

도시철도 전동차 객실 내 실내공기질 특성평가

곽진[†] · 조은정 · 유은철 · 김광수
대기보전과

Evaluation of the Air Quality Characteristics Inside Train Cabin in Busan

Jin Kwak[†], Eun-Jeong Cho, Eun-Chul Yoo and Kwang-Soo Kim
Air Preservation Division

Abstracts

This study was performed to investigate the concentration of PM10, carbon dioxide (CO₂), volatile organic compounds (VOCs), formaldehyde (HCHO), and total airborne bacteria inside train cabin of Metro 1, 2, 3, and 4 in Spring, Summer, and winter.

The mean concentrations of PM10 and CO₂ in Metro were lower than the recommendation levels of indoor air quality.

As a result of correlation analysis, CO₂ concentrations have shown high positive correlation($r=0.74\sim0.94$) with passenger numbers. The average concentrations of HCHO and total airborne bacteria were lower than the maintenance levels of indoor air quality for multi-use facility

Key words : PM10, VOCs, HCHO, total airborne bacteria

서론

현대 도시인들의 하루 동안 활동시간을 분석한 결과, 실내에서 80~90%의 시간을 소비하고 있다고 한다. 24시간 중 가장 많은 시간을 소비하는 곳은 주거, 업무, 교육 등에 관련한 시설로서 주택, 사무실, 학교 등의 시설이고, 다음으로는 이동을 위한 운송수단이다. 우리나라 사람들의 일일 시간 활동양상을 조사한 결과에 의하면 교통수단 내 70분(1.2시간)이었다¹⁾.

부산교통공사 자료에 따르면 2010년의 부산의 경우 시내버스는 환승요금제도, 준공영제의 시행에 따른 지속적인 통행량의 증가추세가 감소로 전환되었으나, 도시철도의 통행량은 크게 증가되어 부산도시철도의 1일 이용자가 753,000명으로 조사되었고 이러한 추세는 2011년의 도시철도 4호선, 부산~김해 경전철 개통에 따라 더욱 심화될 것으로 예측되어 부산시의 대중교통체계가 도시철도

를 중심으로 한 대중교통체계로 전환되고 있음을 보여주고 있다²⁾.

하지만 서민들의 대표적인 운송수단인 도시철도는 「다중이용시설등의 실내공기질 관리법」³⁾에서 정하는 다중이용시설에 포함되어 있지 않기 때문에 체계적인 관리가 어렵고 도시철도를 이용하는 승객들이 반복적으로 도시철도 내에서 체류하는 동안 받게 되는 건강상의 위해를 최소화하기 위하여 지하철의 객차내의 실내공기질 관리의 필요여부가 중요시 되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 부산에서 가장 중요한 시민의 교통수단인 도시철도에 대하여 운행중인 전동차 객실내 실내공기질 실태 및 특성을 파악함으로써 도시철도 전동차 객실 내 쾌적한 실내공기질 유지를 위한 관리지침을 마련하기 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

[†] Corresponding author, E-mail : kwakjin@korea.kr

Tel : +82-51-757-6936, Fax : +82-51-753-1424

Table 1. Numbers of passenger utilizing Busan Metro in a day

Distinction	Line 1	Line 2	Line 3	Total
Number of passengers	413,069	264,522	75,336	752,927
Number of transfers	73,343	82,931	59,845	216,119
Total	486,412	347,453	135,181	969,046

재료 및 방법

조사대상

본 연구에서 조사대상인 도시철도 이용객 현황은 Table 1에서 보는바와 같이 도시철도의 연평균 1일 승차자수는 총 752,927인/일이며, 각 호선간의 환승을 포함할 때 도시철도 1일 평균 이용승객수는 969,046인/일로 나타났다.

승차기준으로 산정한 도시철도의 호선별, 시간대별 이용승객 현황을 살펴보면, 평일의 경우 가장 혼잡시는 퇴근교통이 집중되는 18:00~19:00이며, 이 시간대 이용승객수는 1호선이 45,995인, 2호선이 28,026인, 3호선이 7,773인으로 조사되었다.

조사대상 도시철도의 노선도 및 전동차 구성현황⁴⁾을 Fig. 2 및 Table 2에 나타내었다.

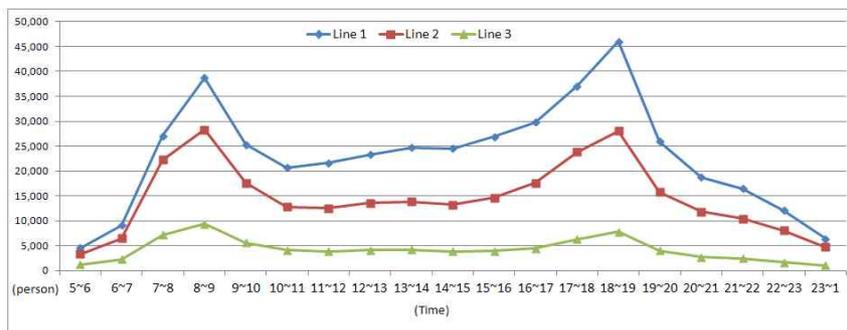


Fig. 1. Time-series variation of passengers using metro on weekday (2010).



Fig. 2. Metro Line map.

