

전동차 객실의 실내공기질 평가 - CO₂ 농도와 승객 수

Assessment of Indoor Air Quality of Subway - CO₂ Concentrations and Number of Passengers

권순탁*
Kwon, Soon-Bark

조영민**
Cho, Young-Min

박덕신***
Park, Duck-Shin

박은영****
Park, Eun-Young

ABSTRACT

With increasing concerns of indoor air quality, CO₂ concentration in the public transportation, such as train, bus, and subway, draws big interests. The CO₂ concentration in the indoor air is regarded as index of ventilation status rather than that of adverse health effect.

In this study, we measured the time-series of CO₂ concentrations in the subway saloon at the Subway line 1 (Suwon-station to Cheongyangri-station) with the number of passengers on board. At the same time, the concentration of particulate matter (PM), temperature, and humidity were monitored. It was found that the CO₂ concentration was correlated linearly with number of passengers and the relation function is suggested for the prediction of CO₂ concentration by the number of passengers.

1. 서 론

대중운송수단의 실내는 공간적으로 매우 제한된 장소라는 점과, 실제로 이용하는 승객 수 및 외부 대기오염에 의하여 실내공기가 민감하게 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 최근 대중교통수단의 실내공기질에 대한 관심이 증대되면서 열차, 버스 및 지하철 내에서의 CO₂농도가 크게 주목받고 있다. 환경부는 도시철도, 열차, 고속형 및 직행형 시외버스를 대상으로 ‘대중교통수단 실내공기질 관리 가이드라인(환경부, 2007)’을 마련하여 지자체와 대중교통사업자에게 가이드라인을 자율 준수토록 권고하기로 했다. 이는 지난 2004년 5월 30일부터 시행중인 ‘다중이용시설등의 실내공기질 관리법’에 이어 점차 실내공간 오염문제의 심각성이 인식되고 있는 증거가 되고 있다. 특히, 지하철 하루 이용승객수가 서울에서만 550만명에 이르고 있는 실정으로 다중이 이용하는 전동차의 실내공기질 문제는 인체유해성 측면에서 중요하게 거론되고 있다. 본 연구에서는 현재 운행 중인 1호선 전동차 수원-청량리 구간에서 각 구간별 탑승객 수와 객실 내 CO₂농도를 연속 측정하여 그 상관관계를 밝히고자 한다.

2. 측정방법

CO₂ 농도는 IAQ모니터(Wolfsence, model IQ410)을 이용하여 객실 중앙 혹은 좌석 중앙에서 10초 간격으로 연속 측정하였다. CO₂ 농도외에 온도, 습도를 동시에 측정하였으며, PM10(입경 10 μ m 이하의 입자상 물질)농도는 Dust monitor (Grimm, model 1.108)를 이용하여 1분 간격으로 연속 측정하였다. 탑승객 수는 출발역인 수원역에서의 재실 승객수를 기준으로 각 정차역에서 승하차한 승객수를 세어 산정하였다. 측정일은 2006년 12월 12일과 13일이었으며 측정시간대는 퇴근시간대에 1회씩 측정되었다.

* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

E-mail : sbkwon@krri.re.kr

TEL : (031)460-5375 FAX : (031)460-5319

** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

*** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

**** 한국과학기술연합대학원 대학교

3. 측정결과

환경부의 대중교통수단 실내공기질 권고기준은 노선1회 운행시 평균값 기준으로 CO₂ 농도는 혼잡시 (Level 2)에 3500 ppm이하 미세먼지 농도는 250 μg/m³이하로 제시하고 있다(표 1 참조). 본 측정결과에서 수원-청량리 구간의 노선평균 CO₂농도는 12월12일과 13일에 각각 1753 ppm, 2192 ppm으로 권고기준 이하로 나타났다(표 2). PM10 농도의 경우 혼잡시 기준인 250 μg/m³에 비하여 12일과 13일 각각 189 μg/m³, 152 μg/m³로 권고기준 이하로 측정되었다. 그러나, 노선평균 승객수가 12일과 13일 각각 74명, 104명으로 비교적 혼잡도가 낮은 점을 감안한다면, 혼잡도가 높은 노선의 경우 기준안을 초과할 가능성이 높은 것으로 보인다.

