

지하역사 공기질 조사

- 지하역사 공기질 측정망 운영을 통한 역사 공기질 상태 파악
- 시민 및 관계기관에 지하역사 실내공기질 정보 제공 및 시민 건강을 위한 개선과제 모색

1. 조사개요

- 조사근거 : 실내공기질 관리법 제4조의 7(측정기기의 부착 및 운영·관리 등)
- 조사기간 : 2023. 1. 1일 ~ 12. 31일(연중 24시간 연속 측정)
- 조사지점 : 91개 지하역사 104개 지점(승강장 91, 대합실 13)
- 조사항목 : PM-2.5(104개 지점), PM-10(7), CO₂(15), NO₂(7), CO(5), HCHO(3)
 - 측정 데이터 현장 디스플레이 표출 및 온라인 송출

표 1. 지하역사 공기질 측정망 운영 현황

항목	기준	측정법	측정빈도	측정지점수		
				총계	승강장	대합실
초미세먼지(PM-2.5)	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	베타선 흡수법	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	화학 발광법		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

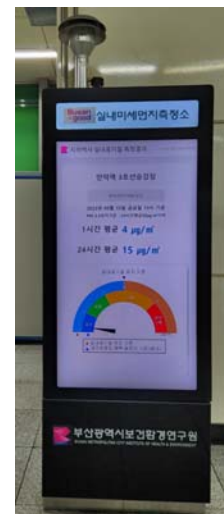
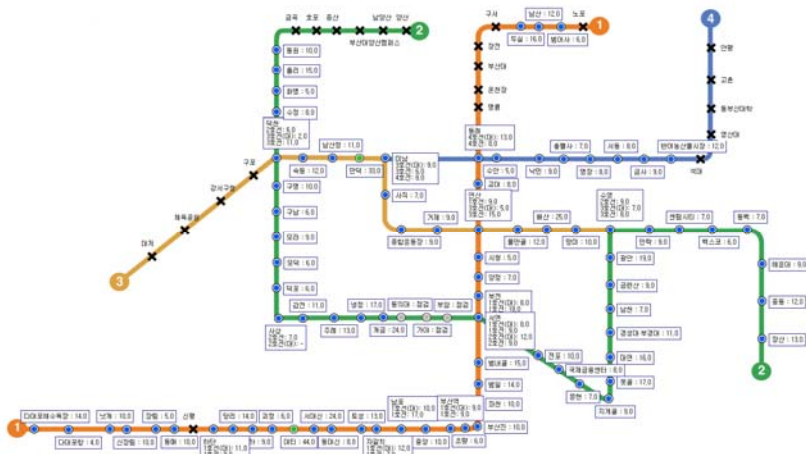


그림 1. 지하역사 공기질 측정망 설치지점 및 측정기

담당부서 : 미세먼지안전팀(☎051-309-2790)
 팀장 : 정현철, 담당자 : 손정원

2. 조사결과

□ 지하역사 공기질 개요

- PM-2.5는 2023년 평균 17.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 유지기준의 약 35 %
 - 2022년 평균(16.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 약간 증가 : 일반대기 PM-2.5 증가(2022년 : 15.8 → 2023년 : 16.4) 영향
- PM-10은 2023년 평균 28.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 유지기준의 약 28 %
 - 일반대기 PM-10(33.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 오염도 낮음 : 공기여과장치 및 역사 공기정화설비의 PM-10 제거 효과
- CO₂는 2023년 평균 514 ppm으로 유지기준의 약 51 %
 - 2022년 평균(495 ppm)보다 약간 증가 : COVID-19 사태 완화로 도시철도 이용 인원 증가 영향
 - ※ 도시철도 수송 인원 : 2021년(254백만명), 2022년(285백만명), 2023년(304백만명)
- NO₂는 2023년 평균 0.028 ppm으로 권고기준의 약 28 %
 - 일반대기 평균(0.019 ppm)보다 약간 높음 : 도로변에서 직접 흡입되는 자동차 배출가스 영향으로 추정
- CO는 2023년 평균 0.4 ppm으로 유지기준(부산시)의 6 %
- HCHO는 2023년 평균 1.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 유지기준(부산시)의 1 %