Table 2. Metro Line and Electric train configuration

구분	구간 및 거리(Km)	전동차구성(출입문수)	외부순환환기	노선별 특성
Line 1	노포~신평(32.5 km)	8량1편성(1량 6개)	없음	자갈도상
Line 2	양산~장산(46 km)	6량1편성(1량 8개)	없음	콘크리트도상
Line 3	수영~대저(18.3 km)	4량1편성(1량 8개)	없음	콘크리트도상
Line 4	미남~안평(12.7 km)	4량1편성(1량 4개)	없음	콘크리트도상

조사방법

도시철도 1, 2, 3, 4호선 전동차 객실을 대상으로 춘계와 냉난방을 가동하는 하계와 동계로 구분하여 대중교통수단 실내공기질 측정방법에 따라 혼잡시와 평상시로 구분하여 혼잡시는 7:30분~9:30분과 18시~20시 시간대에 각 1회씩 조사하였으며 평상시는 혼잡시를 제외한 시간대에 시료를 채취하였다⁶⁾.

객실내 측정은 도시철도 전동차의 각노선의 출발지에서 도착지까지 정상 운행되는 동안 연속적으로 실시하였다. 측정지점은 전동차 출입문으로부터 1 m 이상 떨어진 중앙점에서 바닥면으로 부터 1 m 이상 높이에서 시료를 수행하였다.

조사항목 및 분석방법

조사항목 및 분석방법은 Table 3에 나타내었으며

PM10의 경우 소용량공기포집기(PAS-201)등을 이용하여 시료를 채취하고 채취된 여지를 항량시킨후 마이크로 발란스(Sartorius DE/BT 4202s)로 분석하였다. 이산화탄소의 경우는 비분산적외선측정장비(BE-PM4)을 사용하여 연속측정한 결과 값을 사용하였고 총부유세균의 경우는 MAS 100을 이용하여 일정량의 공기를 흡입하여 장비내에 미리준비된 배지에 충돌시켜 공기중의 부유세균을 채취한후 배양기에서 48시간 배양 시킨 후 증식된 균집락수를 세어 포집한 공기의 단위체적 당 균수(CFU/m³)로 산출하였다⁷⁾.

HCHO는 DNPH카트리지를 펌프(MP-Σ100)에 부착시킨 후 시료를 채취하여 HPLC(Agilent 1100)로 분석하였고 휘발성유기화합물은 흡착관을 펌프(MP-Σ30)에 부착시킨후 시료를 채취하여 시료의 분석은 자동열탈착장치(Gerstel, Germany)가 장착된 GC/MS(HP6890, USA)

Table 3. Specification of measurement

항목	측정기기	측정방법	분석기기
PM10	PAS-201	소용량공기포집법 (중량법)	Sartorius DE/BT 4202s
CO ₂	BE-PM4	비분산적외선측정법	-
Total airborne bacteria	MAS 100	충돌법(Impaction)법	-
HCHO	MP-Σ100	2,4-DNPH 유도체화 HPLC 분석법	HPLC Agilent 1100
VOCs	MP-Σ30	고체흡착열탈착법 (TD-GC/MS)	GC-MSDHP-6890, Agilent 5973

Table 4. Analytical conditions of HCHO with HPLC

Variables	Conditions
Analytical Column	ODS(C ₁₈) 4,6mm × 250mm
Mobile phase	Acetonitrile : Water = 60 : 40
UV detector	360 nm
Flow rate	1.0 mL/min
Injection Volume	20 μL

Table 5. Operating conditions for thermal desorption and GC/MS analysis

Item		Conditions
TDS	Desorption Temp	25℃(0.1 min)→60 ℃/min→260(5 min)
	Desorp. Temp & Time	26 0℃, 10 min
	Concentrating temperature	-30 ℃
GC/MSD	Column	HP-5(60 m × 0.25 mm × 1.0 μm)
	Column flow	1.5 ml/min
	GC oven Temp.	60 ℃(3min)→3 ℃/min→150 ℃(0min)→7 ℃/min→230(7 min)
	Split ratio	20 : 1
	Mode	Scan
	MS source	230℃
	MS Quad	150℃
	Ionization mode	EI mode

Table 6. the recommendation levels of indoor air quality for train inside of Metro

조 건	구 분	CO ₂	PM10
노선 1회 운행시 평균값 기준	평상시	2,500 ppm 이하	150 μg/m ³ 이하
	혼잡시	3,500 ppm 이하	200 μg/m ³ 이하

로 정성 및 정량분석 하였다. HCHO와 VOCs의 분석조건은 Table 4와 5에 나타내었다.

공기질 권고기준⁵⁾

대중교통수단 실내공기질 가이드라인(환경부, 2006)에는 도시철도의 공기질을 평가하기 위한 지표오염물질로 이산화탄소와 입자의 직경이 10 μm 이하인 미세먼지로 정하고 있다. 단 이산화탄소는 차량내 환기가 적절하게 이루어지는지 여부의 판단자료로 활용한다라고 규정하고 있고 다른 항목에 대해서는 기준이 설정되어 있지 않다. 도시철도내 공기질 권고기준은 Table 6과 같다.

