

실내공기질 자동 측정망 운영결과

- 유동인구가 많은 지하역사 내 실내공기질을 적정하게 유지하기 위해 상시 모니터링하고, 과학적이고 효율적인 실내공기 관리로 시민의 건강보호 및 환경상 위해 예방

1. 조사 개요

- 조사기간 : 2012년 1월 1일 ~ 12월 31일
- 조사지점 및 항목
 - 수영역, 연산역, 미남역, 덕천역 : PM10, CO, CO₂, NO₂, O₃
 - 남포동역, 사상역 : PM10, CO, CO₂, NO₂, HCHO
 - 서면역 1호선 대합실 및 승강장 : PM10, PM2.5, CO, CO₂, NO₂
 - 서면역 2호선 대합실 및 승강장 : PM10

표 1. 실내공기질 자동측정망 현황

지 점		설치년도	최초설치	비 고
수영역 3호선 대합실		2006. 01. 01.	부산교통공사	연구원 이관('08. 6. 30.)
연산역 3호선 대합실		"	"	"
미남역 3호선 대합실		"	"	"
덕천역 3호선 대합실		"	"	"
남포동역 1호선 대합실		2011. 9. 1.	보건환경연구원	국비지원(40%)
사상역 2호선 대합실		"	"	"
서면역	1호선 대합실	2003. 12. 9.	부산교통공사	연구원 이관('08. 6. 30.)
		2010. 10. 1.	보건환경연구원	국비지원(40%) 항목 보강
	1호선 승강장	2003. 12. 9.	부산교통공사	연구원 이관('08. 6. 30.)
		2010. 10. 1.	보건환경연구원	국비지원(40%) 항목 보강
	2호선 대합실	2005. 7. 8.	부산교통공사	연구원 이관('08. 6. 30.)
	2호선 승강장	2005. 7. 8.	부산교통공사	"

※ 자료생성 주기는 대기오염측정망 설치운영지침에 따름.

2. 조사방법

표 2. 항목별 측정방법

측정항목	측정방법
PM10, PM2.5	베타선흡수법 (β -Ray Absorption Method)
CO	비분산적외선법 (Non-Dispersive Infrared Method)
CO ₂	비분산적외선법 (Non-Dispersive Infrared Method)
NO ₂	화학발광법 (Chemiluminescent Method)
O ₃	자외선광도법 (U.V. Photometric Method)

3. 조사결과

○ 년평균농도

- ▷ NO₂ 및 O₃ 농도는 전년과 비슷한 수준이며, CO 농도는 감소하였으나 PM10, CO₂ 농도는 증가하였음.
- ▷ PM10 농도는 도시대기와 도로변 평균농도보다 약간 높은 수준이며, NO₂ 농도는 도시대기 평균 농도보다 약 2배, 도로변과는 동일한 농도수준을 나타냄.
- ▷ CO 농도는 도시대기 평균 농도보다 약 2배, 도로변보다는 약간 높은 농도수준을 나타내었으며,
- ▷ O₃ 농도는 지하에서의 질소산화물의 광화학반응이 거의 일어나지 않아 도시대기 및 도로변 평균 농도에 비하여 훨씬 낮은 수준이었음.

표 3. 측정항목별 측정지점 전체의 년평균 농도

항목	유지(권고) 기준	실내공기질		도시대기	도로변
		2012년	2011년	2012년	2011년
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	150 이하	52	46	43	48
PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	-	33	28	29	-
CO (ppm)	10 이하	0.9	1.2	0.4	0.7
CO ₂ (ppm)	1,000 이하	532	517	-	-
NO ₂ (ppm)	0.05 이하	0.042	0.043	0.020	0.042
O ₃ (ppm)	0.06 이하	0.004	0.003	0.029	0.016
HCHO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ¹⁾	100 이하	6.2	4.0	-	-

¹⁾ HCHO는 2011. 9. 1.부터 남포동역 및 사상역 대합실 2개지점에 설치하여 정상가동하였음.

○ 지점별 년평균 농도

- ▷ 측정지점별 년평균 PM10과 NO₂ 농도는 남포역에서 $73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 0.045 ppm으로 가장 높았으며, CO 농도는 덕천역에서 1.6 ppm으로 가장 높았으며, CO₂ 농도는 서면역 1호선 대합실에서 628 ppm으로 가장 높았음.

- ▷ 또한 미남역 대합실에서 년평균 PM10농도가 약 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 낮았으며, CO 농도는 사상역과 남포역에서, CO₂ 농도는 미남역에서, NO₂ 농도는 사상역에서 가장 낮은 농도를 나타내었음.
- ▷ O₃ 농도는 0.003~0.004 ppm으로 지점별로 큰 차이는 없었으며, 권고기준인 0.06 ppm의 5.0~6.6% 수준으로 매우 미미한 수준이었음.
- ▷ 수영역과 덕천역의 경우 PM10농도는 전년대비 다소 증가하였고 CO와 NO₂ 농도는 소폭 감소 하였으며, O₃ 농도는 변화가 없었음.
- ▷ 연산역과 미남역의 경우는 PM10 과 NO₂ 농도는 전년대비 소폭 증가하였으며, CO는 감소하였으며, O₃ 농도는 전년대비 동일한 수준이었음.
- ▷ 서면역 1호선 대합실 및 승강장에 설치된 PM2.5는 PM10농도의 약 60.0 %수준으로 나타났다음.
- ▷ 서면역 CO₂ 농도는 다른 측정지점에 비하여 비교적 높은 수준이었으나 그 외 다른 측정 항목들은 유사하거나 약간 낮았음.

