

수도권 지하철 내부의 IAQ 관리 기초 인자 분석

Analysis of basic IAQ management factors in metropolitan subway

조영민* 박덕신* 이철규* 박병현** 박은영**
Cho, Young-Min Park, Duckshin Lee, Cheulgyu Park, Byunghyun Park, Eunyoung

ABSTRACT

The IAQ management in subway cabin is very important for the enhancement of the amenity and health of passengers because the subway carries many passengers in a relatively short time mostly in urban area. However, since the ventilation of most subway cabins are performed by simple opening of doors at each stations, the IAQ management is not easy. In this study, we measured some IAQ factors (temperature, relative humidity, particulate matters, CO, and CO₂ concentration) of subway cabin in Seoul area. The results showed that the IAQ of the cabin was relatively acceptable. However, CO₂ concentrations were higher than 1,000 ppm in most cases. CO₂ concentration was mostly proportional to the number of passengers in cabin. Therefore, new method to relieve the CO₂ concentration is urgently required.

1. 서 론

최근의 급격한 산업 발달과 도시화, 그리고 현대인들의 사회·경제·문화생활의 변화로 실내공간에서의 활동시간이 더욱 증가하고 있다. 따라서 하루의 대부분을 각종 실내공간에서 머무르는 현대인들에게 있어서 삶의 질, 그리고 인체 위해성 측면에서의 실내환경은 매우 중요하다고 할 수 있다. 실내공기는 실내 자체의 오염원과 실외 오염물질의 유입으로 오염도가 증가되고 있으며, 특히 밀폐되어 있다는 공간적 특성으로 인하여 오염물질의 축적도 빈번히 발생하고 있다. 이에 따라 쾌적한 실내 활동이 저해되고, 심지어는 건강까지도 위협받고 있다.

미국은 90년대부터 실내공기오염을 가장 시급히 처리해야 할 5대 환경문제 중의 하나로 보고 실내공기질에 대한 연구의 권장과 지원을 시작하였으며, 국내에서도 생활수준의 향상과 더불어 건강 및 환경문제에 대한 인식이 고취됨에 따라 지하역사 및 지하상가의 실내공기질을 대상으로 한 “지하 생활공간 공기질 관리법”을 여객터미널·도서관·의료기관 등 다중이용시설과 신축되는 공동주택으로 관리 대상을 확대한 “다중이용시설 등의 실내공기질 관리법”을 개정 및 공포하여 다중이용시설의 실내공기질을 알맞게 유지하여 국민의 건강을 보호하고자 하고 있으며, 철도역사의 대합실과 지하역사의 출입통로, 대합실, 승강장, 환승통로 등이 규제를 받고 있다.(환경부, 2003)

* 한국철도기술연구원 연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원 연구원

그러나, 실질적으로 승객들이 많은 시간을 보내는 열차 및 전동차 내부는 다중이용시설 대상에서 제외되어 현재로서는 규제를 받고 있지 않는 실정이다. 그러나, 이에 대한 규제가 향후 3년 안에 이루어질 것으로 보이며, 이에 본 연구에서는 수도권 지하철을 대상으로 객차 내부의 실내공기질을 조사하여 현황을 파악하여 실내공기질 관리의 기초자료로 사용하며, 향후 지하철의 실내쾌적성 연구에 응용하고자 하였다. 이에 본 연구에서는 수도권 지하철의 객차 내부 실내공기에 대하여 온도, 습도, 미세먼지(PM-10), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂), 포름알데히드(HCHO) 등의 오염현황을 파악하고 실내공기질을 개선할 수 있는 방안을 모색해보고자 하였다.