결과 및 고찰

PM10 측정결과

노선별 PM10 측정결과를 Fig. 3과 Table 7과 8에 나타내었으며 전노선 중에 1호선의 PM10 농도가 72.0~137.6 μg/m³로 가장 높은 것으로 나타났고 다음으로는 4호선> 3호선> 2호선 순으로 나타났다. 1호선이 다른 호선에 비해 PM10 농도가 높게 나타난 원인으로는 객차당 이용승객수가 많아 전동차내 오염도의 증가와 노면이 자갈도상으로 정차시 콘크리트 도상인 타노선에 비해 승강장으로부터 높은 PM10 농도의 유입 등으로 타노선에 비해 높게 나타난 것으로 보인다. 계절별 PM10 농도

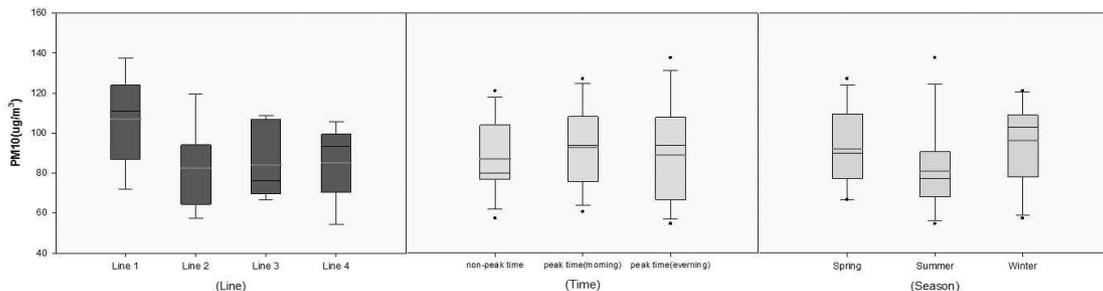


Fig. 3. Measurement results of PM10 concentration train inside of Metro.

Table 7. Measurement results of PM10 concentration inside of Metro

PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Non-Peak time				Peak time (morning)				Peak time (evening)			
	Spring	Summer	Winter	Mean	Spring	Summer	Winter	Mean	Spring	Summer	Winter	Mean
Line 1	111.1	79.4	121.0	103.8	127.0	72.0	94.1	97.7	116.4	137.6	104.2	119.4
Line 2	82.4	78.4	57.3	72.7	86.3	94.1	119.5	100.0	66.7	94.1	62.3	74.4
Line 3	104.8	76.2	72.6	84.5	76.2	75.6	108.9	86.9	66.7	66.7	108.9	80.7
Line 4	80.0	80.0	101.6	87.2	93.3	60.6	105.8	86.6	93.3	54.5	97.4	81.8
Mean	94.6	78.5	88.1	87.1	84.6	86.6	86.1	85.7	86.1	86.0	85.9	86.0

Table 8. Statistical result of PM10

(unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Hourly	Total (n=36)	Non-peak time (n=12)	Peak time (n=24)	Peak time (morning) (n=12)	Peak time (evening) (n=12)
mean \pm std (Min~Max)	89.6 \pm 21.1 (54.5~137.6)	87.1 \pm 18.4 (57.3~121.0)	90.9 \pm 22.6 (54.5~137.6)	92.8 \pm 20.0 (60.6~127.0)	89.1 \pm 25.7 (54.5~137.6)

는 동계>춘계>하계 순으로 조사되었고 평상시와 혼잡시를 비교하면 계절별, 노선별로 큰 차이를 나타내지는 않았다. 한편 Table 8에서 보는 바와 같이 혼잡시와 평상시 모두 도시철도 내 PM10 권고기준을 만족하는 것으로 나타났다.

CO₂ 측정결과

CO₂ 는 차량내 환기가 적절하게 이루어지는지 여부의 판단지표로 활용하는데 노선별 CO₂ 측정결과를 보면 전 노선 중에 1호선의 CO₂ 농도가 가장 높은 것으로 나타났으며 다음으로는 3호선> 2호선> 4호선 순으로 나타났다. 1호선이 가장 높게 나타난 원인을 살펴보면 이용 승객수가 가장 많은데 비해 전동차의 1량의 출입문수는 2, 3호선 보다 적어 정차시 외부공기에 의한 환기량과 관련이 있는 것으로 사료된다.

계절별 CO₂ 농도는 동계>춘계>하계 순으로 조사되었고 평상시와 혼잡시를 비교하면 전노선에서 혼잡시가 평상시보다 높게 나타났으나 4호선의 경우는 큰 차이를 나

타내지 않았다.

CO₂ 와 승객수와의 상관관계 수 값을 Fig. 5에서 보면 대부분의 경우 높은 양의 상관관계를 나타내고 있다. 승객수와 CO₂ 농도 간에 상관관계수(r)이 0.4와 0.2로 낮게 나타난 사례에 대해서 보면 운행 중에 최대승객수가 30명 미만으로 정차시 외부공기의 유입에 의해서도 충분한 환기가 되어 승객의 증가에 따라 CO₂ 농도는 크게 증가하지 않고 일정하게 유지된 것이 상관관계수값이 높지 않은 원인이었다.