표 4. 측정지점별 월평균 농도

		PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	NO ₂ (ppm)	O ₃ (ppm)	HCHO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
수영역	2012년	50	-	1.2	505	0.040	0.003		
	2011년	41	-	1.5	502	0.044	0.003		
연산역	2012년	42	-	0.8	520	0.042	0.004		
	2011년	38	-	1.3	521	0.040	0.004		
미남역	2012년	41	-	1.3	467	0.043	0.004		
	2011년	41	-	1.6	466	0.042	0.004		
덕천역	2012년	61	-	1.6	530	0.043	0.004		
	2011년	54	-	1.9	501	0.046	0.003		
남포동역	2012년	73	-	0.6	512	0.045	-	6.9	
	2011년	66	-	0.6	464	0.043	-	3.9	
사상역	2012년	51	-	0.6	508	0.038	-	5.6	
	2011년	47	-	0.6	457	0.039	-	4.1	
서면역	1호선 대합실	2012년	51	30	0.7	628	0.042	-	
		2011년	48	29	0.6	578	0.041	-	
	1호선 승강장	2012년	55	35	0.8	589	0.041	-	
		2011년	43	27	0.6	560	0.042	-	
	2호선 대합실	2012년	42	-	-	-	-	-	
		2011년	40	-	-	-	-	-	
	2호선 승강장	2012년	46	-	-	-	-	-	
		2011년	50	-	-	-	-	-	
서면역 평균	2012년	49	33	0.7	609	0.042	-		
	2011년	45	28	0.6	567	0.042	-		
평균	2012년	52	33	0.9	532	0.042	0.004	6.2	
	2011년	46	28	1.2	517	0.043	0.003	4.0	
유지(권고)기준		150 이하 (6시간평균)	-	10 이하 (1시간평균)	1,000 이하 (1시간평균)	0.05 이하 (1시간평균)	0.06 이하 (1시간평균)	100 이하 (1시간평균)	

○ 항목별 월평균 및 시간평균 농도변화

▷ PM10 (유지기준 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하)

- 월별 PM10 농도변화는 황사의 영향을 받은 5월에 68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높게 나타났으며 9월에 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮게 나타났음.
- 측정지점별로는 남포동역이 73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (48~107 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)으로 가장 높았고 미남역이 평균 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (32~50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)으로 가장 낮았음.
- 시간대별 평균 PM10 농도변화는 남포동의 경우 지하역사내 승강기 및 승강장 스크린 도어 설치공사 등 영향으로 새벽시간대를 제외하고는 비교적 높은 농도를 나타내었으며, 서면역의 경우 이용객이 일시에 많이 증가되는 출퇴근시간대에 가장 높은 농도 분포를 나타내었음.

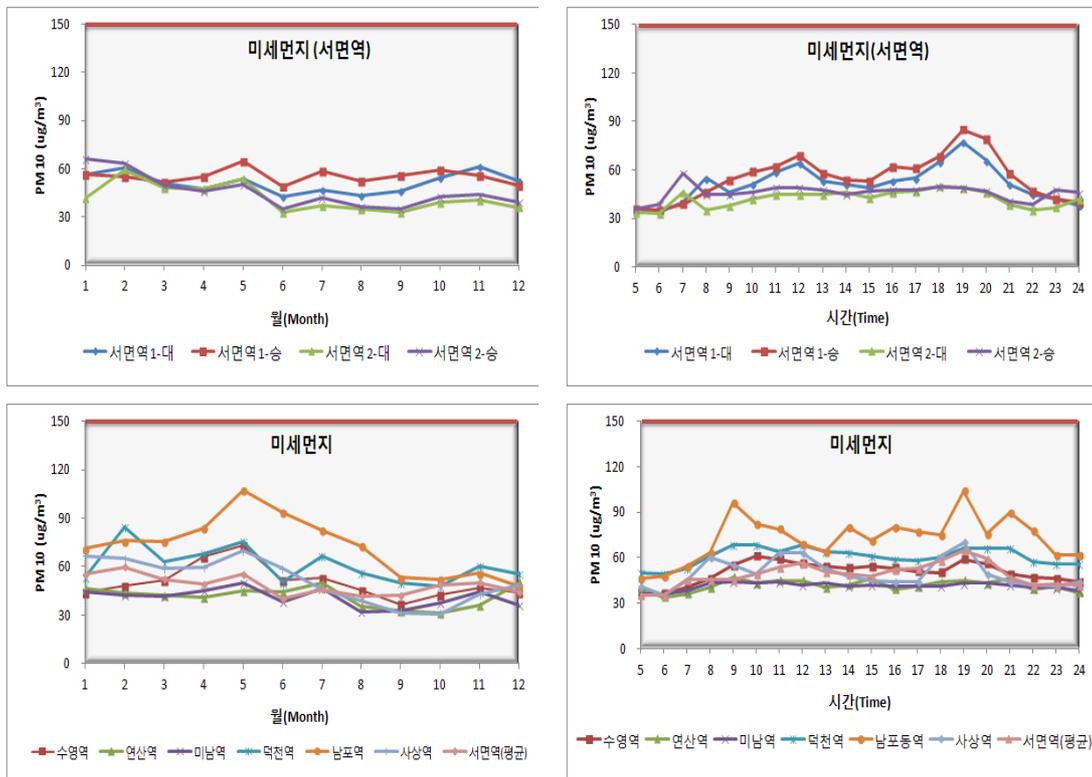


그림 1. 측정소별 미세먼지(PM10)의 월별 및 시간별 농도 변화

▷ PM2.5

- 월별 PM2.5 농도변화는 2월에 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높게 나타났으며 6월에 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮게 나타났음.
- 시간별 평균 PM2.5 농도변화는 이용객이 일시에 증가하는 퇴근시간대에 가장 높은 것으로 나타났음.