표 2. 2023년 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*		
			2023년	2022년	2021년	2023년	2022년	2021년
PM-2.5	50 이하	104 개소	17.6	16.7	18.3	16.4	15.8	15.9
PM-10	100 이하	7 개소	28.4	28.8	30.9	33.3	28.0	34.0
CO ₂	1,000 이하	15 개소	514	495	489	-	-	-
NO ₂	(0.1 이하)	7 개소	0.028	0.028	0.029	0.019	0.018	0.019
CO	7 이하	5 개소	0.4	0.4	0.5	0.4	0.3	0.4
HCHO	90 이하	3 개소	1.3	2.1	1.9	-	-	-

* 일반대기의 PM-2.5 : 지하역사 주변 대기환경측정소 19개소 평균농도

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

□ 지하역사 PM-2.5 월평균

- 2021~2023년 동안 1~3월에 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상의 고농도를 보이다가 이후 점차 감소한 후 9월 이후 다시 증가하는 패턴 반복
- 2023년에는 3월에 최대(23.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 9월에 최소(11.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

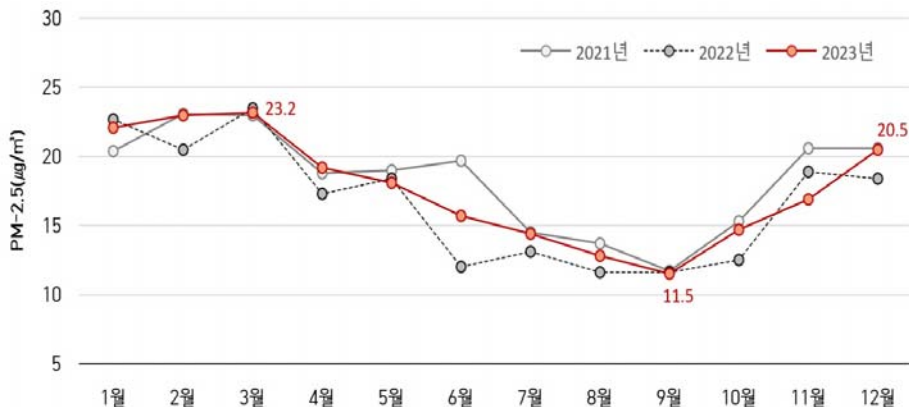


그림 2. 지하역사 PM-2.5 월평균 변동

○ 지하역사 PM-2.5는 일반대기 PM-2.5에 큰 영향 받음

- 지하역사와 일반대기 PM-2.5 측정 자료(2022~2023, 월평균)의 상관성
: 상관계수(r^2) 0.9728의 아주 큰 상관관계를 나타냄