한편 Table 9에서 보는바와 같이 혼잡시와 평상시 모두 도시철도 내 CO₂ 권고기준(노선 1회 운행시 평균값 기준)을 만족 하는 것으로 나타났다. 한편 1호선 중 CO₂ 농도가 가장 높게 나타난 혼잡시와 평상시에 대해 CO₂ 농도 변화를 살펴보면 혼잡시는 일부구간(동래에서 범일)의 농도가 3000~3560 ppm으로 높게 나타났으며 평상시에도 여러 구간에서 2000~2460 ppm으로 조사되어 권고기준에 근접하는 것으로 나타났다. 이렇게 승객에 따라 CO₂가 증가하는 것은 전동차내 외부순환시설이 없어 승강장에 도착하여 전동차문이 열릴 때 바깥 공기만으로 자

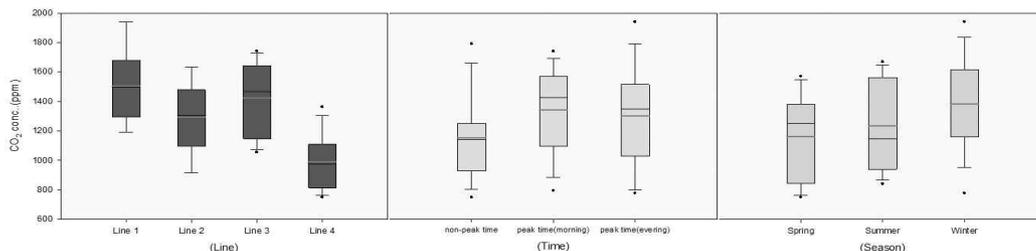


Fig. 4. Measurement results of CO2 concentration inside of Metro.

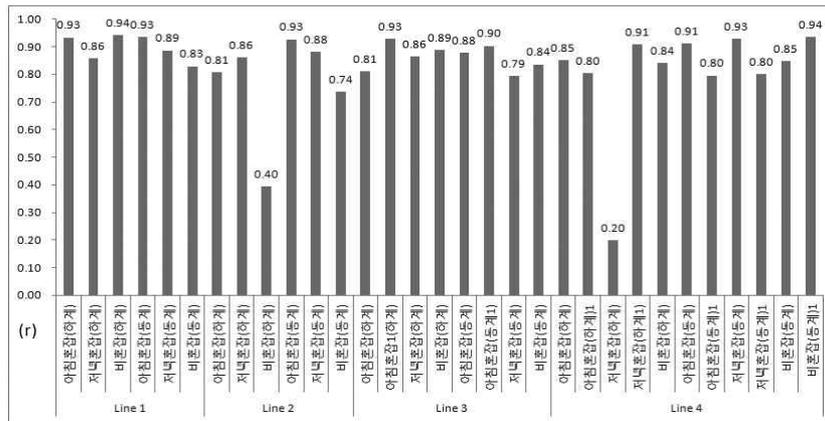


Fig. 5. Correlation coefficient between CO₂ and passenger inside of Metro.

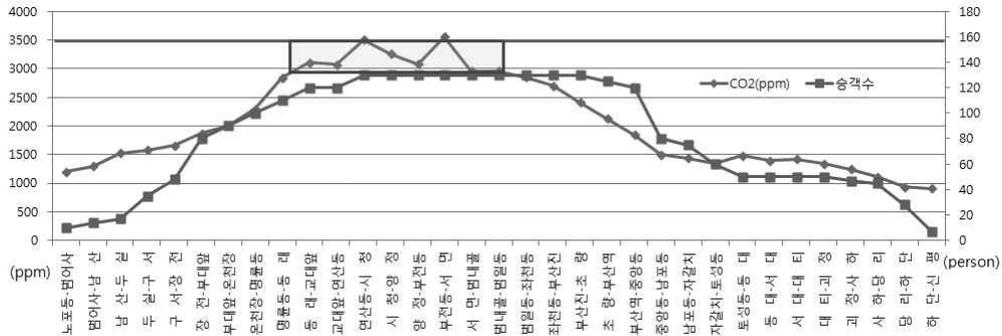


Fig. 6. Measurement results of CO₂ concentration for Peak time of Line 1.

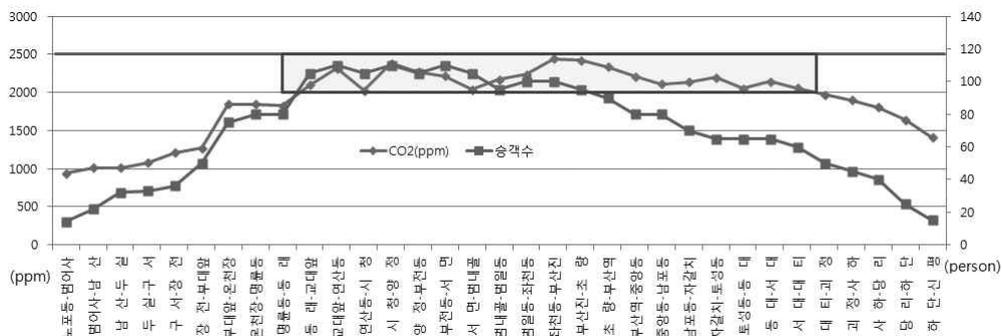


Fig. 7. Measurement results of CO₂ concentration for Non-Peak time of Line 1.