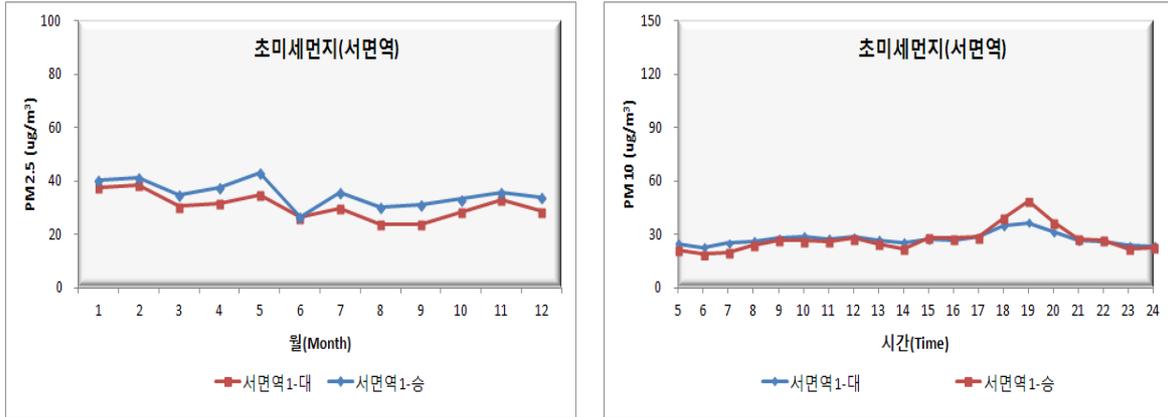


그림 2. 측정소별 초미세먼지(PM2.5)의 월별 및 시간별 농도 변화

- ▷ CO (유지기준 : 10 ppm 이하)
 - 월별 CO 농도는 4, 5월에 1.3 ppm으로 가장 높았으며 7월에 0.7 ppm으로 가장 낮게 나타났으며 덕천역의 경우가 다른 측정소에 비해 약간 높게 검출되었음.
 - 시간별 CO 농도분포는 8개 측정지점 모두 큰 변화가 없는 것으로 나타났으며, 덕천역을 제외한 나머지 7개 측정지점에서는 2.0 ppm 이하로 검출되었음.

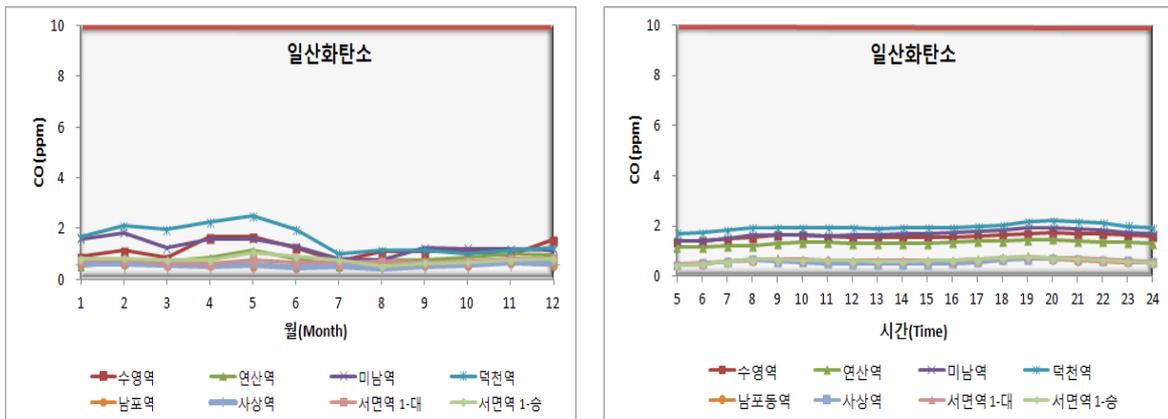


그림 3. 측정소별 일산화탄소(CO)의 월별 및 시간별 농도 변화

- ▷ CO₂ (유지기준 : 1,000 ppm 이하)
 - CO₂ 농도는 월별로 측정지점 모두 큰 변화가 없는 것으로 나타났으며 지점별로는 서면역의 경우가 다른 측정소에 비해 약간 높게 검출되었음.
 - 시간대별 CO₂ 농도변화는 대부분 지점에서 퇴근시간대인 18에서 19시대에 가장 높게 나타났으며 서면역 1호선 대합실의 18시대의 CO₂농도가 879 ppm으로 8개 측정지점 중 가장 높게 나타났음.

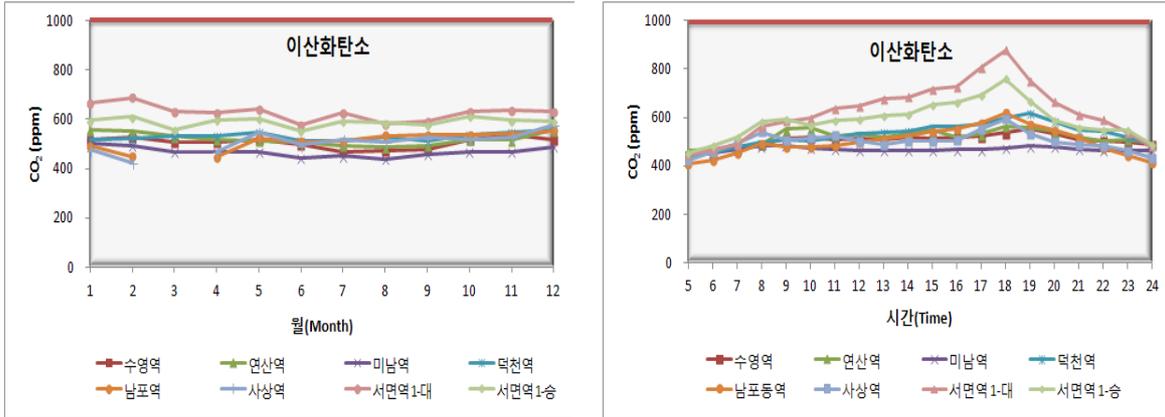


그림 4. 측정소별 이산화탄소(CO₂)의 월별 및 시간별 농도 변화

- ▷ NO₂ (권고기준 : 0.05 ppm 이하)
 - 지하역사의 월별 NO₂ 농도변화는 도시대기 평균농도보다는 약 2배 높았으나 도로변 지역의 농도 및 농도분포와 비슷한 경향이였으며,
 - 8개 측정지점 모두 시간별 농도변화 경향이 비슷하였으며, 특히, 차량 통행량이 많은 출퇴근시간대에 비교적 높게 검출되는 것으로 나타났음.
 - 이는 지하역사 NO₂ 농도에 영향을 끼치는 가장 큰 원인이 외기의 NO₂가 공조기를 통하여 실내 지하역사로 유입되기 때문이며, 외기에서 발생하는 NO₂의 경우 자동차배기가스로 인한 발생이 대부분이며, 지하역사의 구조나 지상교통량에 따라 유입된 NO₂의 농도는 변화됨.
 - 측정지점별 월평균 이산화질소 농도는 남포동역이 0.045 ppm으로 가장 높았으며, 사상역에서 0.038 ppm으로 가장 낮았음.

