

지하역사 공기질 조사

○ 지하역사의 공기질을 자동으로 측정하고 공기질 상태를 실시간으로 제공하여 지하역사를 이용하는 시민 건강과 안전을 보호하고 실내공기질 관리와 개선 방안을 모색하기 위함

1. 조사개요

- 조사기간 : 2024년 1월 ~ 12월(연중 24시간 연속 측정)
- 조사대상 : 91개 지하역사 104개 지점(승강장 91개소, 대합실 13개소)
- 조사항목 : PM-2.5(104개소), PM-10(7개소), CO₂(15개소), NO₂(7개소), CO(5개소), HCHO(3개소)
- 측정데이터는 현장 디스플레이 표출 및 온라인 송출

표 1. 지하역사 공기질 측정망 운영 현황

항 목	기 준	측정법	측정빈도	측정지점수		
				총계	승강장	대합실
초미세먼지(PM-2.5)	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	베타산흡수법	1회/1시간	104	91	13
미세먼지(PM-10)	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$			7	2	5
이산화탄소(CO ₂)	1,000 ppm	비분산적외선법	1회/5분	15	2	13
이산화질소(NO ₂)	0.1 ppm	화학발광법		7	2	5
일산화탄소(CO)	10(부산:7) ppm	비분산적외선법		5	1	4
폼알데하이드(HCHO)	100 (부산:90) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	액체크로마토그래프법		3	-	3

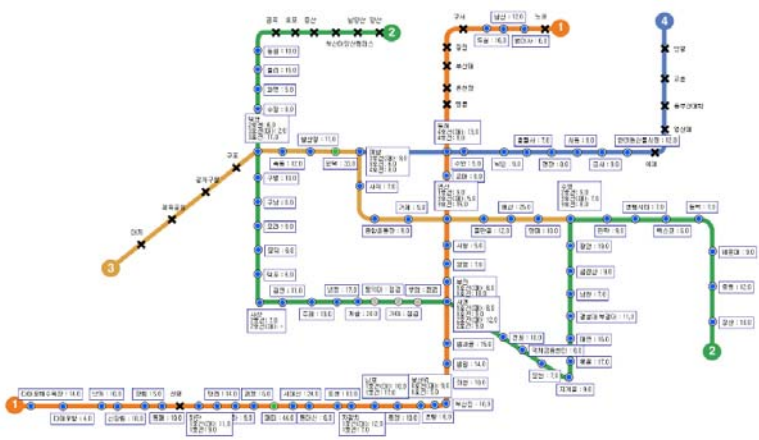


그림 1. 지하역사 공기질 측정망 설치지점 및 측정기

2. 조사결과

□ 지하역사 공기질 개요

- PM-2.5는 2024년 평균 $17.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 유지기준의 35%로 2023년 평균($17.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$)과 유사
- PM-10은 2024년 평균 $27.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 유지기준의 27%로 2023년 평균($28.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 감소
 - 역사 공기여과장치 및 공기정화설비의 PM-10 제거 효과로 일반 대기 PM-10($28.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 오염도 낮음
- CO₂는 2024년 평균 513 ppm으로 유지기준의 약 51%로 2023년 평균(514 ppm)과 유사
 - 도시철도 이용 인원은 약간 증가하였으나 CO₂ 증가는 없음
 - ↳ 도시철도 수송 인원 : 2022년(285백만), 2023년(304백만), 2024년(315백만)
- NO₂는 2024년 평균 0.024 ppm으로 권고기준의 약 24%로 일반대기 평균(0.018 ppm)보다 약간 높음
 - ↳ 도로변에서 유입되는 자동차 배출가스 영향으로 추정
- CO는 2024년 평균 0.4 ppm으로 유지기준(부산시)의 6%
- HCHO는 2024년 평균 $1.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 유지기준(부산시)의 2%

표 2. 2024년 지하역사 공기질 평균 농도

[단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM-2.5, PM-10, HCHO), ppm(CO₂, NO₂, CO)]