- 1~4월 대기 중의 초미세먼지 증가에 따라 지하역사 PM-2.5도 상승

※ 2023년 대기 초미세먼지 주의보 발령일 : 1/5~1/7, 3/30~3/31, 4/7, 4/21~4/23, 12/7

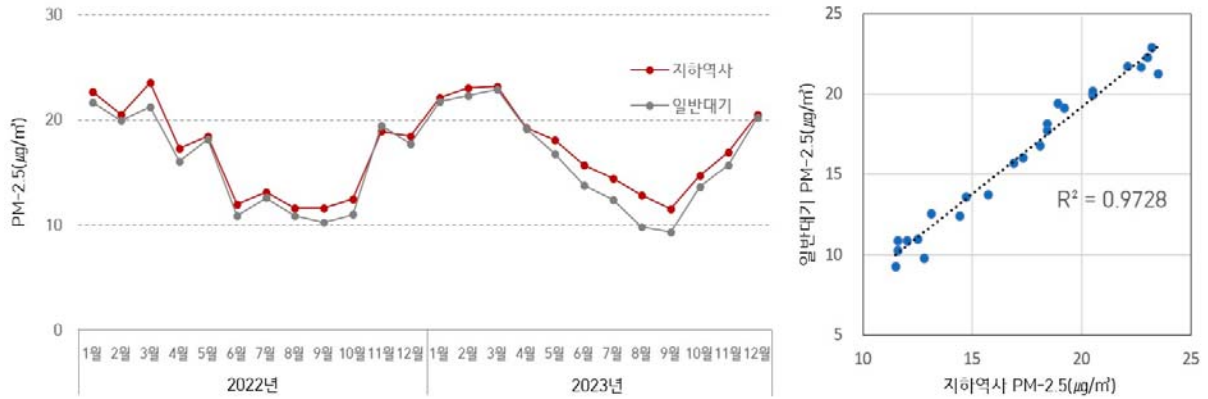


그림 3. 지하역사와 일반대기 PM-2.5의 관계(2022~2023, 월평균)
(일반대기 자료는 지하역사 인근 19개 대기환경측정소에 측정한 평균 농도)

□ 지하역사 공기질 시간평균

○ PM-2.5(초미세먼지)

- 9시~12시, 18시~20시에서 약간의 PM-2.5 농도 증가가 관찰됨

- 특히 1호선 역사에서, 9시~12시, 18시~20시에서의 PM-2.5 농도 증가가 두드러짐

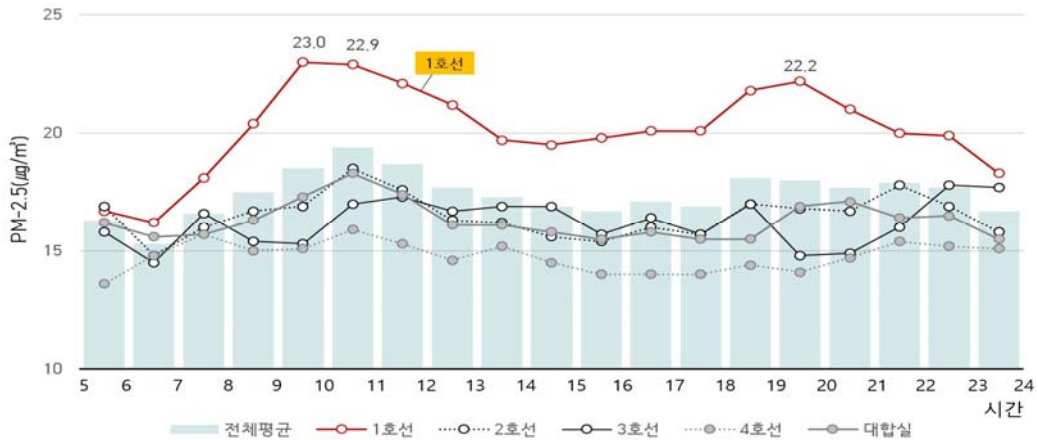


그림 4. 2023년 지하역사 호선별 PM-2.5 시간평균 변동

○ CO₂(이산화탄소)

- CO₂ 농도는 18~19시에 전체 평균 600 ppm으로 가장 높음

- 특히 18~19시경 2호선 서면역 승강장, 대합실이 각각 767 ppm, 689 ppm,
1호선 서면역 대합실은 816 ppm으로 CO₂ 농도가 높음