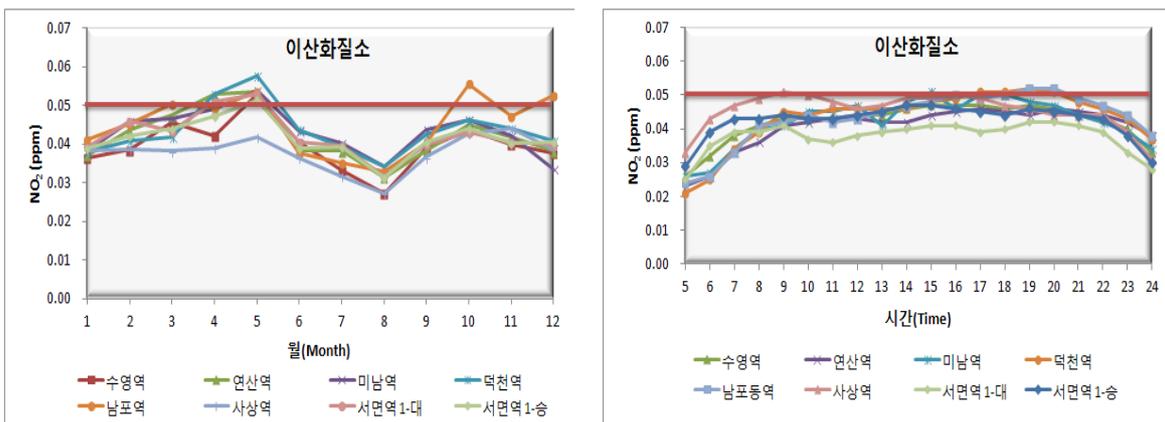


그림 5. 측정소별 이산화질소(NO₂)의 월별 및 시간별 농도 변화

▷ O₃ (권고기준 : 0.06 ppm 이하)

- 월별 평균 O₃ 농도는 대부분 0.01 ppm 이하로 매우 미미한 수준으로써, 뚜렷한 변화 경향은 없는 것으로 나타났으며, 도시대기 및 도로변 O₃ 농도에 비하여 훨씬 낮았음.
- 시간별 평균 O₃ 농도변화 또한 뚜렷한 경향이 없는 것으로 나타났음.
- 지하공간에서는 질소산화물의 광화학반응이 거의 일어나지 않아 대기에 비해 상대적으로 오존의 발생이 적은 것으로 판단됨.

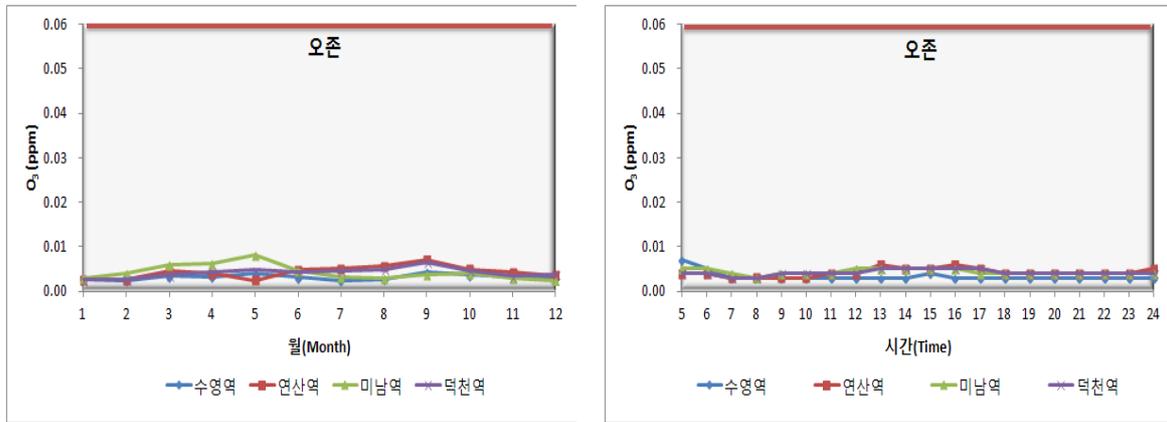


그림 6. 측정소별 오존(O₃)의 월별 및 시간별 농도 변화

▷ HCHO (유지기준 : 100 µg/m³ 이하)

- 월별 평균 HCHO 농도는 5월에 9.7 µg/m³로 가장 높게 나타났고 지점별로는 남포역이 사상역에 비해 약간 높은 농도를 나타내었음.
- 시간별 HCHO는 낮시간대에 비교적 높게 나타났는데 이는 HCHO의 주요발생원이 섬유옷감, 실내가구 및 접착제등으로 실내온도 및 습도 그리고 환기율에 따라 방출량이 영향을 받은 것으로 판단됨.

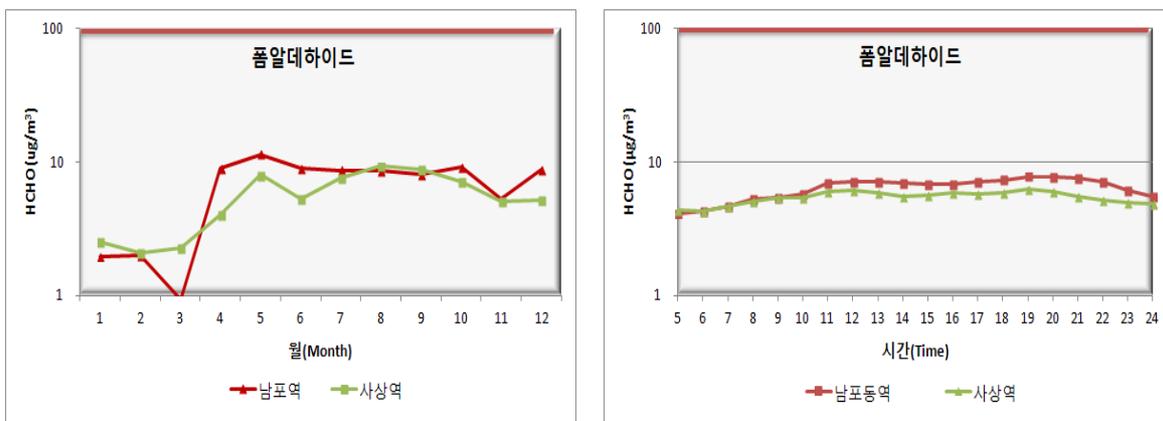


그림 7. 측정소별 폼알데하이드(HCHO)의 월별 및 시간별 농도 변화

○ 항목별 농도분포

▷ PM10 (유지기준 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하)

- 각 측정지점별 2012년 일평균 PM10 농도분포를 보면, 일일 평균농도 범위는 11~179 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였음.
- 년평균 농도가 가장 높은 남포동역의 경우 26~170 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (평균 73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)의 범위였으며, 이는 지하역사내 승강기 및 승강장 스크린도어 설치공사 등의 영향으로 인하여 PM10 농도가 상승하였음.

