

1C1) 지하철 객실 CO₂ 농도 예측식 개발

Estimation Method for CO₂ Trends in Subway Cabin

권순박 · 박덕신 · 조영민 · 박은영¹⁾ · 김세영 · 정미영

한국철도기술연구원 환경화재연구팀, ¹⁾한국과학기술연합대학원 미래첨단교통시스템공학

1. 서 론

대중교통수단 실내공기질 관리 가이드라인(환경부, 2006)의 발표와 더불어 실내공기질에 대한 관심이 크게 증대되고 있다. 가이드라인에 의하면, 철도, 버스 등의 대중교통수단은 혼잡시와 평상시로 구분하여 객실 공기질을 적정수준이하로 관리하여야 한다. 특히 미세먼지(PM₁₀)와 이산화탄소(CO₂) 농도를 대표 물질로 선정하여 각각의 농도에 대한 일정 기준을 제시하고 있다. 본 연구에서는 객실 CO₂농도가 탑승객수와 선형적 상관관계(권순박 등, 2006)를 이루는 점에 착안하여, 지하철 객실의 CO₂농도를 예측할 수 있는 방법을 연구하였다. 탑승객의 호흡작용으로 인해 증가된 CO₂농도는 차체의 빈틈과 출입문의 개폐 등 자연환기에 의해 희석된다. 또한, 차량에 강제환기장치가 작동되면 강제적으로 외부공기와 혼합되어 CO₂농도가 희석되게 된다. 수도권 지하철 구간중 Korail의 경부선, 경인선, 분당선 3개노선, 서울메트로의 2, 3, 4호선의 CO₂농도 측정결과를 이용하여, 지하철의 객실 CO₂농도 예측식을 개발하였다.

2. 연구 방법

지하철 객실의 CO₂ 농도는 탑승객수, 정차역간 운행시간, 출입문 개방시간, 외기조건에 따라 변화하게 된다. 본 연구에서는 각 정차역을 기준으로 차량의 탑승객수, 운행시간, 출입문 개방시간을 측정하였으며, 측정결과를 바탕으로 CO₂ 예측식을 개발하였다. 객실의 CO₂농도증가는 탑승객의 호흡작용에 의한 토출의 결과이므로, 탑승객수와 1인당 평균 CO₂토출량을 이용하면 객차의 출입문이 닫혀있는 시간, 즉 정거장 출발 후 다음 정거장에 도착하여 출입문이 열리기 직전까지의 CO₂농도를 예측할 수 있다. 출입문이 열리면 외부공기와 희석을 통해 객실 CO₂농도는 낮아지게 된다. 객실내의 국부적 CO₂농도차가 존재하지 않고, 승객의 객차 간 이동에 따른 탑승인원 변화는 탑승객수 산정에서 제외하였으며, 외기의 CO₂농도는 일정하다고 가정하였다. 강제환기가 이루어지지 않는 객실에서 자연환기에 의한 CO₂농도 저감률(dilution factor; D) 변수를 도입하면, 다음과 같이 i번째 정차역에서 CO_{2,i} 농도에 관한 식을 유도할 수 있다.

$$CO_{2,i} = \left[\frac{M \times N_i \times t_i}{V_c - N_i \times V_b} \times 10^6 + \Delta CO_{2,i-1} \right] \times (1 - D) + CO_{2,bg} \quad (1)$$

여기서, M은 1인당 CO₂ 토출량(m³/h), N_i, t_i는 각각 i번째 정차역에서 다음 정차역까지 승객수와 소요시간(s), V_c는 객차의 실내 유효부피(m³), V_b는 승객의 평균 신체 부피(m³), ΔCO_{2,i-1}는 i번째 정차역의 전 역(i-1번째역)에서 객실 CO₂농도(ppm)의 배경농도(CO_{2,bg}) 대비 증가분(=CO_{2,i-1}-CO_{2,bg}), D는 자연환기에 의한 CO₂농도 저감률(0~1)이다. CO_{2,bg}는 객실 및 외기의 배경농도이다.