도표 1. 다중이용시설 등의 실내공기질 유지 및 권고기준

항목	온도 (℃)	상대습도 (%)	CO (ppm)	CO ₂ (ppm/24h)	PM-10 (μg/m ³)	HCHO (ppm/1h)	TVOC (μg/m ³)
환경기준	17~28	40~70	10	1000	150	0.15	500

2. 측정방법

본 연구에서는 수도권 지하철의 A선, B선, C선을 대상으로 온도, 습도, 일산화탄소 (CO) 농도, 이산화탄소 (CO₂) 농도, 미세먼지 (PM-10, PM-2.5, PM-1.0) 농도, 휘발성 유기화합물 (Volatile Organic Compounds; VOCs) 농도, 포름알데하이드 (HCHO) 농도 등을 측정하였다. 측정은 8월~9월의 하절기에 출퇴근 시간을 피하여 주간에 이루어졌으며, 객차 내의 승객수를 지속적으로 모니터링하였으며, 열차에는 냉방기가 가동되고 있는 조건에서 이루어졌다. 표 2에는 측정항목별 측정기기를 나타내었고, 표 3에는 측정일시 및 측정구간을 나타내었다.

도표 2. 측정 항목 및 측정기기

항목	측정/포집 장비
온도, 습도	IAQ monitor (model: IQ410, Wolfsence)
CO, CO ₂	
HCHO	HCHO 분석기 (model: FP-30, Sibata)
미세먼지	Dustspectrometer (model:1108, Grimm)

도표 3. 측정일시 및 측정시간

측정차수	측정일시	측정노선	측정시간	평균승객수
1차	2004. 8. 18.	A선	14:00 - 15:30	77
			15:30 - 17:00	81
2차	2004. 8. 27.	B선	13:00 - 14:30	46
			14:30 - 16:00	51
3차	2004. 8. 27.	C선	16:00 - 16:40	79
			16:40 - 17:20	78
4차	2004. 9. 3.	C선	11:00 - 11:40	40
			11:40 - 12:20	66
5차	2004. 9. 3.	A선	14:00 - 15:30	65
			15:30 - 17:00	36

3. 공기질 측정 결과

3.1 온도 및 습도 측정 결과

사람이 쾌적하다고 느끼는 공간을 나타내는 인자는 다양하며, 이런 인자에는 측정이 불가능하거나 정량평가가 어려운 항목들도 다수 포함된다. 객실 내에서 승객이 쾌적성을 평가하는 기초 항목으로 온도와 습도는 비교적 정량화가 쉽고 우선적으로 이루어져야 할 대상이다. ANSI, ASHRAE, ISO 등 국제규격에 객실내부에서의 쾌적성 기준은 온도의 수직편차를 3℃ 이내로, 수평편차는 2℃ 이내로 유지하도록 하고 있다.

본 연구에서의 객실 내 온도, 습도에 대한 측정결과는 도표 4에 나타내었다. A선, B선 그리고 C에 대한 측정결과 온도는 평균 24.1 ~ 25.5 ℃ 의 분포를 보였고, 상대습도는 평균 48.2~55.8 % 의 분포를 보여, 전동차 내의 온도와 습도는 비교적 양호하게 유지되고 있음을 확인할 수 있다.

도표 4. 전동차 내의 온도, 습도 측정결과

측정노선		측정항목		온도(℃)	습도(%)
A선	상행	Max		28.4	68.6
		Avg.		25.2	55.8
	하행	Max		26.8	59.0
		Avg.		25.5	49.5
B선	상행	Max		28.7	59.3
		Avg.		25.0	50.5
	하행	Max		27.1	62.3
		Avg.		24.6	48.0
C선	상행	Max		27.7	52.4
		Avg.		24.1	48.5
	하행	Max		29.1	52.4
		Avg.		24.6	48.2

3.2 CO 및 CO₂ 측정 결과

표 5에서 알 수 있듯이, A선, B선 그리고 C선의 객차에 대한 대기질 측정결과, CO 농도는 실내공기질 유지기준이 10 ppm 이하의 농도 수준이었다. 반면, CO₂는 A선에서 최대 1398 ~ 1435 ppm, B선에서 최대 1522 ~ 1645 ppm, C선에서 최대 1578 ~ 1918 ppm으로 기준치인 1000 ppm 을 초과하는 심각한 수준인 것으로 나타났다.