항목	유지기준 (권고기준)	측 정 지점수	지하역사			일반대기*		
			2024년	2023년	2022년	2024년	2023년	2022년
PM-2.5	50 이하	104 개소	17.4	17.6	16.7	14.1	16.4	15.8
PM-10	100 이하	7 개소	27.0	28.4	28.8	28.0	33.3	28.0
CO ₂	1,000 이하	15 개소	513	514	495	-	-	-
NO ₂	(0.1 이하)	7 개소	0.024	0.028	0.028	0.018	0.019	0.018
CO	7 이하	5 개소	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3
HCHO	90 이하	3 개소	1.8	1.3	2.1	-	-	-

* 일반대기의 PM-2.5 : 지하역사 주변 대기환경측정소 21개소 평균농도

일반대기의 PM-10, NO₂, CO : 측정기기가 설치된 지하역사 주변 대기환경측정소 4개소 평균농도

CO, HCHO 기준 : 부산시 조례에 의한 유지기준 표시, 그 외 항목 : 국가 기준과 부산시 기준 동일

지하역사 HCHO : 1~7월 평균값(장비 노후로 8월 이후 측정 중단, 수동측정으로 전환)

□ 지하역사 PM-2.5 세부내역(2024년)

- 연도별 PM-2.5 농도 변화(2021년~2024년)
 - 2021년 ~ 2024년 기간 동안 연평균 $16.7 \sim 18.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 범위
 - PM-2.5 지하역사/일반대기 비는 1.1 ~ 1.2 (일반대기의 106 ~ 123%)
- 2024년 월별 PM-2.5 농도 변화
 - 4월에 $20.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 최대, 7월에 $11.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 최소
 - : 4월 중 일반대기 PM-2.5 농도 증가(월평균 : $21.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 영향
 - 7월 이후 일반대기와 지하역사 PM-2.5 농도 격차 증가
 - : 환기량 감소(스마트환기설비 운용)로 일반대기질의 실내 영향 감소

【부산도시철도 스마트 환기 설비 운용】

- 목 적 : 에너지 절감을 통한 탄소중립 정책 기여
- 시행시기 : 2024. 7. 22.부터 순차적 시행(부산교통공사)
- 방 법 : ① 대기질 양호 시 환기 감소(8~19시간/일 → 4시간/일)
 ※ 환기시간 : 7시~9시 및 17시~19시 (공기질 악화 시 추가 환기)
 ② PM-2.5 자동측정 데이터 등에 따른 탄력적 환기 실시
 : 환기시설 가동($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 및 정지($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 조건 설정 등