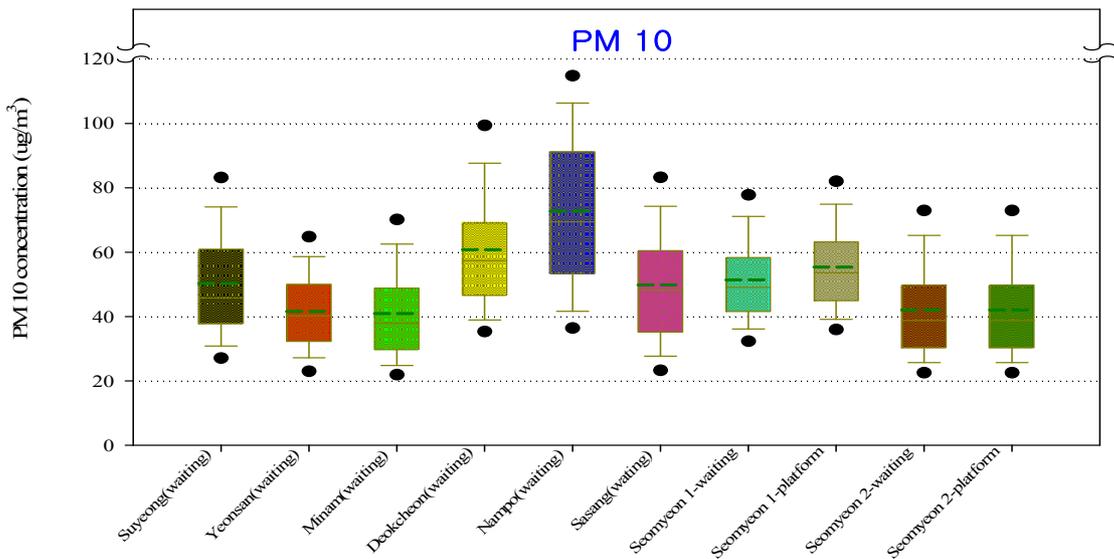


그림 8. 측정소별 미세먼지(PM10)의 일평균 농도분포

▷ CO (유지기준 : 10ppm 이하)

- 각 측정지점별 2011년 일평균 CO 농도분포를 보면, 전체 일 평균농도 범위는 0.2 ~ 3.7 ppm이었으며, 대체로 중간값과 평균값이 거의 유사한 수준이었고, 최대값의 경우 유지기준의 약 37 % 수준이었음.
- 덕천역의 경우 0.2 ~ 3.7 ppm(평균 1.6 ppm)의 범위로 지하주차장의 영향을 받아 다른 지점에 비하여 비교적 높은 값을 나타내었음.

▷ CO₂ (유지기준 : 1,000ppm 이하)

- 각 측정지점별 2012년 일평균 CO₂ 농도분포를 파악한 결과, 전체 일 평균농도 범위는 323 ~ 803 ppm이었으며, 대체로 중간값 과 평균값이 거의 유사한 수준이었음.
- 년평균 농도가 가장 높은 서면역 1호선 대합실의 경우 435 ~ 803 ppm(평균 625 ppm)의 범위로 최대값의 경우 유지기준의 약 80.3 % 수준이었음.