일반적으로 탄산가스로 일컬어지는 CO₂는 대기 중의 정상 성분으로서 일반적인 대기 중의 CO₂ 농도는 약 350 ppm 정도이며, 이 농도에서는 인체에 거의 영향을 미치지 않는다. 그러나, 밀폐된 실내공간에서 CO₂ 농도가 높으면 두통, 권태, 현기증, 구토, 불쾌감 등의 증상을 초래할 수 있으므로 CO₂는 CO와 함께 중요한 실내오염물질 중의 하나이다. CO₂는 인간이나 동물의 호흡과 연료의 연소 과정에서 발생하지만, 반대로 식물이 광합성에 CO₂를 이용하기 때문에 대기 중의 CO₂ 농도는 일정한 수준을 유지하게 된다. 그러나, 환기가 잘 되지 않는 밀폐된 실내 공간에 많은 사람이 모여 있을 경우에는 호흡에 의해 CO₂의 농도가 지속적으로 증가하게 된다.

도표 5. 전동차 내의 CO 및 CO₂ 측정결과

측정노선		측정항목	CO(ppm)	CO ₂ (ppm)
A선	상행	Max	0.3	1398.0
		Avg.	0.005	973.2
	하행	Max	0.6	1435.0
		Avg.	0.015	976.0
B선	상행	Max	0.3	1522.0
		Avg.	0.011	1162.3
	하행	Max	1.2	1645.0
		Avg.	0.068	1269.4
C선	상행	Max	0.2	1918.0
		Avg.	0.011	1407.5
	하행	Max	0.7	1578.0
		Avg.	0.011	1215.3

그림 1에 전동차 3호선에서 승객수와 CO₂ 발생량과의 관계에 대한 그래프를 제시하였다. 그래프를 통해 승객의 수가 증가함에 따라 CO₂ 발생량이 증가하는 것을 확인 할 수 있다. CO₂의 농도가 증가하면 인간의 호흡운동이 증가하여 폐포 내 환기를 증대시킴으로써 폐포 내의 CO₂ 량을 일정하게 유지한다. 공기 중의 CO₂ 농도가 3%가 되면 호흡이 증가하고, 4%가 되면 폐포 내의 CO₂가 증가하기 시작하며 이어서 호흡곤란, 두통, 이명 등의 증상을 일으킨다. 단시간일 경우 5%까지 참을 수 있으나, 그 이상의 농도가 되면 호흡곤란이 현저해지고, 생명도 위험하다. CO₂ 농도는 실내공기의 환기상태를 평가하는 지표로 이용된다. 환기가 불량하면 CO₂ 농도가 높아지기 때문이다. 환기가 불량한 실내는 온도나 습도 상승으로 불쾌감을 유발할 수 있으며, 공기 중의 분진이나 세균 수의 증가 등으로 인하여 실내공기질이 악화되기 때문에 환기가 반드시 필요하다. 일반적으로 CO₂ 농도가 1,000 ppm 또는 1,500 ppm 이상이 되면 그 실내의 환기는 불량한 것으로 간주된다.