Table 1. 환경부 「대중교통수단 실내공기질관리 가이드라인」

항 목	구 분	Level 1(평상시)	Level 2(혼잡시)
이산화탄소 (CO ₂)	도시철도	2,500ppm 이하	3,500ppm 이하
	열 차	2,000ppm 이하	3,000ppm 이하
미세먼지 (PM10)	도시철도	200μg/m ³ 이하	250μg/m ³ 이하
	열 차	150μg/m ³ 이하	200μg/m ³ 이하

※ 열차는 입석이 정원의 50%이상 운영시 도시철도에 적용 기준을 따름.
 노선 1회 운행시 평균값 기준, 현재 도시철도 100% 설계인원 = 160명.

Table 2. Average number of passengers, CO₂ concentration and PM10 concentration

측정일자 (수원-청량리)	노선평균 탑승객 수(명)	노선평균 CO ₂ 농도(ppm)	노선평균 PM10농도(μg/m ³)
2006.12.12	74	1753	189
2006.12.13	104	2192	152

탑승객 수와 CO₂농도의 상관관계를 분석하기 위하여, 각 정차역을 기준으로 탑승승객수와 CO₂농도의 측정값을 비교하였다(그림 1).

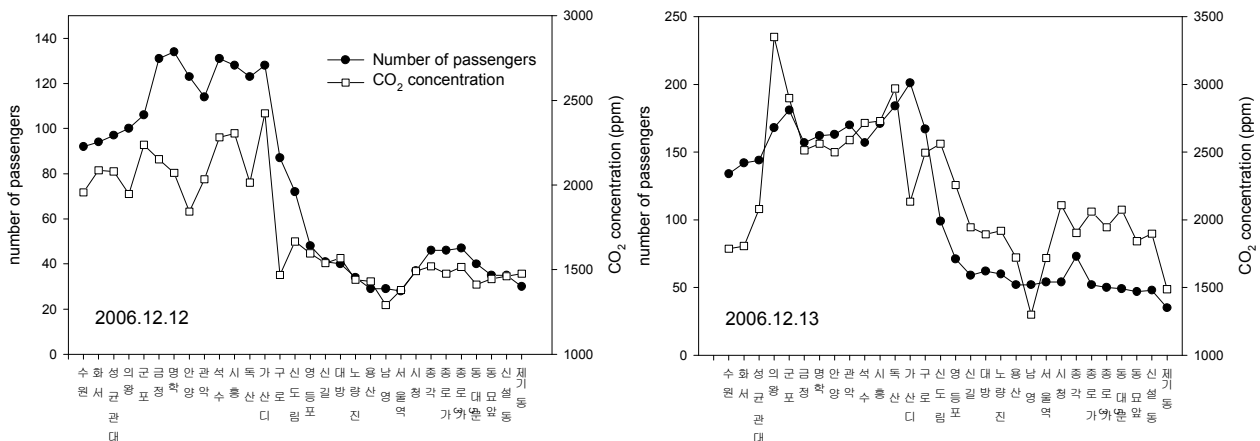


Fig. 1. Number of passengers and CO₂ concentration by each station

12월12일과 13일의 측정결과 모두에서 탑승객 수와 CO₂농도는 높은 상관관계를 나타내었다. 그림2에서와 같이 탑승객 수와 CO₂농도사이의 높은 선형관계(R²=0.710)를 이용하면 승객 한명이 증가할 때 약 8 ppm의 농도증가가 예측된다. 식(1)은 CO₂농도와 탑승승객수의 상관관계를 나타내고 있다.

$$CO_2(ppm) = 1266 + 7.93 \times N \quad (1)$$

권순박 등(2006)은 KTX객실에서 탑승객 수와 CO₂농도와의 높은 상관관계 (R²=0.807)를 역시 보고하였으며, KTX의 경우 승객 한명이 증가할 때 약 24 ppm의 CO₂농도증가가 나타난다고 추정하였다. 본 연구에서 추정되는 탑승객 수(N)와 CO₂농도와의 상관관계(식 1)를 이용하여 계산할 경우, 전동차에 노선평균 156명 이상이 탑승(도시철도 설계인원의 약 100%에 해당)하면 평상시 CO₂권고기준 2500 ppm (Level 1)을 초과하게 되며, 282명 이상이 탑승하면 혼잡시 CO₂권고기준 3500 ppm (Level 2)을 초과할 것으로 예상된다. 한편, 탑승객 수와 PM10과의 상관관계는 발견되지 않았으며, 탑승승객수와 실내온도 사이에는 약한 선형적 상관관계(R²=0.400)가 나타났다(그림 3).