→ 오후 18~19시경 서면역 일대 환기 증대 필요

표 3. 2023년 지하역사 CO₂ 시간평균 변동

시간	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24	평균	
승강장	서면(1)	457	473	495	563	548	526	531	572	580	569	610	629	603	672	585	535	538	528	495	553
	서면(2)	471	518	504	649	619	527	532	666	674	563	702	705	586	767	632	530	596	567	499	595
대합실	하단	447	476	500	505	497	493	493	495	498	508	511	520	522	539	519	497	487	483	470	498
	자갈치	437	443	453	463	472	487	517	546	559	581	601	598	580	561	530	499	479	464	453	512
	남포	463	477	497	530	525	535	553	574	589	598	607	617	624	628	577	552	517	497	478	549
	부산역	442	461	478	527	541	548	563	567	582	559	580	595	608	618	599	557	526	507	479	544
	서면(1)	464	484	509	587	580	593	626	677	701	716	732	732	729	816	674	624	597	567	535	629
	부전	442	456	476	494	489	488	504	513	508	514	530	538	520	524	499	473	459	454	453	491
	서면(2)	445	465	484	558	583	578	602	679	672	661	710	716	680	689	614	561	546	531	497	593
	사상	464	494	521	537	540	528	524	546	536	532	555	556	559	624	539	516	519	504	486	531
	수영	473	489	500	518	513	509	508	503	503	508	506	510	529	531	515	500	498	499	489	505
	연산	453	470	490	529	518	508	519	519	514	513	515	519	532	532	504	494	491	486	473	504
	미남	451	467	479	495	485	469	462	455	460	457	464	468	477	485	474	465	461	457	454	468
	덕천	452	469	481	493	484	483	489	481	487	492	493	496	498	493	484	473	470	460	456	481
	동래	468	484	493	511	511	503	502	517	532	512	496	498	509	513	499	488	484	484	478	499
	평균	455	475	491	531	527	518	528	553	558	551	574	580	571	600	550	518	511	499	480	530

※ 이 표의 CO₂ 지점별 평균은 열차 운행시간인 5~24시까지의 평균값

□ 지하역사 호선별 PM-2.5

○ 1호선이 PM-2.5 2023년 평균 20.1 µg/m³으로 가장 오염도가 높음

- 열차운행량, 이용 승객이 1호선이 가장 많으며, 자갈도상 등으로 인한 내부오염 현상도 1호선이 가장 취약

○ 1호선(20.1) > 2호선(17.0) > 3호선(16.8) > 대합실(16.4) > 4호선(14.6) 순서로 PM-2.5 오염농도 나타냄

표 4. 지하역사 호선별 PM-2.5 평균농도

[단위 : µg/m³]

구분	승강장				대합실 (13개소)
	1호선(32개소)	2호선(37개소)	3호선(13개소)	4호선(9개소)	
평균	20.2	16.6	16.7	14.6	16.3
2023년	20.1	17.0	16.8	14.8	16.4
2022년	18.7	16.2	15.9	14.3	15.7
2021년	21.9	16.7	17.4	14.8	16.9

□ 스크린도어, 도상에 따른 PM-2.5

○ 스크린도어별로는 밀폐식이 평균 16.4 µg/m³, 반밀폐식이 평균 18.9 µg/m³

○ 특히 1호선에서는 밀폐식이 17.5 µg/m³, 반밀폐식이 21.9 µg/m³으로 약 4.4 µg/m³의 다소 큰 차이를 나타냄

표 5. 스크린도어 형태에 따른 승강장 PM-2.5 연평균(2023년)

[단위 : µg/m³]

스크린도어 형태								밀폐식	반밀폐식
밀폐(39개소)				반밀폐(52개소)					
전체 평균	1호선 (13개소)	2호선 (4개소)	3호선 (13개소)	4호선 (9개소)	전체 평균	1호선 (19개소)	2호선 (33개소)		
16.4	17.5	15.3	16.9	14.8	18.9	21.9	17.2		

○ 도상별로는 콘크리트 도상이 평균 16.8µg/m³, 자갈도상이 평균 20.4µg/m³


표 6. 도상 형태에 따른 승강장 PM-2.5 평균(2023년)

[단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$]

도상 형태					
콘크리트(65개소)					자갈(26개소)
전체 평균	1호선 (6개소)	2호선 (37개소)	3호선 (13개소)	4호선 (9개소)	1호선 (26개소)
16.8	18.4	17.0	16.9	14.8	20.4



