본 연구의 결과가 타 연구보다 낮게 조사되었다. 하지만 타 연구와 측정방법, 측정 대상, 측정 시간 등이 다르므로 직접적으로 비교하기에는 무리가 있다.

지하철 운행 시 PM₁₀의 4일에 해당하는 평균 농도 값은 각각 125 ± 21 µg/m³, 91 ± 12 µg/m³, 107 ± 17

µg/m³, 127 ± 10 µg/m³으로 나타났으며 전체 PM₁₀의 평균 농도는 113 ± 21 µg/m³으로 나타났다. 운행 시와 객차의 승·하차 시의 농도는 서로 유의한 차이가 나타나지 않았다(p>0.05). 4일간 객차 내 평균 승객수는 92명, 96명, 128명, 55명으로 조사되었다(Table 1). 4일 중 Event 3의 평균 승객수는 224명으로 가장 높았으며 Event 4에서 가장 낮은 평균 승객수 95명으로 조사되었다.

각 역에 따른 PM₁₀의 평균농도 변화를 살펴보면 미아삼거리역-길음역 구간이 PM₁₀의 평균 농도가 169 µg/m³으로 가장 높게 나타났으며 다음으로는 길음역-성신여대입구역 구간이 159 µg/m³, 미아역-미아삼거리역 구간이 156 µg/m³의 순으로 차례로 높게 나타났다. 가장 낮은 PM₁₀ 평균 농도를 나타내는 구간은 노원역-창동역 구간으로 PM₁₀의 평균 농도가 90 µg/m³으로 나타났으며 다음으로 상계역-노원역 구간이 91 µg/m³, 당고개역-상계역 구간이 93 µg/m³으로 각각 낮게 나타났다. 각 역에 따른 평균 승객수를 보면 미아삼거리역-길음역 구간이 182명으로 가장 높았으며 성신여대입구역-한성대입구역 구간, 한성대입구역-혜화역 구간이 각각 174명, 172명으로 높게 나타났다. 가장 낮은 평균 승객수는 당고개역-상계역 구간이 9명, 다음으로 상계-노원역 26명, 숙대입구역-삼각지역이 32명 순으로 각각 조사되었다. 미아삼거리역-길음역 구간이 PM₁₀ 평균 농도와 승객수가 가장 높게 일치하였으나 가장 낮은 농도는 일치하지 않았다.

역에 따른 승객수와 PM₁₀의 농도를 나타낸 Fig. 1에서 처음 승객수가 증가하는 구간에서 PM₁₀의 평균 농도 값도 증가하는 양상을 보여 주었으나 그 이후 승객수가 감소하는 구간에서 PM₁₀의 평균 농도는 조금 감소하다 어느 수준으로 유지하는 양상을 보여주었다(Fig. 1). 이는 PM₁₀ 농도가 사람의 활동이나 사람의 수에 의한 영향뿐만 아니라 그 외 요소의 영향으로 인하여 PM₁₀ 농도가 어느 수준으로 유지되는 것으로 사료된다. PM₁₀ 평균 농도와 승객수와의 상관성은 두 가

Table 1. Descriptive statistics of PM₁₀ and passengers in the middle of the subway carriage

Date	Temp. (°C)	PM ₁₀ conc. (8:20AM - 9:20AM)		PM ₁₀ conc. (Transit phase only; 8:20AM - 9:20AM)		No. of Passengers (N)	
		Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D
Event 1	-	125	26	125	21	92	60
Event 2	24	92	16	91	12	96	66
Event 3	-	108	22	107	17	128	70
Event 4	23	127	17	127	10	55	29