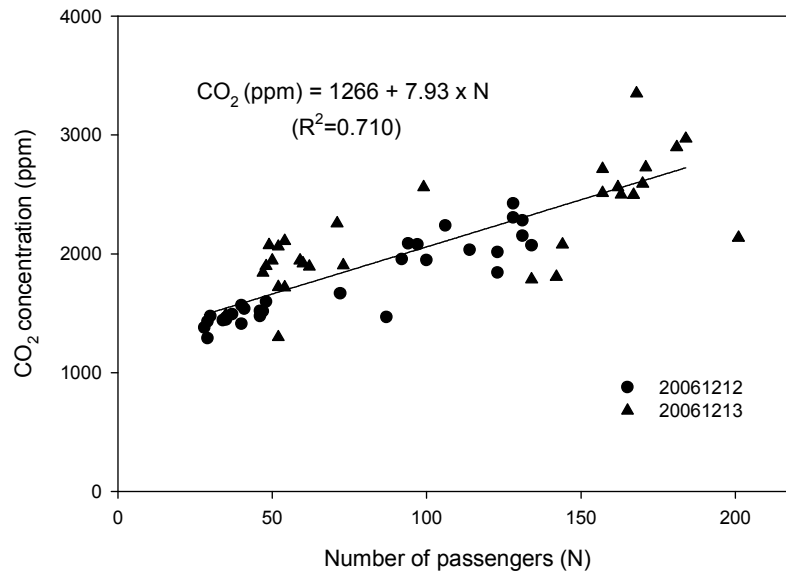


Fig. 2. Correlation between number of passengers and CO₂ concentrations

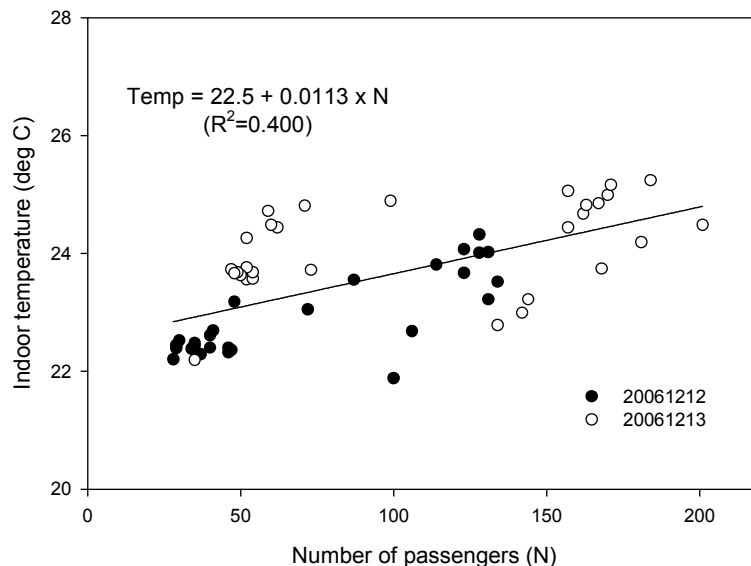


Fig. 3. Correlation between number of passengers and indoor temperatures

4. 결론 및 향후 연구방안

수도권 1호선 전동차(수원-청량리)의 퇴근 시간대 객실 실내공기질을 이산화탄소와 미세먼지(PM)의 측정을 통해 평가하였다. 노선평균 측정값은 환경부 대중교통수단 실내공기질 가이드라인의 기준값을 만족하고 있는 것으로 평가되었다. 이는 평균승객수가 100명이하로 상대적으로 적었기 때문이며, 이산화탄소와 승객수간의 높은 상관관계에 의하여 승객수가 증가할 경우 실내공기질 가이드라인을 쉽게 초과할 것으로 예상된다. 본 연구에서 밝혀진 이산화탄소와 승객수 간 상관관계는 현재 연구원에서 추진중인 수도권 전동차 실내공기질 종합측정 평가 연구에 의하여 검증하게 된다. 수도권 전동차 실내공기질 종합측정 평가에서는 경부선(서울역-천안역), 경인선(구로-인천), 분당선(선릉-보정)구간의 출퇴근 시간대 집중측정이 이루어지며, 실내쾌적성의 평가지표로 이용되는 예상온열냉감(predicted mean vote; PMV)을 계산하여 실제 승객이 체감하는 쾌적성도 병행하여 평가할 예정이다.

5. 참고문헌

- 1) 환경부(2007) 대중교통수단 실내공기질 관리 가이드라인
- 2) 권순박, 조영민, 박덕신, 박은영(2006) KTX 경부선 및 호남선 객실에서의 CO₂ 농도변화 분석, 한국실내환경학회 연차학술대회 논문집. pp.214-216