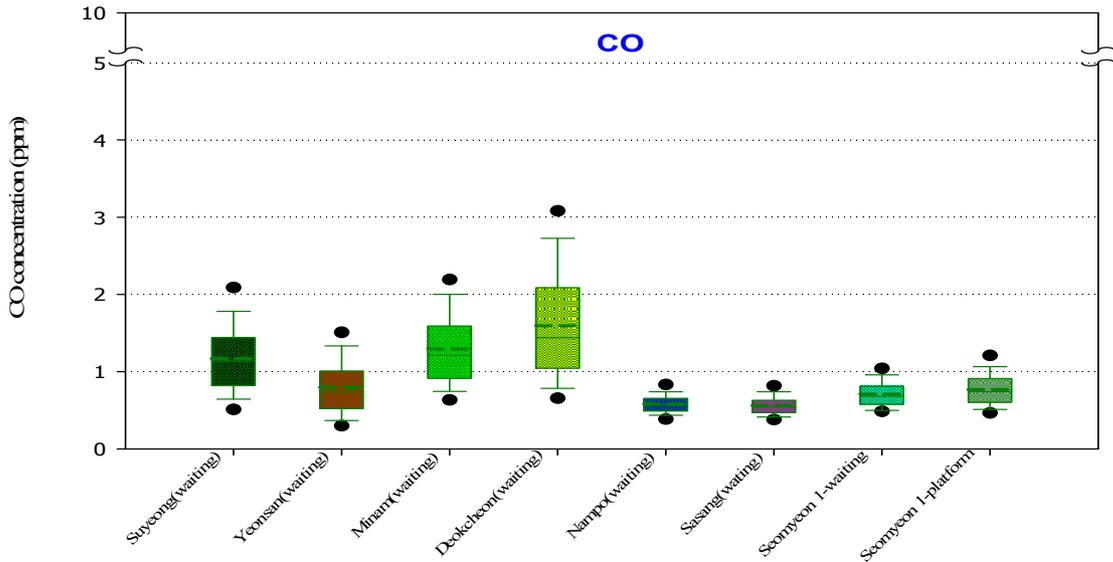


그림 9. 측정소별 일산화탄소(CO)의 일평균 농도분포

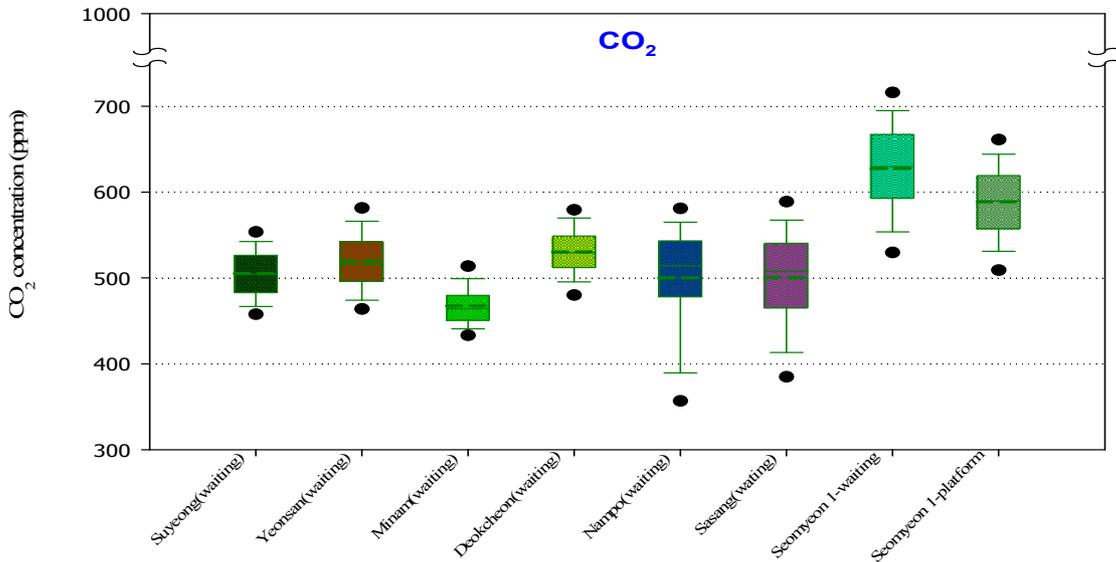


그림 10. 측정소별 이산화탄소(CO2)의 일평균 농도분포

- ▷ NO₂ (권고기준 : 0.05ppm 이하)
 - 각 측정지점별 2012년 일평균 NO₂ 농도분포를 파악한 결과, 전체 일 평균농도 범위는 0.014~0.092 ppm이었으며, 최대값의 경우 권고기준의 약 84 %수준이었음.
 - 년평균 NO₂ 농도가 가장 높은 남포동의 경우 각각 약 0.014~0.092(평균 0.045 ppm)의 범위 였으며,
 - 8개 측정지점의 최대값은 0.067 ~ 0.092 ppm 으로 권고기준을 모두 초과하는 것으로

나타났음.

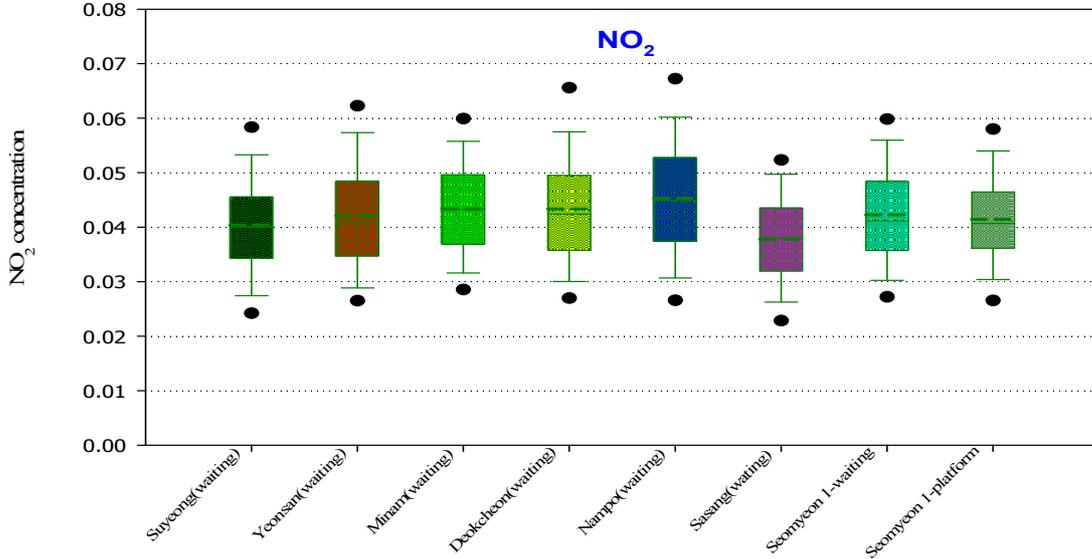


그림 11. 측정소별 이산화질소(NO₂)의 일평균 농도분포

▷ O₃ (권고기준 : 0.06 ppm 이하)

- 각 측정지점별 2011년 일평균 O₃ 농도분포를 파악한 결과, 전체 일 평균농도 범위는 0.002~0.017 ppm이었으며, 4개 측정지점 모두 년평균 농도가 0.003~0.004 ppm으로 유지 기준인 0.06 ppm에 비해 아주 미미한 수준이었음.