연환기를 시키는 시스템으로 전동차가 운행중에 승객수의 증가와 사고, 고장 등 원인으로 전동차운행이 지연 될때는 CO₂ 농도는 높아 질 수밖에 없는 구조이다. 따라서 CO₂ 농도를 일정수준으로 유지하여 쾌적한 실내 공기질을 유지하기 위해서는 CO₂ 농도가 높은 일부구간에 대해

서는 환기를 위해 정차시간을 조정하거나 전동차의 교체 시나 신규 도입시 CO₂ 농도와 연계하여 자동환기가 가능한 시스템의 도입 등이 필요할 것으로 사료된다.

Table 9. Measurement results of CO₂ concentration inside of Metro

CO ₂ (ppm)	Non-Peak time				Peak time(morning)				Peak time(evening)			
	Spring	Summer	Winter	Mean	Spring	Summer	Winter	Mean	Spring	Summer	Winter	Mean
Line 1	1192	1202	1790	1395	1570	1562	1395	1509	1385	1496	1940	1607
Line 2	917	940	1253	1037	1498	1631	1457	1529	1305	1339	1295	1313
Line 3	1055	1142	1467	1221	1313	1408	1635	1452	1362	1573	1642	1526
Line 4	749	886	1188	941	795	1010	1064	956	820	966	1070	952
Mean	978	1043	1424	1148	1205	1259	1204	1223	1229	1219	1223	1224

Table 10. Statistical result of CO₂

Hourly	Total (n=43)	Non-peak time (n=13)	Peak time (n=30)	Peak time (morning) (n=16)	Peak time (evening) (n=14)
mean ± std (Min~Max)	1271 ± 301 (749~1940)	1151 ± 270 (749~1790)	1323 ± 304 (778~1940)	1341 ± 289 (795~1740)	1302 ± 330 (778~1940)

총부유세균 측정결과

노선별 총부유세균 측정결과를 Fig. 8, Table 11, 12에 나타내었으며 혼잡시에는 2호선> 4호선> 3호선> 1호선 순이고 평상시에는 3호선> 1호선> 4호선> 2호선 순으로 나타났고 계절별로 보면 혼잡시에는 동계> 하계>

춘계 순으로 나타났고 평상시에는 3호선> 1호선> 4호선> 2호선 순이었다. 한편 개별 농도값을 보면 196~680 CFU/m³으로 다중이용시설 실내공기질 유지기준인 800 CFU/m³를 적용하면 모두 기준이내인 것으로 나타났다.

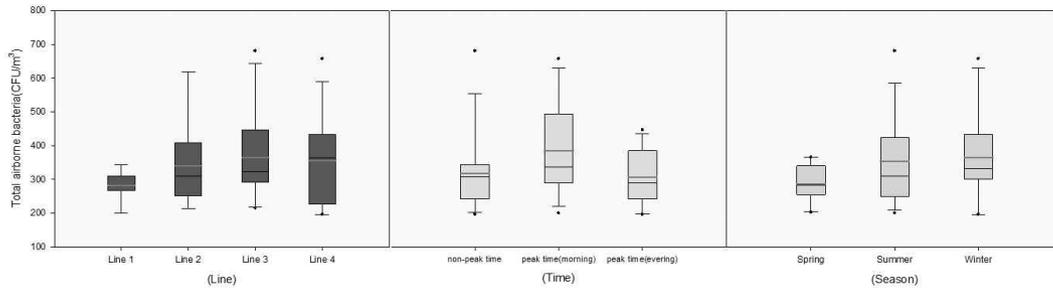


Fig. 8. Measurement results of total airborne bacteria concentration inside of Metro.

Table 11. Measurement results of total airborne bacteria concentration inside of Metro

Total airborne bacteria (CFU/m ³)	Non-Peak time				Peak time(morning)				Peak time(evening)			
	Spring	Summer	Winter	Mean	Spring	Summer	Winter	Mean	Spring	Summer	Winter	Mean
Line 1	282	285	343	303	261	200	323	261	272	275	299	282
Line 2	213	250	309	257	282	310	618	403	252	425	392	357
Line 3	307	680	343	443	351	365	319	345	292	215	446	318
Line 4	364	328	216	303	365	471	564	467	202	326	289	272
Mean	291	386	303	327	338	323	329	330	327	329	329	328

Table 12. Statistical result of total airborne bacteria

Hourly	Total (n=43)	Non-peak time (n=13)	Peak time (n=30)	Peak time (morning) (n=16)	Peak time (evening) (n=14)
mean ± std (Min~Max)	339 ± 118 (196~680)	339 ± 118 (196~680)	348 ± 118 (196~657)	384 ± 135 (200~657)	307 ± 82 (196~446)

HCHO 측정결과

노선별 HCHO 측정결과를 Fig. 9, Table 13, 14에 나타내었으며 평균 농도는 1호선이 가장 높고 4호선이 가장 낮았다. 시간대별 HCHO 농도는 혼잡시 농도가 평상시 농도보다는 조금 높게 나타났으나 큰 차이를 나타내지는 않았다. 한편 계절별로는 동계 > 하계 > 춘계 순으로 나타내었다. HCHO 농도는 0.2~21.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 다중이용시설 실내공기질 유지기준인 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 비해 낮은 수준인 것으로 나타났다.