콘크리트 도상



자갈도상

□ 지하역사 PM-2.5 I/O ratio¹⁾

- I/O ratio 평균값은 1호선에서 1.2로 최대, 4호선이 0.9로 최저
 - 실내공기질에 대한 내부오염 기여도는 1호선에서 가장 높음
 - 1호선 I/O ratio가 2021년 1.4에서 2023년 1.2로 개선되는 등, 2021년도에 비해서는 개선되었으며, 2022년도와는 유사
 - ※ 외기농도는 역사 주변 대기환경측정소 농도를 기준으로 하였음

- 월별 I/O ratio는 대기질이 개선된 8~9월에 증가 경향 보임
 - 특히 1호선의 8~9월 I/O ratio가 1.5까지 증가(외부 오염도 대비 내부오염이 두드러짐)

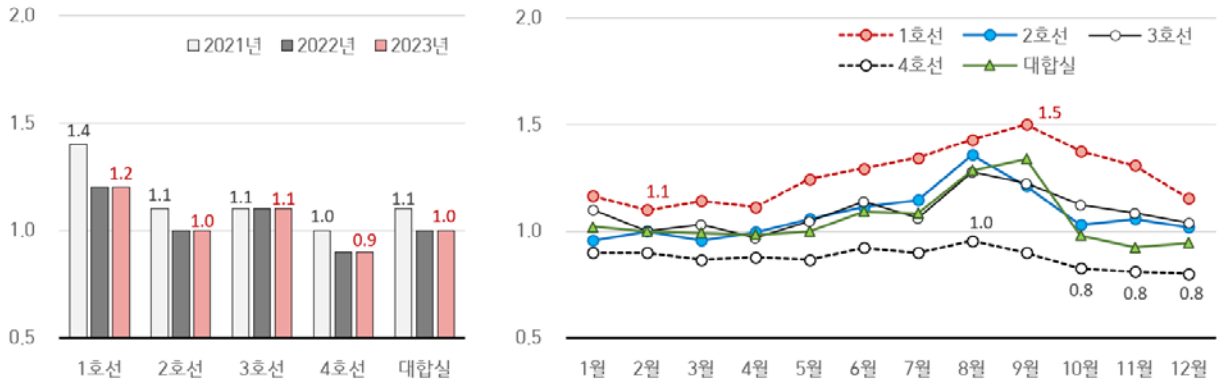


그림 5. 지하역사 호선별 PM-2.5 I/O ratio 연평균 및 월평균 변동(2021~2023년)

□ 지하역사별 PM-2.5(초미세먼지)의 월평균

- 1호선은 대티역에서 평균 $38.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 최대 $62.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 높음
 - 대티역은 자갈도상, 반밀폐식 스크린도어, 섬식 승강장 구조 및 2023. 5월까지 시행된 역사 내부 엘리베이터 설치공사로 내부오염 가중
- 2호선은 동원역에서 평균 $28.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 최대 $38.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 상대적으로 높은 값 관찰됨
 - 동원역 승강장은 반지하 구조로 자연환기에 의존하는 상태인데 현재 기계식 환기시설이 미비로 인해 내부오염 저감에 한계가 있음
- 3호선 배산역은 조사시기별 데이터의 편차가 매우 크게 관찰되어 공조시설 점검이 필요할 것으로 판단됨

1) I/O ratio : 외기 농도에 대한 실내공기 농도의 비율
(실내공기질 관리실태 평가지표, 1 이상인 경우 환기 및 실내공기질 관리 필요)