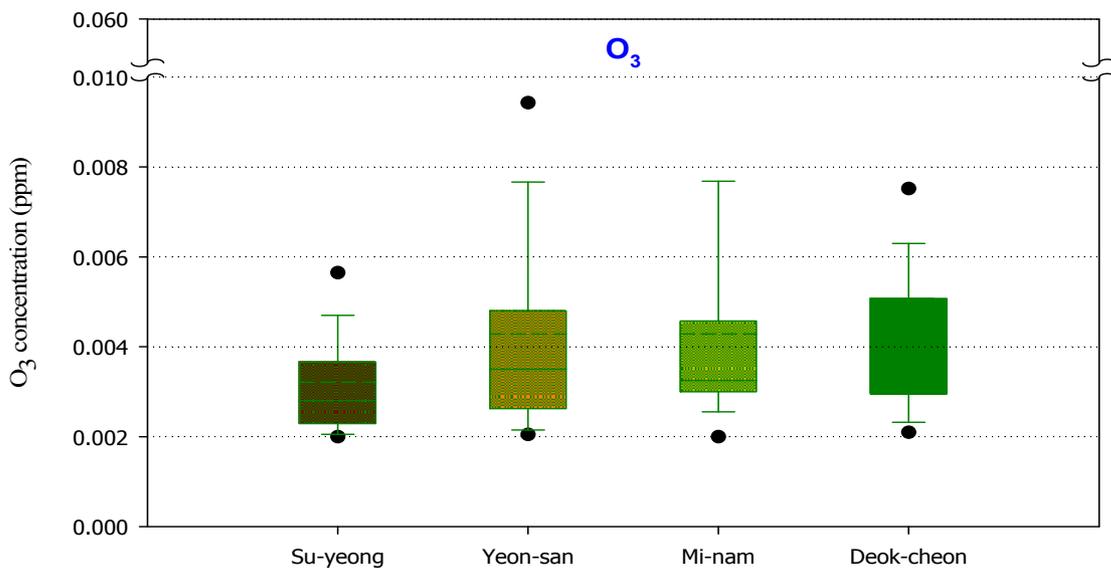


그림 12. 측정소별 오존(O₃)의 일평균 농도분포

○ 실내공기질 유지(권고)기준 초과현황

▷ 유지(권고)기준 초과내역

- 지하철을 운행하지 않는 시간(1시~5시)을 제외한 하루 20시간을 기준으로 PM10은 6시간, CO₂ 및 NO₂는 1시간 평균농도를 측정한 결과,
- 6개 측정항목 중 「다중이용시설 등의 실내공기질 관리법」 상의 기준을 1회 이상 초과한 항목은 PM10, CO₂ 및 NO₂였음.
- PM10의 경우 황사, 지하철 내부공사 등의 영향으로 일부 시간대에서 유지기준인 150 µg/m³을 초과하였으며,
- CO₂의 경우 4호선, 김해경전철의 개통에 따른 지하철 이용승객의 증가에 따라 전년도에 비해 초과율이 증가하였고 특히 승객이 집중되는 시간대인 퇴근시간대에 주로 기준을 초과하였음.
- NO₂의 경우 측정지점수가 전년도에 비하여 2개소가 증가하여 초과횟수는 전년도에 비하여 증가하였으나, 전체 측정횟수에 대한 기준초과비율은 전년도에 비하여 약 1.7 % 포인트 감소하였음.

표 5. 측정항목별 유지(권고)기준 초과 현황

구분		PM10 (µg/m ³)	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	NO ₂ (ppm)	O ₃ (ppm)
유지기준		150 이하 (6시간평균)	10 이하 (1시간평균)	1,000 이하 (1시간평균)	-	-
권고기준		-	-	-	0.05 이하 (1시간평균)	0.06 이하 (1시간평균)
초과횟수	2012년	154회 (0.3%)	-	121회 (0.2%)	13,516회 (23.1%)	-
	2011년	85회 (0.2%)	-	19회 (0.04%)	12,077회 (24.8%)	-

표 6. 측정지점별 유지(권고)기준초과 현황

구분		서면역				서면역 평균 ¹⁾
		1호선대합실	1호선승강장	2호선대합실	2호선승강장	
미세먼지 (PM10)	2012년	0	0	0	9	9
	2011년	1	0	0	29	30
이산화탄소 (CO ₂)	2012년	108	6	-	-	114
	2011년	7	0	-	-	7
이산화질소 (NO ₂)	2012년	1581	1348	-	-	2,929
	2011년	1551	1647	-	-	3,198

구 분		측정소							합 계
		서면역 ²⁾	수영역	연산역	미남역	덕천역	남포동역	사상역	
미세먼지 (PM10)	2012년	9	16	0	0	30	93	6	154
	2011년	30	11	0	18	26	-	-	85
이산화탄소 (CO ₂)	2012년	114	1	0	0	0	5	1	121
	2011년	7	1	0	0	0	2	-	10
이산화질소 (NO ₂)	2012년	2,929	1,368	1,813	2,027	1,999	2,367	1,013	13,516
	2011년	3,198	2,110	1,592	1,859	2,433	591	294	12,077

- 1) 서면역 평균은 미세먼지의 경우 4개지점, CO₂ 및 NO₂의 경우 2개지점 평균데이터의 기준초과 횟수임.
 2) 서면역 데이터는 미세먼지의 경우 4개지점, CO₂ 및 NO₂의 경우 2개지점에 대한 초과횟수 합계임.
 또한 서면역에서의 CO₂ 및 NO₂ 측정은 2010년 10월부터 시행하였음.

▷ 측정지점별 PM10 권고기준 초과내역

- PM10의 경우 황사, 지하역사내 상가 조성공사 및 지하주차장 등의 영향으로 인하여 일시적으로 PM10 농도가 유지기준인 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과한 예가 발생하였으며,
- 남포역의 경우 특히 상반기에 기준초과가 많았는데, 상반기에 주로 지하역사내 승강기 및 승강장 스크린도어 설치 공사가 진행된 것과 관련이 있는 것으로 사료됨.

▷ 측정지점별 CO₂ 권고기준 초과내역

- 서면역의 기준초과 횟수가 전체 초과횟수의 94.2 %로 나타났는데 이는 전년에 비해 지하철 일평균 이용승객의 증가('11년 129,442명 → '12년 132,316명)에 기인한 것으로 사료됨.
- 또한 남포역의 경우 크리스마스 당일 「부산크리스마스트리문화축제」의 영향으로 지하철에 승객이 일시에 집중되면서 유지기준을 5회 초과한 예가 발생하였음.

▷ 측정지점별 NO₂ 권고기준 초과내역

- 측정지점별 NO₂ 권고기준 초과횟수는 남포역에서 약 2,367회로 가장 많았으며,
- 기준 초과율은 남포역(32.3%) > 미남역(27.7%) > 덕천역(27.3%) > 연산역(24.8%) > 서면역 1 호선 대합실(21.6%) > 수영역(18.7%) > 서면역 1호선 승강장(18.4%) > 사상역(13.8%) 순으로 나타났음.
- 이는 8개 측정지점 모두 교통이 혼잡한 교차로 지하에 위치해있기 때문에 교차로를 지나는 자동차의 영향을 많이 받는 것으로 판단되었으며,
- 또한 지하역사에 존재하는 이산화질소는 도시대기에서처럼 광화학반응이 거의 일어나지 않기 때문에 도시대기보다 일반적으로 높은 농도로 존재하는 것으로 판단됨.
- NO₂ 권고기준의 월별 초과빈도는 5월에 가장 높았고, 대체로 여름철인 7~8월에 많이 감소되는 것으로 나타났으며,

- 시간별 초과빈도는 8개 측정지점 모두 자동차 통행량이 많은 낮시간대와 퇴근시간대에 증가하였으며, 차량 통행량이 상대적으로 적은 이른 아침시간 및 저녁 늦은 시간에는 상대적으로 초과횟수가 감소하였음.