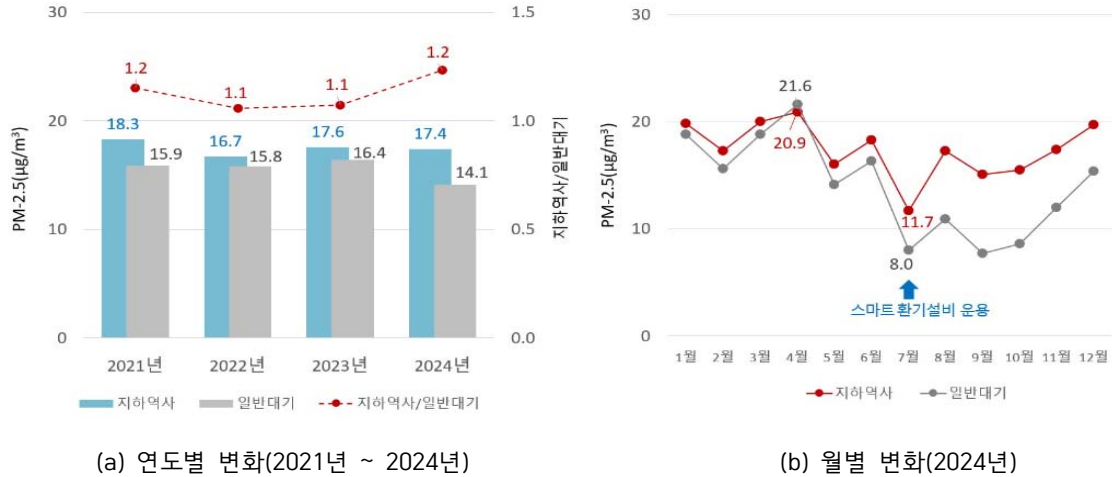


그림 2. 지하역사 PM-2.5 연도별, 월별 변화

○ 시간대별 PM-2.5 농도 변화

- 1호선은 9시 이후 $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 내외로 큰 변동 없이 지속됨
- 2, 3호선은 환기 시간(7시~9시, 17시~19시)에 PM-2.5 농도가 감소하며, 그 외 시간에는 불규칙하게 변동
 ⇨ 1호선보다 환기량이 적어 변동 큼, 1호선 32개 역사 중 14개 역사는 8~16시간 환기, 나머지 역사는 4시간 환기
- 4호선은 상대적으로 낮고 안정적인 PM-2.5 농도를 나타냄

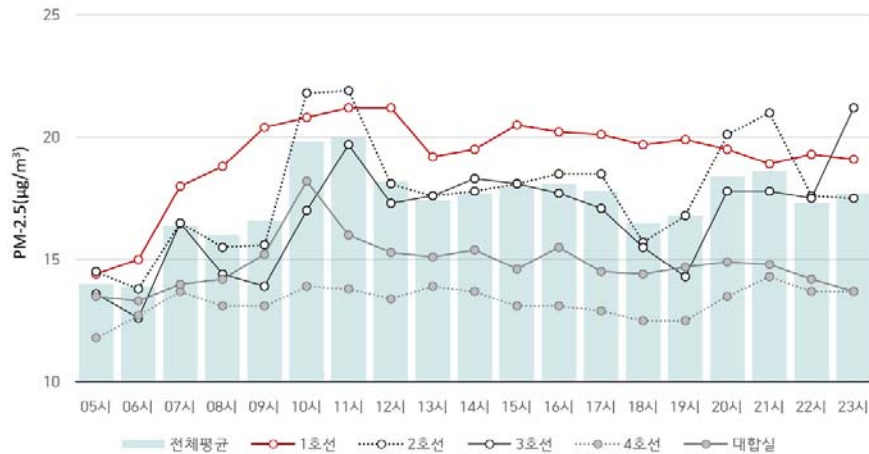


그림 3. 지하역사 PM-2.5 시간평균(2024년)

○ 호선별 PM-2.5 농도

- 1호선이 PM-2.5 평균 $19.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 오염도 높음
: 1호선은 열차 운행량과 이용 승객이 가장 많으며, 자갈도상 등으로 인한 터널 내부 오염에도 가장 취약
- 1호선(19.1) > 2호선(17.9) > 3호선(17.5) > 대합실(14.8) > 4호선(13.2) 순서의 평균값 나타냄

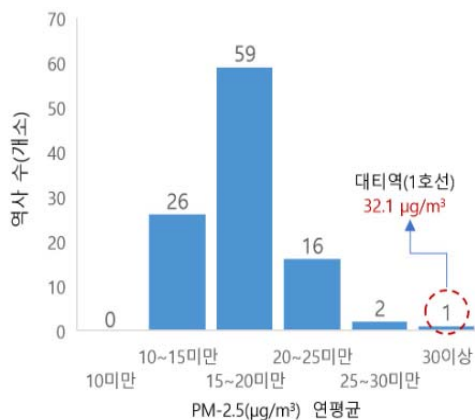
표 3. 지하역사 호선별 PM-2.5 평균농도(2022년~2024년)

[단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$]