VOCs 측정결과

Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene, Styrene 총 5개 휘발성유기화합물(BTEXS)의 측정결과를 Table 15, 16, Fig. 10, 11에 나타내었으며 전노선 중에 1호선에서 BTEXS의 평균 농도가 가장 높은 것으로 나타났으며 다음으로는 2호선 > 3호선 > 4호선 순으로 나타났고 계절별로는 동계가 다른 계절에 비해 높게 나타났다. BTEXS 중에는 Toluene의 농도가 가장 높은 것으로 나타났고 Ethylbenzene > Xylene > Benzene > Styrene 순이었다.

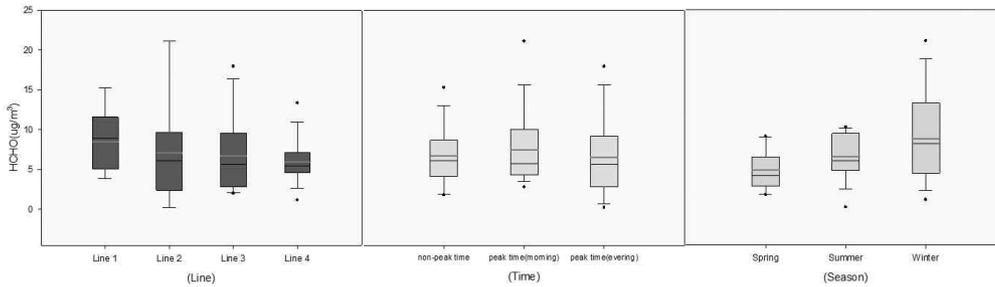


Fig. 9. Measurement results of HCHO concentration inside of Metro.

Table 13. Measurement results of HCHO concentration inside of Metro

HCHO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Non-Peak time				Peak time(morning)				Peak time(evening)			
	Spring	Summer	Winter	Mean	Spring	Summer	Winter	Mean	Spring	Summer	Winter	Mean
Line 1	8.9	5.5	15.3	9.9	3.9	9.9	4.7	6.2	5.5	9.5	13.3	9.4
Line 2	1.8	6.1	8.0	5.3	4.3	10.3	21.1	11.9	9.1	0.2	3.0	4.1
Line 3	2.0	8.0	9.6	6.5	3.8	7.9	3.6	5.1	2.6	7.1	18.0	9.2
Line 4	4.2	4.1	6.8	5.0	5.8	5.5	11.0	7.4	6.7	5.4	3.1	5.1
Mean	4.2	5.9	9.9	6.7	7.5	8.0	7.4	7.7	7.7	7.6	7.7	7.6

Table 14. Statistical result of HCHO

Hourly	Total (n=43)	Non-peak time (n=13)	Peak time (n=30)	Peak time (morning) (n=16)	Peak time (evening) (n=14)
mean ± std (Min~Max)	6.9 ± 4.3 (0.2~21.1)	6.7 ± 3.6 (1.8~15.3)	7.0 ± 4.7 (0.2~21.1)	7.5 ± 4.7 (2.8~21.1)	6.6 ± 4.8 (0.2~18.0)

TVOC의 전체 평균농도는 $360.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고 시간대별 평균농도는 저녁혼잡시 > 평상시 > 아침혼잡시 순이고 계절별로는 동계 > 춘계 > 하계 순이고 노선별로는 1호선 > 2호선 > 3호선 > 4호선 순으로 나타났다.

Table 15. Measurement results of VOCs concentration train inside of Metro

VOCs ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Peak time				Non-peak time			
		Spring	Summer	Winter	Mean	Spring	Summer	Winter	Mean
Benzene	Line 1	2.3	1.5	5.0	2.9	2.3	2.4	5.3	3.3
	Line 2	2.5	1.1	4.4	2.7	2.4	1.3	4.5	2.7
	Line 3	3.0	1.2	4.3	2.8	2.5	3.2	4.0	3.2
	Line 4	2.4	1.9	4.6	3.0	2.7	0.6	3.9	2.4
	Mean	2.5	1.4	4.6		2.5	1.9	4.4	
Toluene	Line 1	30.7	8.0	84.5	41.1	34.4	27.6	194.1	85.3
	Line 2	73.6	20.8	56.0	50.1	45.7	27.8	39.7	37.7
	Line 3	32.4	15.1	52.6	33.3	18.8	14.7	99.3	44.3
	Line 4	29.8	9.2	33.7	24.2	26.3	9.3	33.3	23.0
	Mean	41.6	13.3	56.7		31.3	19.8	91.6	
Ethylbenzene	Line 1	5.9	4.9	18.5	9.8	6.1	14.2	23.1	14.5
	Line 2	2.2	4.5	5.3	4.0	3.5	6.2	7.8	5.8
	Line 3	3.0	3.7	7.5	4.7	1.5	3.5	9.9	4.9
	Line 4	9.5	7.2	4.8	7.1	5.5	6.8	5.2	5.8
	Mean	5.1	5.1	9.0		4.2	7.7	11.5	
Xylene	Line 1	6.2	5.7	16.2	9.4	4.5	15.1	22.0	13.9
	Line 2	2.4	4.9	5.0	4.1	3.6	7.0	8.0	6.2
	Line 3	2.9	5.2	8.3	5.5	1.6	5.5	9.3	5.5
	Line 4	7.3	6.9	6.1	6.8	4.5	6.9	6.3	5.9
	Mean	4.7	5.7	8.9		3.5	8.6	11.4	
Styrene	Line 1	0.4	0.9	3.7	1.7	0.4	6.3	2.2	3.0
	Line 2	0.8	1.0	0.6	0.8	0.9	1.7	0.6	1.1
	Line 3	0.8	2.5	1.0	1.4	0.5	3.4	0.7	1.5
	Line 4	1.4	2.9	1.3	1.8	0.8	1.4	0.6	0.9
	Mean	0.8	1.8	1.6		0.6	3.2	1.0	
TVOC	Line 1	420.5	93.4	682.0	398.6	428.1	283.1	1280.0	663.7
	Line 2	700.5	158.2	461.7	440.1	489.7	212.4	428.2	376.8
	Line 3	362.7	127.5	399.8	296.6	204.5	133.7	762.7	367.0
	Line 4	463.3	116.5	355.8	311.9	348.9	108.9	354.0	270.6
	Mean	486.7	123.9	474.8		367.8	184.5	706.3	