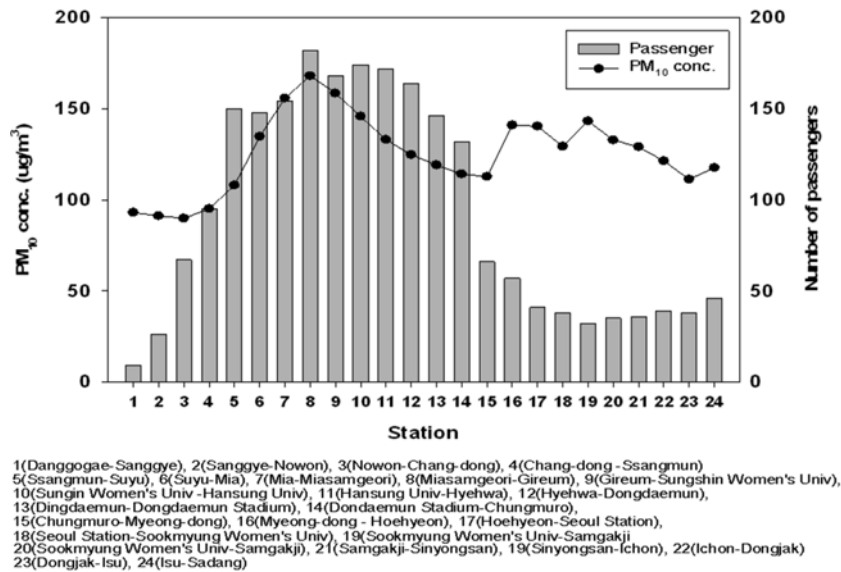


Fig. 1. Profiles for inside of subway PM₁₀ concentration and number of passenger during transit phase.

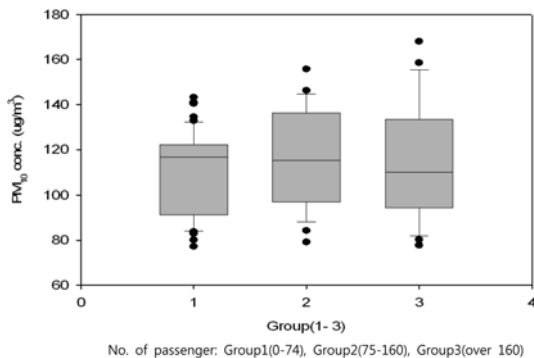


Fig. 2. Association between PM₁₀ concentration and number of passenger.

지 방법으로, 회귀방정식과 승객수를 그룹화 하여 PM₁₀ 평균 농도와 승객수의 연관성을 살펴보았다. 4월 동안 역에 따른 PM₁₀ 평균 농도와 승객수와의 회귀방정식을 산출한 결과 R² 값이 0.01이며 PM₁₀ 농도와 승객수와의 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 승객수를 각각 0명-74명, 75명-160명, 161명 이상으로 세 그룹으로 나누었다. 그룹 1은 총 50개의 측정이 포함되었고 평균 승객수는 41 ± 17명이었고, 그룹 2는 총 24개의 측정이 포함되었고 평균 승객수는 113 ± 28명이었고, 그룹 3은 총 22개의 측정이 포함되었고 평균 승객수는 187 ± 21명이었다. 그룹1의 PM₁₀의 평균 농도 110 ± 18.9 μg/m³, 그룹2의 PM₁₀의 평균 농도 116 ± 21.8 μg/m³, 그룹3의 PM₁₀의 평균 농도 115 ± 25.2 μg/m³으로 나타났

다. 이 세 그룹에 따른 PM₁₀ 평균 농도 분포는 Fig. 2 같이 나타났다. 세 그룹간의 PM₁₀ 평균농도는 유의한 차이가 없었으며(p>0.05) 각 그룹 간에도 유의한 차이가 나타나지 않았다. 선행 연구인 Lee 등(2008)에서는 PM₁₀ 평균 농도와 승객수와의 상호간의 크기가 -0.13으로 음의 관계가 있는 것으로 조사되었으며(p<0.01),⁵⁾ Kwon 등(2008)에서는 PM₁₀의 농도와 승객수와의 관계는 나타나지 않았다.¹⁾

2. CO₂ 농도 및 승객수와의 관계

2일 동안 4호선 당고개역부터 사당역까지 측정된 CO₂의 전체 평균 농도는 1402 ± 442 ppm으로 나타났으며, 10월 29일 CO₂의 평균 농도는 1601 ± 482 ppm, 11월 6일에는 1181 ± 251 ppm으로 조사되었다 (Table 2). 이는 「환경부대중교통수단 실내공기질 가이드라인」 CO₂ 혼합시 권고기준 3500 ppm 보다 낮은 수준으로 나타났다. 선행연구 역시환경부 「대중교통수단 실내공기질 가이드라인」의 CO₂ 혼합시 권고기준 3500 ppm 보다 낮게 나타났다. Lee 등(2008)의 연구에서 비분산적외선분석법을 적용한 휴대용측정장비(IAQ-CALC, TSI Inc.)를 이용하여 전 노선을 대상으로 하루 3번(7:00~9:00, 11:00~13:00, 18:00~20:00) 객차 중앙에서 측정된 CO₂의 평균 농도 1577 ± 726 ppm으로 나타났다.⁵⁾ 또한 Kwon 등(2008)의 연구에서는 비분산적외선분석법을 적용한 장비를 이용하여 수도권 지하철 6개 라인에 대하여 하루 2번(7:00~9:00, 18:00~21:00)