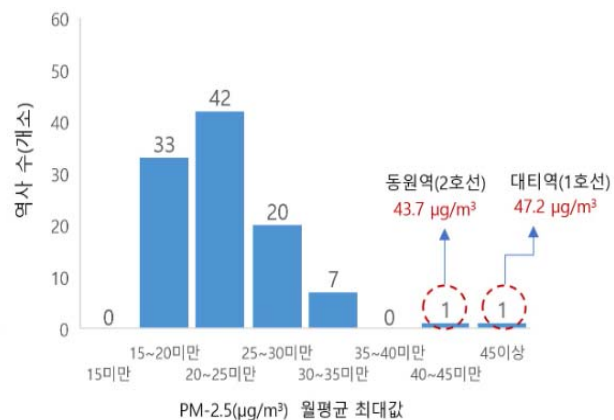
구분	승강장				대합실 (13개소)
	1호선 (32개소)	2호선 (37개소)	3호선 (13개소)	4호선 (9개소)	
2024년	19.1	17.9	17.5	13.2	14.8
2023년	20.1	17.0	16.8	14.8	16.4
2022년	18.7	16.2	15.9	14.3	15.7

○ 측정지점(역사 104개 지점) PM-2.5 농도 분포

- 연평균은 $11.6 \sim 32.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 월평균 최대값은 $15.7 \sim 47.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 범위
- 연평균 $15 \sim 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 지점이 전체 104개 중 59개(57%)로 가장 많음
- 월평균 최대값은 $20 \sim 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 지점이 전체 104개 중 42개(40%), $15 \sim 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 지점이 33개(32%)의 순서를 나타냄
- 1호선은 대티역이 연평균 $32.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 월평균 최대값 $47.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 오염도 높음
⇒ 자갈도상, 반밀폐식 스크린도어, 섬식승강장 등의 영향
- 2호선은 동원역이 연평균 $29.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 월평균 최대값 $43.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 오염도 높음
⇒ 동원역 승강장(반지하 구조)은 현재 기계식 환기시설이 미비, 오염 축적 경향 있음



(a) 연평균 분포



(b) 월평균 최대값 분포

그림 4. 지하역사 PM-2.5 농도별 역사 수 분포(2024년)

○ 지하역사 주요 공간별 PM-2.5

- 승강장($16.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > 대합실($14.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 순으로 터널 등 지하역사 내부오염 저감 필요

표 4. 지하역사 주요 공간별 PM-2.5 평균농도(2024년)

[단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$]

구 분	호선 평균	1호선	2호선	3호선	4호선
승강장	16.9	19.1	17.9	17.5	13.2
대합실	14.1	15.5	14.7	14.5	11.6

□ 지하역사 PM-2.5 영향인자

○ 대기질과의 상관관계

- 지하역사 PM-2.5 농도는 급기원인 일반대기 PM-2.5 농도와 유사
- 2024년 7월 이후 스마트 환기설비 운용에 따른 환기량 감소로 지하역사와 일반대기 PM-2.5 농도 격차 증대

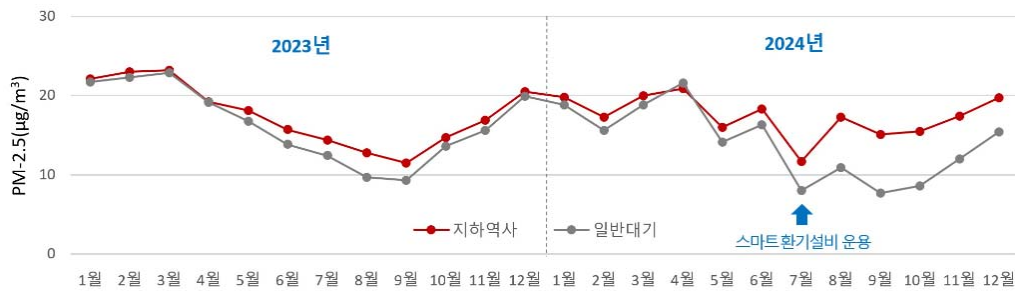


그림 5. 일반대기 및 지하역사 PM-2.5 변동(2023년 1월 ~ 2024년 12월)