3. 결과 및 고찰

6개 노선의 측정결과와 식(1)을 이용한 예측결과를 비교하여, CO₂ 농도 저감률이 약 35%(D=0.345)일 때, 측정치와 예측치가 가장 잘 일치하였다(Kwon et al., 2007). 따라서, 지하철 객실 CO₂농도는 각 정차역을 기준으로 아래와 같은 식으로 예측될 수 있다.

$$CO_{2,i} = 0.655 \times \left[\frac{M \times N_i \times t_i}{V_c - N_i \times V_b} \times 10^6 + CO_{2,i-1} \right] + 0.345 \times CO_{2,bg} \quad (2)$$

그림 1은 식(2)를 이용한 경부선(서울역-천안) 퇴근시간대 및 서울메트로 4호선(당고개-정왕) 출근시간대의 정차역별 CO₂농도 예측결과와 측정결과를 나타내고 있다. 경부선의 측정결과는 2007년 3월 21일 퇴근시간대, 서울메트로 4호선의 결과는 6월 28일의 출근시간대의 측정결과이다. 측정기간 중 외기 평균 온도는 경부선 측정시 6.8°C, 서울메트로 측정시 23.8°C로 17°C의 편차가 있었다. 경부선은 모두 지상역사구간이며 서울메트로 4호선의 경우 약 60%의 정차역이 지하구간에서 운영되고 있다.

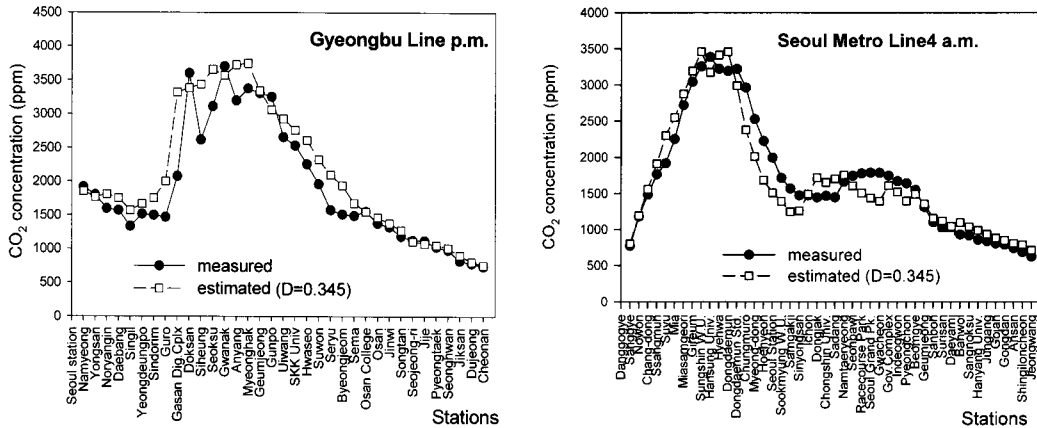


Fig. 1. Comparison of CO₂ trends obtained by measurement and estimation.

4. 결 론

수도권 전동차 6개노선의 객실 CO₂농도 변화를 예측하기 위하여, 측정결과를 바탕으로 CO₂농도 예측식을 개발하였다. 실제측정결과를 해석하여 차량의 자연환기효과를 정량화하였으며, 탑승객수와 정차역간 운행시간을 이용한 CO₂ 농도 예측결과는 실제측정결과를 적절히 반영하는 것으로 나타났다. 객실 CO₂농도에 영향을 미칠 것으로 예상되었던 외기조건 중 외기온도와 지하구간의 운행에 의한 효과는 탑승객수와 운행시간에 비하여 미비한 것으로 나타났다. 본 연구에서 개발된 CO₂농도 예측식과 자연환기효과의 정량화는 향후 외기와 실내공간의 오염물질 분포관계의 규명 등에 효과적으로 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- 권순박 등 (2007) 전동차 탑승객수와 CO₂농도와 의 상관관계, 한국대기환경학회 춘계공동학술대회, pp. 213.
- 환경부 (2006) 대중교통수단 실내공기질 관리 가이드라인.
- Kwon et al. (2007) The effect of natural ventilation on the inside CO₂ levels of Seoul Metropolitan subway. Indoor Air, submitted.