Table 2. The distribution of the mean CO₂ concentration by sampling period at the middle of subway carriage

Date	Temp. (°C)	CO ₂ conc. (8:20AM - 9:20AM)		CO ₂ conc. (Transit phase only; 8:20AM - 9:20AM)		No. of Passengers (N)	
		Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D
		Event 2	24	1601	482	1596	481
Event 4	23	1181	251	1188	251	55	29

unit: ppm

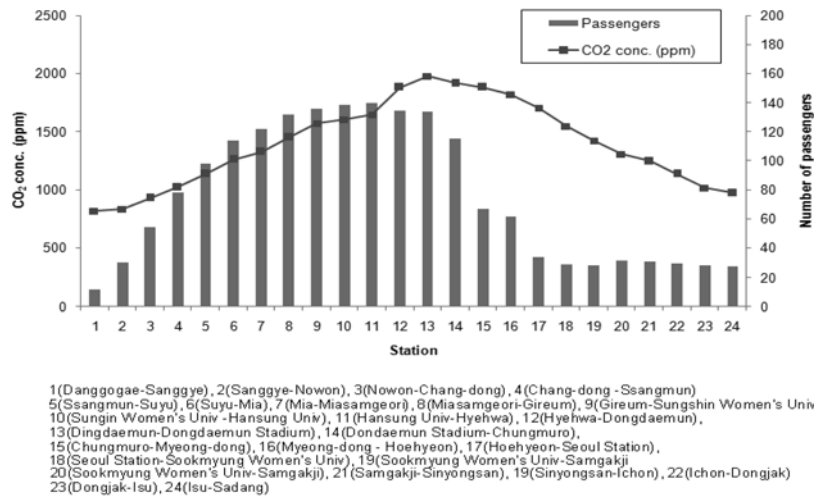


Fig. 3. Profiles of in-subway CO₂ concentration and number of passenger during transit phase.

측정한 결과 CO₂ 평균 농도가 1766 ppm으로 나타났다.¹⁾

CO₂ 농도 역시 앞에서 처리한 방법과 같이 운행시 CO₂ 농도를 해당 역에 따라 적용하여 산출하였다. 운행시 CO₂의 2일에 해당하는 평균 농도 값은 각각 1596 ± 481 ppm, 1188 ± 251 ppm으로 나타났으며 전체 CO₂ 평균 농도는 1392 ± 432 ppm으로 나타났으며, 운행 시와 객차의 승·하차 시의 농도는 서로 유의한 차이가 나타나지 않았다(p>0.05)(Table 2).

2일간 측정된 역에 따른 CO₂ 평균 농도는 Fig. 3과 같이 나타났다. 가장 높은 CO₂ 평균 농도는 1976 ppm으로 동대문역-동대문운동장역 구간이고 그 다음으로는 동대문운동장역-충무로역 구간이 1917 ppm, 혜화역-동대문역 구간이 1881 ppm으로 높게 나타났다. 가장 낮은 CO₂ 평균 농도는 816 ppm으로 당고개역-상계역 구간에서 나타났다. 가장 높은 승객수는 한성대역-혜화역 구간으로 140명, 그 다음으로 성신여대입구역-한성대입구역이 139명, 길음역-성신여대입구역이 138명으로 높게 나타났으며 가장 낮은 평균 승객수는 당고개역-상계역 구간이었다. 역 구간별 CO₂ 평균 농도와 평균 승객수의 상관관계를 보았을 때 승객수가 먼저 증

가한 후 곧이어 CO₂ 농도가 증가하고 승객수가 감소 시에는 감소 후 바로 감소하는 것이 아니라 시간이 흐른 후 서서히 CO₂ 평균 농도가 감소하는 양상을 보여 주었다(Fig. 3).