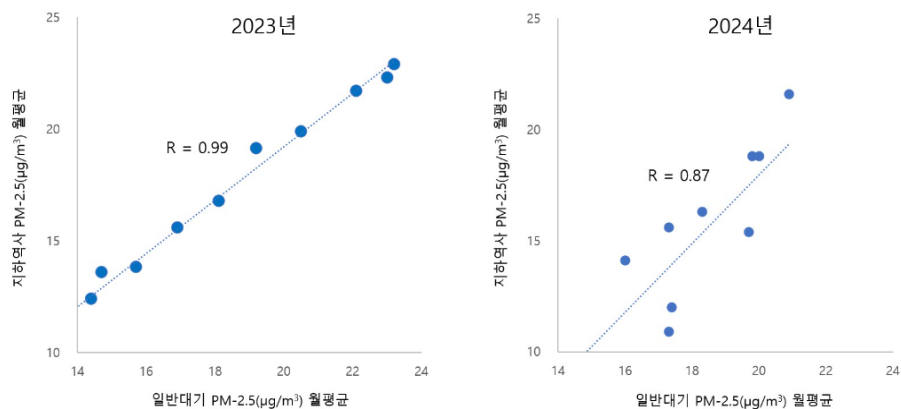


그림 6. 일반대기 및 지하역사 PM-2.5 월평균 상관관계

- 지하역사와 일반대기 PM-2.5의 상관계수는 2023년 0.99, 2024년 0.87로 상관성이 아주 높음
2024년에는 환기량 감소로 상관성이 다소 약해짐
- 환기량 감소 시 내부오염 기여도 증가 : 내부오염 관리 철저 필요

○ 역사 스크린도어, 도상에 따른 PM-2.5

- 스크린도어는 밀폐식 평균 $16.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 반밀폐식 평균 $18.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 밀폐식이 더 낮은 농도 보임
⇒ 밀폐식 스크린도어가 본선터널로부터 유입되는 PM-2.5 차단
- 도상별로는 콘크리트 도상이 평균 $17.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 자갈 도상이 평균 $19.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 콘크리트 도상이 더 낮은 농도 보임
- ※ 지하철 1호선에서 콘크리트 도상($20.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$)이 자갈 도상($18.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 PM-2.5 높음
⇒ 1호선 자갈도상 역사 26개 중 14개에서 환기시간 증가(8~16시간) 영향

표 5. 스크린도어 형태에 따른 승강장 PM-2.5 연평균(2024년)

[단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$]

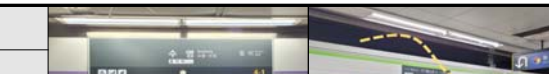
스크린도어 형태									
밀폐(39개소)					반밀폐(52개소)				
전체 평균	1호선 (13)	2호선 (4)	3호선 (13)	4호선 (9)	전체 평균	1호선 (19)	2호선 (33)		
16.4	17.8	15.3	17.5	13.2	18.9	20.0	18.2	밀폐식	반밀폐식

표 6. 도상 형태에 따른 승강장 PM-2.5 연평균(2024년)

[단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$]

도상 형태									
콘크리트(64개소)					자갈(27개소)				
전체 평균	1호선 (6)	2호선 (36)	3호선 (13)	4호선 (9)	전체 평균	1호선 (26)	2호선 (1)		
17.3	20.0	17.8	17.5	13.2	19.3	18.9	29.5		
								콘크리트 도상	자갈도상

□ 지하역사 CO₂ 분포 특성

- CO₂는 2024년 평균 514 ppm으로 유지기준의 약 51%
- 1호선 서면역(대합실)에서 연평균 609 ppm으로 최대였으며, 16시에 801 ppm으로 시간 최대농도를 보였음

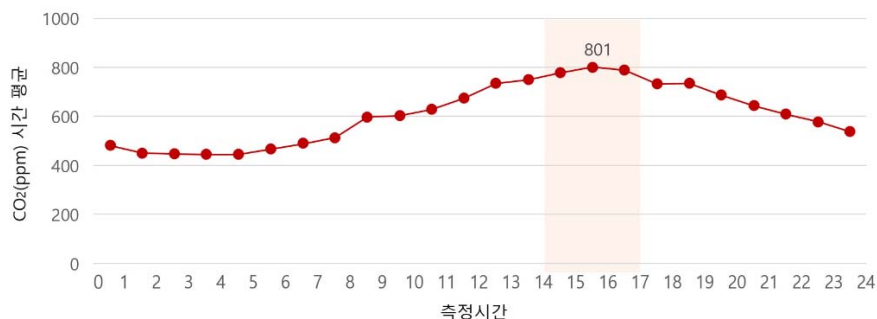


그림 7. 지하역사 1호선 서면역(대합실) PM-2.5 시간평균(2024년)