Table 16. Statistical result of VOCs

VOCs($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Benzene	Toluene	Ethyl-benzene	Styrene	Xylene	TVOC
전체(N=43)	2.9 ± 1.5	37.9 ± 37.3	6.6 ± 4.9	13.6 ± 8.9	1.6 ± 1.4	360.5 ± 278.7
평상시(N=13)	3.0 ± 1.3	46.5 ± 49.5	7.6 ± 5.6	1.5 ± 1.7	15.5 ± 10.8	391.8 ± 290.1
혼잡시(N=30)	2.9 ± 1.6	34.2 ± 30.9	6.2 ± 4.6	3.7 ± 2.2	12.8 ± 8.1	347.0 ± 277.2
아침혼잡(N=16)	3.1 ± 1.5	25.5 ± 22.0	4.9 ± 2.7	1.7 ± 1.5	9.7 ± 4.5	275.1 ± 214.1
저녁혼잡(N=14)	2.8 ± 1.7	44.1 ± 37.1	7.7 ± 5.8	1.4 ± 1.0	16.3 ± 9.9	429.2 ± 323.9

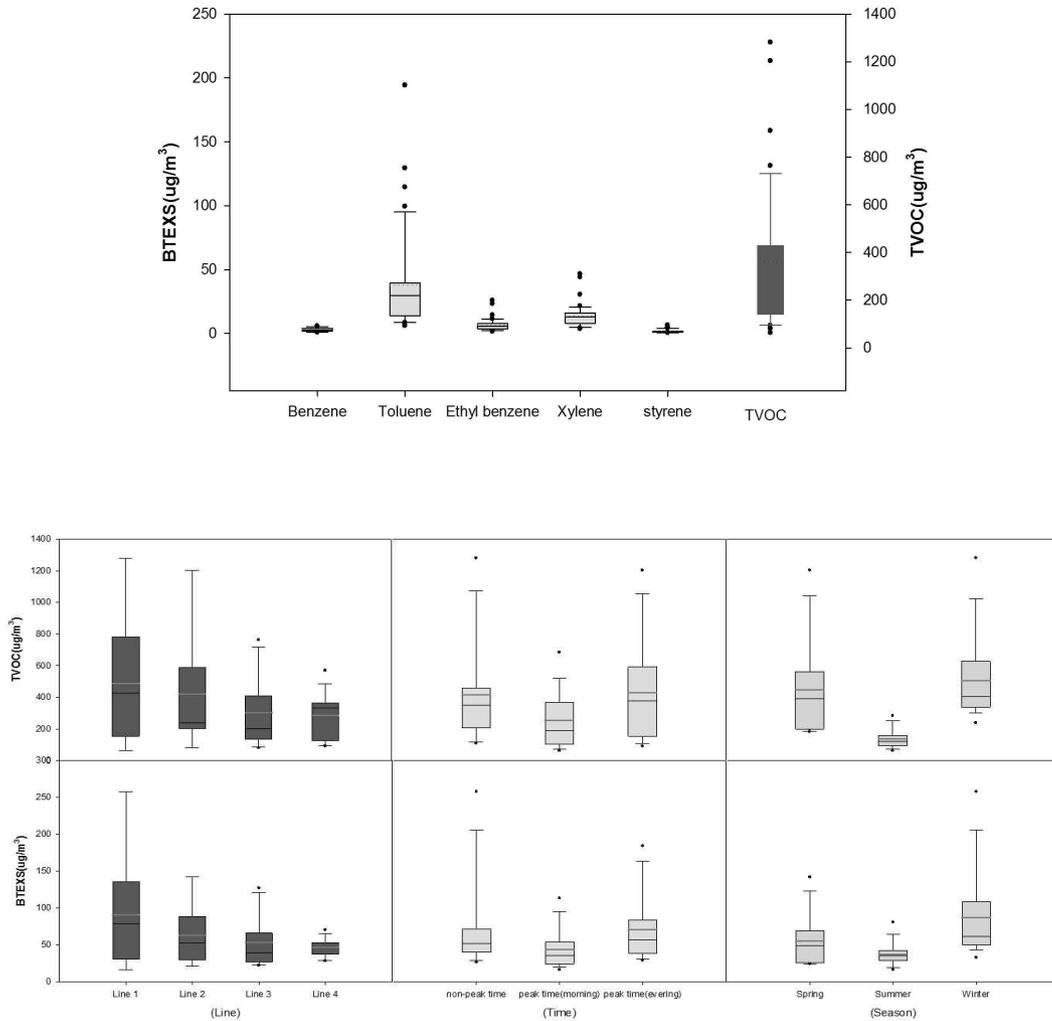


Fig. 10. Concentration distribution of VOCs.