CO₂ 평균 농도와 승객수와의 상관성은 두 가지 방법으로, 회귀방정식과 승객수를 그룹화 하여 CO₂ 평균 농도와 승객수의 연관성을 살펴보았다. CO₂ 평균 농도와 승객수와의 상관성을 회귀방정식으로 알아본 결과 R² 값이 0.364이며 CO₂ 농도(ppm)=4.79 × 승객수(명)+1031로 나타났다. 시간에 따른 승객수와 CO₂ 평균 농도 변화를 고려하여 승객수와 1 역, 2 역 그리고 3 역 후의 CO₂ 평균 농도와 상관성을 각각 알아보았다. 그 결과 상관성은 모두 유의하게 나타났으며, 회귀방정식에서는 기울기가 1에 가까웠고 R² 값이 증가하였다. 승객수를 3 역 후의 CO₂ 평균 농도와 비교 하였을 때 기울기가 가장 1에 가까웠으며 R² 값이 0.746으로 나타났다. 이때 CO₂ 평균 농도와 승객수와의 회귀방정식은 CO₂ 농도(ppm)=6.50 × 승객수(명)+927로 나타났다. 승객수를 PM₁₀ 경우와 같이 세 그룹으로 나누었을 때 그룹 1의 CO₂의 평균 농도 1256 ± 411 µg/m³, 그룹 2의 CO₂의 평균 농도 1403 ± 301 µg/m³, 그룹 3

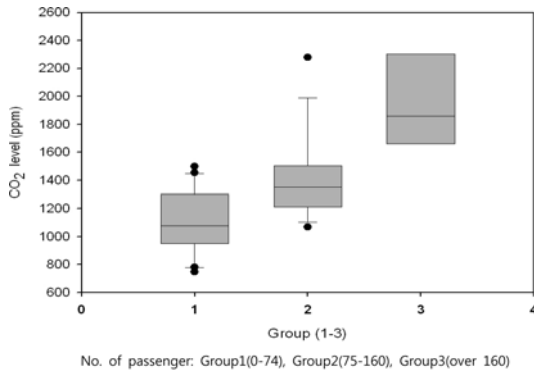


Fig. 4. Association between CO₂ concentration and number of passenger.

의 CO₂의 평균 농도 1916 ± 335 μg/m³으로 나타났다. 이 세 그룹에 따른 CO₂ 평균 농도 분포는 Fig. 4와 같이 나타났다. 세 그룹간의 CO₂ 평균 농도는 유의한 차이(p<0.01)를 보였으며 각 그룹별로 살펴본 결과 그룹 1과 그룹 2를 제외한 그룹 1과 그룹 3, 그룹 2와 그룹 3에서는 유의한 차이를 보여주었다(p<0.01). Lee 등(2008)에서는 CO₂ 농도와 승객수와의 관계를 R²=0.52으로 조사하였고(p<0.01),⁵⁾ Kwon 등(2008)에서는 CO₂ 농도와 승객수와의 관계를 R²=0.72의 관계에 있다고 제시하였다.¹⁾ 운행 중 PM₁₀과 CO₂의 상관관계를 회귀방정식으로 알아본 결과 R² 값이 0.0035이며 지하철 내의 PM₁₀ 농도와 CO₂ 농도는 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

이 연구는 지하철 이동시 객차 내부의 오염물질 농도 분포를 평가하였으며 평가 시 역 구간별 농도 분포를 고려하여 평가하였다. 이는 해당 역 오염도는 전역으로부터 이동시 발생하는 오염도의 영향을 받을 가능성이 있다. 하지만 이 연구는 당고개역에서 사당역방향으로 이동시에만 측정하였으며, 반대 방향인 사당역에서 당고개역에 대한 이동은 측정하지 않았다.

IV. 결 론

본 연구는 지하철 4호선 당고개역에서 사당역 구간 출근시간대 아침 8시 20분부터 아침 9시 20분까지 객차 내 실내 오염물질 PM₁₀과 CO₂ 농도와 승객수와의 관계를 알아보기 위하여 수행하였다. 4호선에서 혼잡시 측정된 4일간 PM₁₀의 평균 농도는 113 ± 25 μg/m³이었고 2일간의 CO₂ 전체 평균 농도는 1402 ± 442 ppm이었으므로 두 오염물질은 「대중교통수단 실내공기질 가이드라인」의 혼잡시 권고기준인 Level 2를 초과하

지 않았다. 객차 내 승객수와 오염물질 농도와의 관계를 알아본 결과 CO₂ 농도는 승객수와 상관관계를 보여주었다. 그러나 PM₁₀ 농도와 승객수와의 상관관계는 나타나지 않았다. 본 연구를 통해 객차 내 오염물질 중 PM₁₀과 CO₂의 농도 분포를 알 수 있었으며 이산화탄소와 승객수가 상관관계가 있음을 파악하였다.