표 7. 지하역사 CO₂ 시간평균(2024년)

구분	승강장		대합실												
전체평균	서면(1)	서면(2)	하단(1)	자갈치(1)	남포(1)	부산역(1)	서면(1)	부전(1)	서면(2)	사상(2)	수영(3)	연산(3)	미남(3)	덕천(3)	동래(4)
514	540	556	485	494	516	521	609	500	542	523	465	507	462	472	504

□ 지하역사 HCHO 수동측정 결과

- 3개 대합실 총 9개 지점 하반기 총 2회 조사(*HCHO 자동측정망 폐쇄(2024.7.)에 따른 보완 조사)
- 평균 8.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 유지기준의 9% 수준의 낮은 농도를 보임
- 남포역 롯데백화점 앞이 평균 19.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 유지기준의 22% 수준으로 가장 높았음

표 8. 지하역사 HCHO 수동측정 결과(2024년 평균)

[단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$]

측정장소	세부지점	측정값 평균 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	대합실별 평균 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	전체평균
남포역(대합실)	공기질측정소 앞	10.1	13.2	8.1
	자갈치시장방면 1.3번 출구 앞	9.9		
	롯데백화점 광복점 앞	19.7		
서면역(대합실)	서면1호선 공기질측정소 앞	7.2	6.1	
	서면몰 지하상가 입구	5.5		
	서면2호선 공기질측정소 앞	5.7		
사상역(대합실)	역무실 앞	4.7	4.9	
	공기질측정소 앞	5.0		
	경전철 환승통로 앞	5.1		

□ 지하역사 실내공기질 조사강화를 위한 환승역 추가 조사 결과

- 조사대상 및 방법 : 7개 환승역 19개 지점에 대해 분기 1회 수동 측정 ⇨ TVOCs, NO₂, 부유곰팡이
- TVOCs 측정결과
 - 평균 31.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 권고기준(500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)의 6%로 낮게 조사됨
 - 대합실(37.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)이 승강장(28.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 다소 높았음

표 9. 지하역사 환승역 TVOCs 측정 결과(2024년 평균)

[단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$]

측정장소	서면역	연산역	동래역	덕천역	사상역	미남역	수영역	평균	전체 평균
대합실	24.1	40.3	13.7	50.9	46.1	51.3	33.9	37.2	31.8
승강장	20.8	32.0	18.3	45.6	28.3	19.3	31.3	28.7	

○ NO₂ 측정결과

- 평균 0.035 ppm으로 권고기준(0.1 ppm)의 35% 수준
- 역사 인근 대기측정소 평균(0.018 ppm)에 비해 다소 높음 ⇨ 도로 자동차 배기가스 등 유입 영향 추정, 급기구 및 통로로부터의 배기가스 지하역사 유입 감소 노력 필요

표 10. 지하역사 환승역 NO₂ 측정 결과(2024년 평균)

[단위 : ppm]

측정장소	서면역	연산역	동래역	덕천역	사상역	미남역	수영역	평균	전체 평균
대합실	0.028	0.034	0.049	0.031	0.029	0.047	0.035	0.036	0.035
승강장	0.030	0.034	0.046	0.043	0.024	0.032	0.031	0.034	

○ 부유곰팡이 측정결과

- 부유곰팡이는 평균 229 CFU/m³으로 다중이용시설 권고기준(500 CFU/m³)의 46% 수준으로 강우량이 많은 하절기에 증가 경향보임 ⇨ 분기별 평균 1분기(182), 2분기(252), 3분기(354), 4분기(129)

표 11. 지하역사 환승역 부유곰팡이 측정 결과(2024년 평균)

[단위 : CFU/m³]