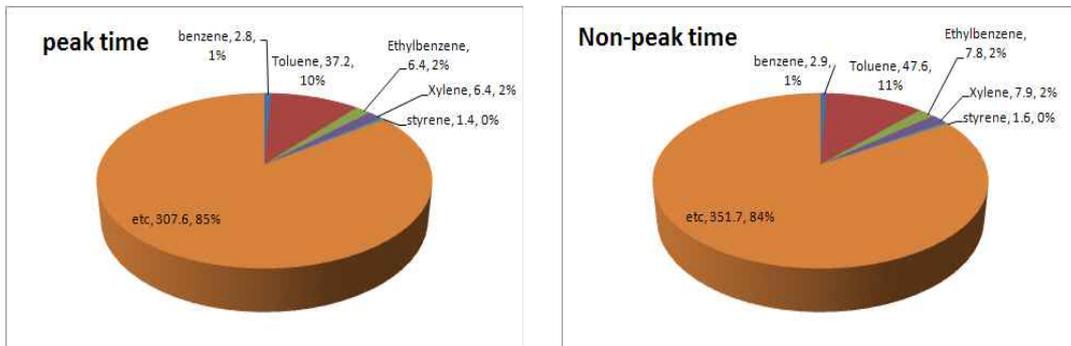


Fig. 11. Measurement results of VOCs concentration inside of Metro.

결론 및 제언

본 연구는 다중이용시설관리법상 다중이용시설에 포함되지 않기 때문에 체계적인 관리의 어려움이 있는 도시철도 객차내의 실내공기질 특성을 파악하고 쾌적한 도시철도내의 실내공기질유지하기 위한 관리방안을 제시하기 위하여 도시철도 전노선 객차에 대하여 춘계, 하계, 동계에 평상시와 아침 및 저녁 혼잡시로 구분하여 PM10 등 오염물질을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 도시철도 전노선에 대한 PM10과 CO₂농도 측정결과 대중교통수단 실내공기질 가이드라인에서 정한 도시철도내의 공기질 권고기준이내인 것으로 나타났다.
2. 전노선 중에 1호선의 PM10 농도가 계절별, 시간대별로 가장 높은 것으로 나타났는데 이는 1호선이 객차당 이용승객수가 많아 전동차내 오염도의 증가와 노면이 자갈도상으로 정차시 콘크리트 도상인 타노선에 비해 승강장으로부터 높은 PM10 농도의 유입 등으로 타노선에 비해 높게 나타난 것으로 보인다.
3. 전노선 중에는 1호선의 CO₂ 농도가 가장 높은 것으로 나타났으며 다음으로는 3호선 > 2호선 > 4호선 순으로 나타났고 계절별로는 동계 > 춘계 > 하계 순으로 조사되었고 시간대별로는 전노선에서 혼잡시가 평상시보다 높게 나타났다. 한편 CO₂와 승객수와의 사이에는 대부분노선에서 높은 양의 상관관계($r=0.74\sim 0.94$)를 보였다.
4. 1호선 CO₂ 측정결과 중에 CO₂ 농도가 가장 높게 나타난 혼잡시 일부구간과 평상시의 다수 구간에서 도시철도내 CO₂ 권고기준에 근접 하는 것으로 나타났는데 이는 전동차내 외부순환 시설이 없어 승객수의 증가와

사고, 고장 등 원인으로 전동차운행이 지연될 때는 CO₂ 농도는 높아 질 수밖에 없는 구조이다. 따라서 CO₂ 농도를 일정수준으로 유지하여 쾌적한 실내 공기질을 유지하기 위해서는 CO₂ 농도가 높은 일부구간에 대해서는 환기를 위해 정차시간을 조정하거나 전동차의 교체시나 신규 도입시 CO₂ 농도와 연계하여 자동환기가 가능한 시스템의 도입 등이 필요할 것으로 사료된다.

5. 총부유세균의 농도는 196~680 CFU/m³으로 다중이용시설 실내공기질 유지기준인 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 적용하면 모두 기준이내 인 것으로 나타났고 HCHO도 0.2~21.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 다중이용시설 실내공기질 유지기준인 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비해 낮은 수준인 것으로 나타났다.
6. VOCs 측정결과 1호선이 가장 높게 나타났고 계절별로는 동계가 가장 높았고 BTEXS 중에는 Toulene의 농도가 가장 높은 것으로 조사되었다. TVOC의 전체평균 농도는 360.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다.

참고문헌

1. 환경부, 지하철 등 대중운송수단의 실내공기질 실태조사 및 관리방안(2006).
2. 부산광역시, 2010년 승객통행량 조사결과(2011).
3. 환경부, 다중이용시설등의 실내공기질 관리법(2011).
4. 부산교통공사홈페이지(<http://www.humetro.busan.kr>).
5. 환경부, 대중교통수단 실내공기질 관리 가이드라인(2006).
6. 환경부, 대중교통수단 실내공기질 측정방법(2006).
7. 환경부, 실내공기질 공정시험기준(2010).