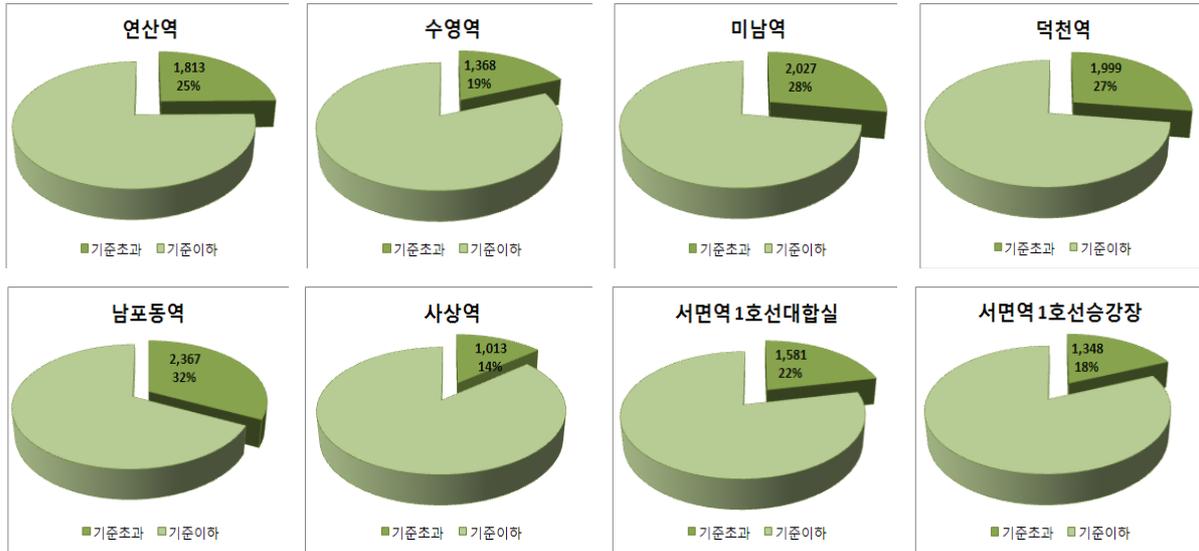


그림 13. NO₂의 권고기준 초과현황

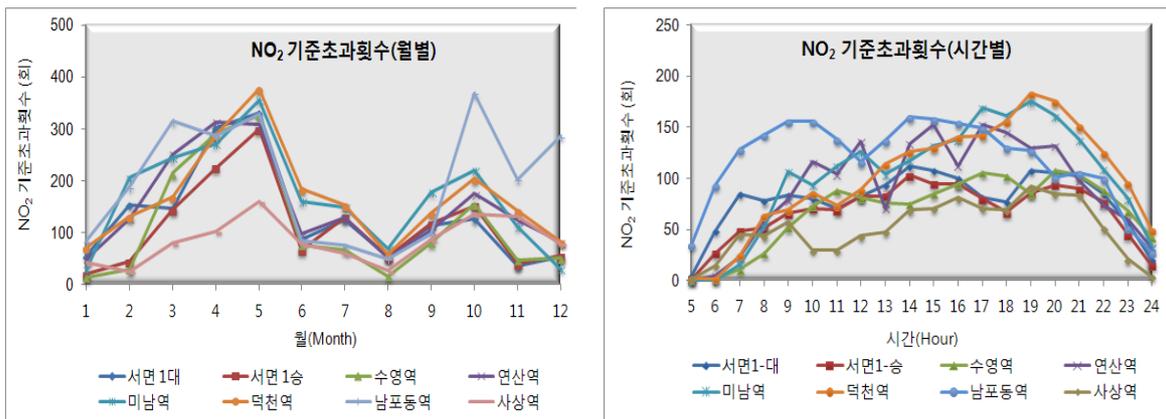


그림 14. NO₂의 월별 및 시간별 권고기준 초과현황

○ 미세먼지 저감대책

▷ 미세먼지 발생방지

- 먼지발생량이 많은 자갈도상의 콘크리트도상으로의 개량 필요
- 환기구에 고효율 필터 설치 및 환기시설 가동 강화
- 향후 지하철 공사 시 환기구 높이 인상 검토

▷ 미세먼지 비산방지

- 지하역사 내 각종 공사작업 시 또는 공사자재의 적재 및 이동시에도 미세먼지가 역내로 비산되지 않도록 철저한 방진작업이 필요하며,
- 승강장 스크린도어 설치 확대
- 환기설비 개량 및 관리시스템 개선
- ▷ 실내공기질 모니터링 강화
 - 현재 7개 지하역사 10개 지점에 대하여 실내공기질 자동측정망을 운영 중에 있으며,
 - 2013년도에는 서면 2호선의 대합실 및 승강장에 NO₂ 측정장비 등 측정기기를 확충하여 모니터링을 강화할 예정이며,
 - 또한 향후에는 국비확보 후 노후자동측정기기 교체 설치 예정임.
- 이산화탄소 저감대책
 - ▷ 환기시설 가동 강화
 - 지하역사내 이산화탄소 농도는 주로 이용객에 의한 발생이 대부분이므로 이용객이 증가하는 출퇴근시간에는 환기시설 가동 강화
 - 환기설비 가동시간, 정기 점검사항, 주기별 교체항목 등을 포함하는 환기설비 운영 및 관리 가이드라인 마련
 - 시설별 오염특성을 고려한 합리적인 환기기준 마련
- 이산화질소 저감대책
 - ▷ 환기구 높이 인상 필요
 - 8개 측정지점 모두 교통이 혼잡한 교차로 지하에 위치해 있기 때문에 출퇴근 시간대에 교차로를 지나는 자동차의 영향을 많이 받는 것으로 판단되며, 따라서 자동차 배기가스가 직접 유입이 되지 않도록 환기구 높이 인상 검토 필요
 - 향후 지하철 공사시 환기구 높이 인상 검토
 - ▷ 실내공기질 모니터링 강화
 - ▷ 지속적인 환기
 - 이산화질소 농도에 따라 급, 배기 시간 조정하여 환기시설 가동