측정장소	서면역	연산역	동래역	덕천역	사상역	미남역	수영역	평균	전체 평균
대합실	185	202	239	218	204	289	163	214	229
승강장	206	263	189	291	218	256	209	238	

※ 현재 지하역사 부유곰팡이 기준 없음

□ 2024년 지하역사 공기질 기준초과 현황

○ PM-2.5는 총 38,064건 중 127건(0.3%) 초과

- 2022년(288건), 2023년(426건)에 비해 감소 : 일반대기 PM-2.5 감소가 주요 원인
- 127건 초과 중 51건(40%)이 4월에 발생 : 4월 중 일반대기 초미세먼지 증가 영향

※ 초미세먼지 주의보 발령일 : 4/18~4/20

○ PM-10은 총 2,562건 중 8건(0.3%)이 기준 초과, 그 중 6건이 미세먼지 경보 시기(4/17~4/20)에 발생

○ CO₂는 총 131,760건 중 60건(0.05%)이 기준 초과, 그 중 53건이 1호선 서면역(대합실)에서 발생

: 이용객의 밀집에 따른 호흡량 증가가 주요 원인

○ NO₂, CO, HCHO 기준 초과는 없거나 극히 미미함

표 12. 지하역사 공기질 측정망 기준 초과 현황(2022~2024년)

항목	PM-2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO ₂ (ppm)	NO ₂ (ppm)	CO (ppm)	HCHO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
유지기준 (NO ₂ : 권고기준)	50	100	1,000	0.1	국가 10 부산 7	국가 100 부산 90
2022년	288(0.8%)	0	58(0.04%)	1(0.002%)	0	0
2023년	426(1.1%)	2(0.1%)	57(0.04%)	4(0.007%)	0	0
2024년	127(0.3%)	8(0.3%)	60(0.05%)	2(0.003%)	0	0

※ PM-2.5, PM-10 : 24시간 평균 기준, 나머지 : 1시간 평균 기준

표 13. PM-2.5 월별 및 호선별 기준초과 지점 현황(2024년)

구분	계	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1호선	65	12	4	9	27	3	1	0	1	0	2	3	3
2호선	50	0	11	4	19	1	0	0	1	0	3	0	11
3호선	7	1	2	0	0	0	1	0	0	0	2	1	0
4호선	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
대합실	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
합계	127	13	17	13	51	4	2	0	2	0	7	4	14
초과율(%)	0.3	0.4	0.6	0.4	1.6	0.1	0.1	0.0	0.06	0.00	0.22	0.13	0.43

※ 초미세먼지 주의보 발령일 : 4/18 ~ 4/20, 미세먼지 주의보 발령일 : 3/29, 4/17 ~ 4/20

미세먼지 경보 발령일 : 4/17 ~ 4/19

3. 타시도 비교

○ 지하역사 PM-2.5는 서울과 5대 광역시 비교 결과 부산이 가장 양호

- 부산(17.2) > 광주(21.9) > 대전(22.7) > 인천(24.1) > 대구(27.6) > 서울(34.1) 순
(2024.1. ~ 2024.11월 평균)

○ 대기질과의 상대적인 값(지하역사/일반대기)을 비교해도 부산이 가장 양호

- 부산(1.2) > 인천(1.3) > 광주, 대전(1.6) > 대구(1.9) > 서울(2.0) 순
: 대기질뿐만 아니라 지하역사 내부오염원 관리도 부산이 가장 양호