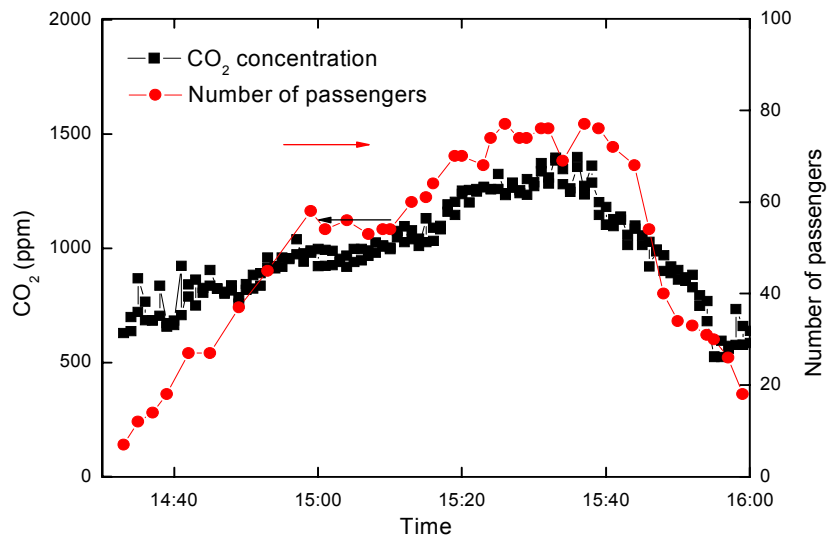


그림 1. 전동차 내에서 승객수와 CO₂ 발생량과의 관계

3.3 미세먼지 측정 결과

현재 운행 중인 A선, B선, C선을 대상으로 PM-10, PM-2.5, PM-1.0의 농도를 측정하였다. 표 5에 전동차 내부의 미세먼지 농도를 나타내었다. A선의 경우 PM-10의 평균농도는 36.3~41.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM-2.5의 평균농도는 22.9~26.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM-1.0의 평균농도는 17.6~20.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 조사되었다. B선에서 PM-10의 최대 농도는 66.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 조사되었다. C선은 B선과 유사한 결과를 나타내는 것을 알 수 있다. 측정 시 가장 높은 결과를 나타낸 것은 B선에서의 최대 PM-10 농도 72.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였다. 하지만 실내 환경기준인 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과한 구간이 한 곳도 없음을 통해서 전동차 내의 미세먼지 수준은 양호한 것으로 판단된다.

도표 6. 전동차 내의 미세먼지(PM-10, PM-2.5, PM-1.0) 측정결과 (단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

측정노선		측정항목	PM-10	PM-2.5	PM-1.0
3호선	대화-수서	Max	66.8	34.9	26.3
		Avg.	41.5	26.2	20.4
	수서-대화	Max	63.0	39.0	27.6
		Avg.	36.3	22.9	17.6
4호선	산본-당고개	Max	54.7	32.5	23.0
		Avg.	30.1	18.6	13.9
	당고개-산본	Max	72.2	34.5	24.6
		Avg.	44.4	24.0	17.3
분당선	오리-선릉	Max	62.3	17.4	11.3
		Avg.	24.4	11.0	8.40
	선릉-오리	Max	58.3	16.1	10.4
		Avg.	29.9	11.2	8.15

4. 결론

지하철은 도심 지하구간에서 단기간에 다수의 승객이 이용하므로, 객실의 실내공기질 관리는 승객의 쾌적성과 건강을 위해 매우 중요한 부분이다. 그러나, 기존의 전동차의 대부분이 열차의 객실과 출입문의 개폐로 환기가 이루어지므로, 실내공기질의 적절한 관리가 용이하지 않다. 본 연구에서는 수도권 지하철의 내부의 온,습도 및 미세먼지, 일산화탄소, 이산화탄소 등의 농도 측정을 수행하여, 승객의 쾌적성 관련 인자 및 승객의 위해성 관련 인자의 영향 정도를 알아보았으며, 이를 바탕으로 지하철 객차 공기질 관리 현황과 문제점을 파악하고 쾌적한 실내공간을 유지하기 위한 기초자료를 얻고자 하였다. 측정결과 대체로 다중이용시설의 기준을 만족시키는 것으로 나타났으나, 이산화탄소 농도가 높았으며, 이는 객차 내의 승객수와 거의 비례하는 것으로 나타나 이에 대한 대책이 필요한 것으로 보인다.

참고문헌

1. 한국철도기술연구원 (2002) 「실내쾌적성 향상기술개발」, 1차년도 최종보고서
2. 환경부 (2003) 「다중이용시설 등의 실내공기질 관리법」