감사의 글

이 연구 논문은 서울대학교 보건대학원 노출평가개론 수업의 과제로 수행된 연구이다.

참고문헌

1. Kwon, S.-B., Cho, Y. M., Park, D. S., Park, E.-Y. : Study on the indoor air quality of Seoul Metropolitan Subway during the rush hour. *Indoor and Built Environment*, **17**(4), 361-369, 2008.
2. Kim, J. K., Shin, H. S., Lee, J.-J., Kim, K., Lee, J.-H. : Study on the biological effects of TSP collected from the subway station with tradescantia bioassay. *Korean Journal Environmental Toxicology*, **17**(3), 245-252, 2002.
3. Kim, M.-Y., La, S.-H., Shin, D.-C. Han, K.-M., Choi, K.-S., Jung, I.-H. : Distribution characteristics 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.
4. Kim, K. Y., Kim, Y. S., Roh, Y. M., Lee, C. M., Kim, C. N. : Spatial distribution of particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}) in Seoul Metropolitan Subway stations. *Journal of Hazardous Materials*, **154**, 440-443, 2008.
5. Lee, C. M., Park, W. M., Roh, Y.-M., Kim, Y. S., Park, D. S. : A survey of particulate matters and CO₂ levles in Seoul Subway carriages. *Journal of Environmental Health Sciences*, **34**(1), 34-41, 2008.
6. Park, D. U., Yun, K. S., Park, S. T., Ha, K. C. : Characteristics of PM₁₀ and PM_{2.5} levels inside train and in platform of subway. *Korean Journal of Environmental Health*, **31**(1), 39-46, 2005.
7. So, J.-S., Yoo, S.-Y. : A prediction of CO₂ concentration and measurement of indoor air quality in the EMU. *Journal of the Korean Society for Railway*, **11**(4), 378-383, 2008.
8. Korea Ministry of the Environment: Guideline on the Management of Indoor Air Quality of Public Transportation, 2007.
9. Dockery, D. W., Pope, C. A., 3rd, Xu, X., Spengler, J. D., Ware, J. H., Fay, M. E., Ferris, B. G., Jr., Speizer, F. E. : An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *The New England Journal of Medicine*, **329**, 1753-1759, 1993.
10. von Klot, S., Wolke, G., Tuch, T., Heinrich, J., Dock-

- ery, D. W., Schwartz, J., Kreyling, W. G., Wichmann, H. E., Peters, A. : Increased asthma medication use in association with ambient fine and ultrafine particles. *European Respiratory Journal*, **20**(3), 691-702, 2002.
11. Pope, C. A., Hansen, M. L., Long, R. W., Nielsen, K. R., Eatough, N. L., Wilson, W. E., Eatough, D. J. : Ambient particulate air pollution, heart rate variability, and blood markers of inflammation in a panel of elderly subjects. *Environmental Health Perspectives*, **112**, 339-345, 2004.
12. Gauderman, W. J., Avol, E., Gilliland, F., Vora, H., Thomas, D., Berhane, K., McConnell, R., Kuenzli, N., Lurmann, F., Rappaport, E., Margolis, H., Bates, D., Peters, J. : The effect of air pollution on lung development from 10 to 18 years of age. *The New England Journal of Medicine*, **351**, 1057-1067, 2004.
13. Hanna L. Karlsson, Lennart Nilsson, Lennart Möller : Subway particles are more genotoxic than street particles and induce oxidative stress in cultured human lung cells. *Chemical Research in Toxicology*, **18**(1), 19-23, 2005.
14. Persily, A. K. : Relationship between indoor air quality and carbon dioxide. *Indoor Air Quality and Climate, 7th International Conference. Proceedings. Indoor Air '96. July 21-26, Nagoya, Japan.*, **2**, 961-966, 1996.