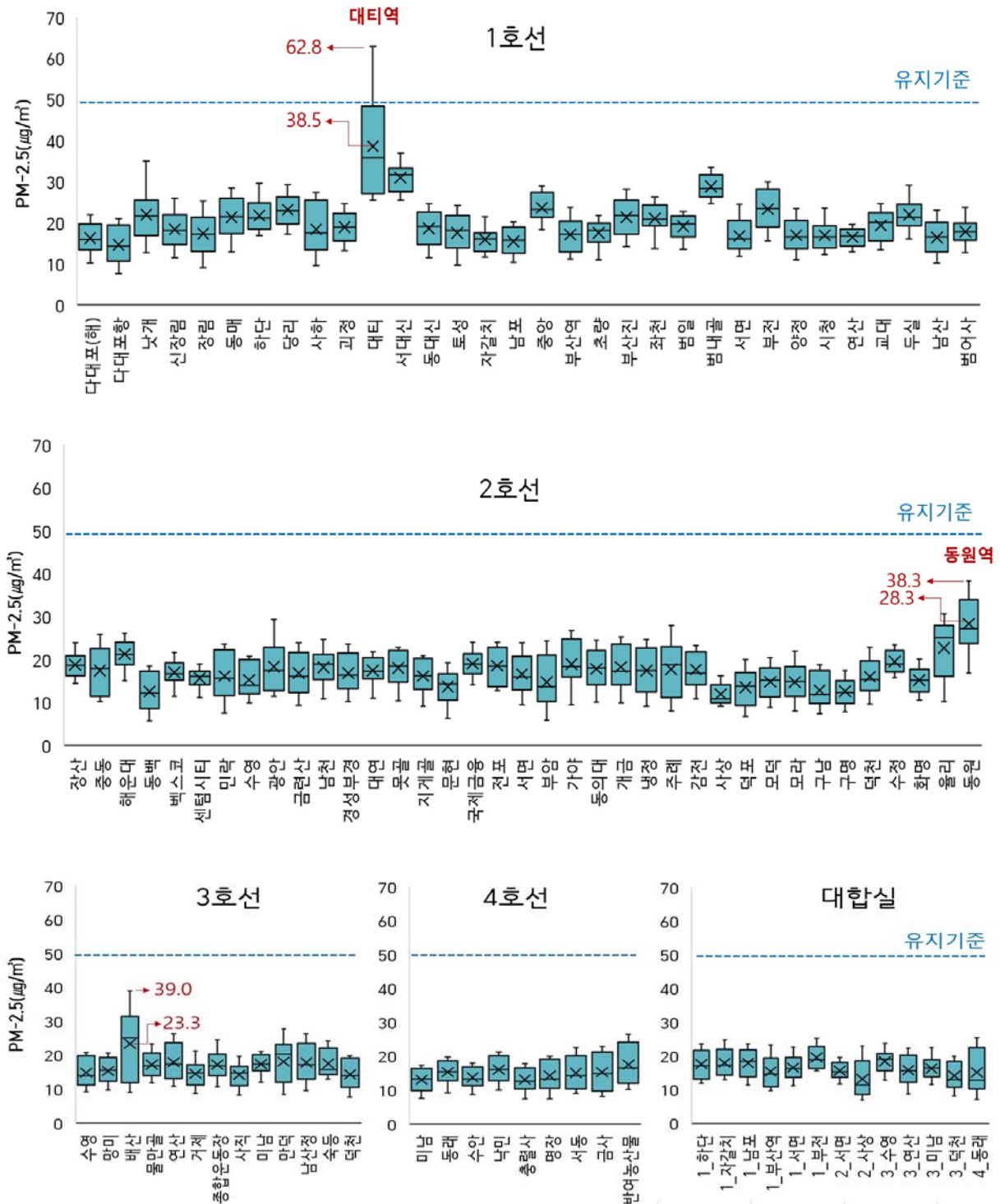


그림 6. 지하역사 조사지점별 2023년 PM-2.5 월평균 분포

□ 기준초과 현황

- PM-2.5는 총 37,960건 중 426건(1.1 %) 초과
 - 2021년의 338건(0.9 %), 2022년의 288건(0.8 %)에 비해 증가

- 총 426건 초과 중 229건(54 %)이 1호선 역사에서 발생
- 총 426건 초과 중 206건(48 %)이 1월 중에 발생
- : 1/5~1/7일 초미세먼지주의보 등 대기오염 악화, 1호선 대티역의 역사 내부 엘리베이터 설치공사 등으로 인한 영향