※ 타시도 자료원 : 에어코리아 및 실내공기질종합정보망 공개자료

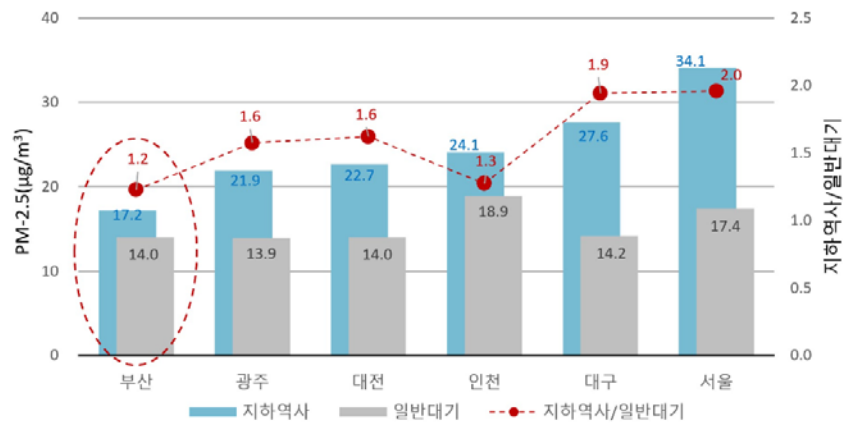


그림 8. 지하역사 PM-2.5 타시도 비교(2024.1~2024.11 평균)

4. 개선방안

□ 환기시스템 관리 강화

- 노후 공기여과장치(필터) 교체 등 공기정화시설 개선
- 일반대기질과 실내공기질이 연동된 최적 환기조건 모색

□ 본선 터널 공기질 개선

- 자갈도상을 콘크리트 도상으로 순차적 교체
- 터널 보수 및 차량 운행에 미세먼지 오염 저감 기법 등 도입, 터널 내 미세먼지 제거 차량과 친환경 보수 차량 보급
- 터널 내부 물청소 빈도 증대

□ 지하역사 시설 보완

- 밀폐식 스크린 도어 확보 ⇨ 대티역 등 오염도 높은 역사 우선 설치
- 환기시설 보완 ⇨ 동원역 등 환기 부족 역사에 기계식 환기 추가 확보

5. 활용방안

- 조사결과를 통한 관계기관 협업으로 실내공기질 개선 방안 연구

6. 기대효과

- 지하역사 공기질 측정망 결과 공개를 통한 실내공기질 오염 신속 대처
- 부산교통공사와의 결과 공유를 통한 지하역사 실내공기질 개선 유도

[참고] 지하역사 공기질 측정망 운영현황

호선별	측정항목	설치지점	(설치년도) 역사명
1호선	PM-10, PM-2.5, CO ₂ , NO ₂ , CO, HCHO	대합실	(2011)남포
	PM-10, PM-2.5, CO ₂ , NO ₂	대합실 승강장	(2020)서면
	PM-2.5, CO ₂	대합실	(2020)하단, 자갈치, 부산역, 부전
	PM-2.5	승강장	(2019)다대포해수욕장, 다대포항, 낮개, 신장림, 장림, 동매, 하단, 당리, 사하, 괴정, 대티, 서대신, 동대신, 토성, 자갈치, 남포, 중앙, 부산역, 초량, 부산진, 좌천, 범일, 범내골, 부전, 양정, 시청, 연산, 교대, 두실, 남산, 범어사
2호선	PM-10, PM-2.5, CO ₂ , NO ₂ , CO, HCHO	대합실	(2011)사상, (2013)서면
	PM-10, PM-2.5, CO ₂ , NO ₂ , CO	승강장	(2013)서면
	PM-2.5	승강장	(2019)장산, 중동, 해운대, 동백, 벅스코, 센텀시티, 민락, 수영, 광안, 금련산, 남천, 경성대부경대, 대연, 못골, 지게골, 문현, 국제금융센터, 전포, 부암, 가야, 동의대, 개금, 냉정, 주례, 감전, 사상, 덕포, 모덕, 모라, 구남, 구명, 덕천, 수정, 화명, 울리, 동원
3호선	PM-2.5, CO ₂	대합실	(2019)수영, 연산, 미남, 덕천
	PM-2.5	승강장	(2019)거제, 종합운동장, 사직, 미남 (2020)덕천, 숙등, 남산정, 만덕, 연산, 물만골, 배산, 망미, 수영
4호선	PM-10, PM-2.5, CO ₂ , NO ₂ , CO	대합실	(2014)동래
	PM-2.5	승강장	(2019)동래, 수안, 충렬사, 명장 (2020)반여농산물시장, 금사, 서동, 낙민, 미남