표 7. PM-2.5 월별 및 호선별 기준초과 현황

구분	계	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1호선	229	97	17	54	8	9	2	1	0	0	5	9	27
2호선	130	64	0	33	17	7	0	0	0	0	1	0	8
3호선	25	14	0	3	0	0	0	0	0	0	1	3	4
4호선	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
대합실	33	22	0	9	1	0	0	0	0	0	0	0	1
합계	426	206	17	99	26	16	2	1	0	0	7	12	40
초과율(%)	1.1	6.4	0.6	3.1	0.8	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	1.2

※ 초미세먼지 주의보 발령일 : 1/5~1/7, 3/30~3/31, 4/7, 4/21~4/23, 12/7

- 2021~2023년간의 기준초과율은 PM-2.5가 0.8~1.1 %로 가장 높았고, PM-10이 0.1~0.3 %를 나타냄
- CO₂, NO₂, CO, HCHO의 초과율은 모두 0.1 % 이하로 아주 낮음

표 8. 지하역사 실내공기질 조사항목별 기준초과 현황(2021~2023)

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
2021년	338(0.9%)	8(0.3%)	0	3(0.005%)	0	0
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

※ PM-2.5, PM-10(24시간 평균), 그 외(1시간 평균)

3. 타 시도 비교

- 지하역사 PM-2.5는 서울과 5대 광역시 비교 결과 부산이 가장 양호
 - 부산(17.4) > 광주(21.9) > 대전(24.8) > 대구(26.7) > 인천(29.4) > 서울(35.9) 순
(2023.1. ~ 2023.11월 평균)
- 대기질과의 상대적인 값(지하역사/대기)을 비교해도 부산이 가장 양호
 - 부산(1.1) > 광주(1.3) > 대전, 인천(1.4) > 대구(1.5) > 서울(1.8) 순



그림 7. 지하역사 PM-2.5 타시도 비교(2023.1~2023.11 평균)

※ 보고서 작성일 현재 12월 지하역사 공기질 전국 데이터 미확정

4. 개선대책

□ 지하역사 유입 공기질 개선

- 환기시설(급기구) 공기정화장치 효율 향상
 - 노후 공기여과장치(필터) 교체
 - PM-2.5 제거효율이 높은 공기여과장치(필터) 선정
- 환기시설 관리 철저
 - 환기구 이물질 투입 방지, 비둘기 등 야생동물 접근 차단, 급기구 인근 금연 계도

□ 효율적 환기시스템 구축

- 스마트 공기질 관리 시스템 도입
 - 역사 내·외부 오염도, 교통정보 등 빅데이터 분석 : 최적 공조시스템 운영
- 오염우려 구간, 오염우려 시간 중점 관리
 - 1호선 출·퇴근시간에 PM-2.5 증가 관찰됨 : 효율적인 환기시간 설정(1호선의 출·퇴근시간 환기 강화)
 - 서면역 일대 : 18:00~19:00 이산화탄소 증가 우려, 환기 증대

□ 지하역사 내부오염 저감

- 자갈도상 구간을 콘크리트 도상으로 점진적 교체
- 반밀폐식 스크린도어 설치 역사를 밀폐식 스크린도어로 교체
 - 1호선 반밀폐식 스크린도어 역사가 밀폐식보다 PM-2.5 농도가 4.4 µg/m³ 높음
→ 밀폐식 스크린도어로 교체 시 공기질 개선 체감 큼
- 역사 내부 공사 관리 철저
 - 오염물질의 역사내 확산 방지시설을 정밀하게 설치 필요
 - 공사 기간 중 환기량, 공기청정기 가동대수 및 가동시간 확대
- 터널 오염물질 관리 강화
 - 터널 내부 청소 빈도 증대, 친환경 터널 미세먼지 제거 차량과 보수 차량 보급

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

붙임 : 지하역사 공기질 측정망 운영현황 1부. 끝.

붙임 : 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, 총렬사, 명장 (2020)반여농산물시장, 금사, 서동, 낙민, 미남