

지하철역사 실내공기질 조사

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

1. 조사개요

- 조사기간 : 2010년 1월 1일 ~ 12월 31일
- 조사지점 및 항목
 - ▷ 수영역, 연산역, 미남역, 덕천역 : PM10, CO, CO₂, NO₂, O₃
 - ▷ 서면역 1호선 대합실 및 승강장 : PM10, PM2.5, CO, CO₂, NO₂
 - ▷ 서면역 2호선 대합실 및 승강장 : PM10

표 1. 실내공기질 자동측정망 현황

지 점	최초설치년도	측정항목	비 고	
수영역	2006. 1. 1.	PM10, CO, CO ₂ , NO ₂ , O ₃	부산교통공사 → 연구원 이관('08. 6. 30.)	
연산역	"	"	"	
미남역	"	"	"	
덕천역	"	"	"	
서면역	1호선 대합실	2003. 12. 9.	PM10	
		2010. 10. 1.	PM2.5, CO, CO ₂ , NO ₂	국비지원 받아 항목보강('10. 10. 1.)
	1호선 승강장	2003. 12. 9.	PM10	부산교통공사 → 연구원 이관('08. 6. 30.)
		2010. 10. 1.	PM2.5, CO, CO ₂ , NO ₂	국비지원 받아 항목보강('10. 10. 1.)
	2호선 대합실	2005. 7. 8.	PM10	부산교통공사 → 연구원 이관('08. 6. 30.)
		2005. 7. 8.	PM10	"

※ 자료생성 주기는 대기오염측정망 설치운영지침에 따름.

2. 조사방법

○ 항목별 측정방법

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

○ 연평균농도

- ▷ PM10, NO₂ 및 O₃ 농도는 전년대비 거의 유사하였으며, CO 농도는 감소하였으나 CO₂ 농도는 소폭 증가하였음.
- ▷ PM10 농도는 도시대기 평균농도와 거의 유사하였으나 도로변 평균농도보다는 약간 낮았으며, NO₂ 농도는 도시대기 평균 농도보다 약 2배 이상 높았으며, 도로변 평균 농도와 거의 유사한 수준이었음.
- ▷ CO 농도는 도시대기 및 도로변 평균 농도보다는 상당히 높은 수준이었으며,
- ▷ O₃ 농도는 지하에서의 질소산화물의 광화학반응이 거의 일어나지 않아 도시대기 및 도로변 평균 농도에 비하여 훨씬 낮은 수준이었음.

표 3. 측정항목별 측정지점 전체의 연평균 농도

항목	유지(권고) 기준	실내공기질		도시대기	도로변
		2010년	2009년	2010년	2010년
PM10 (ug/m ³)	150 이하	48	47	49	56
PM2.5 (ug/m ³) ¹⁾	-	30	-	25	-
CO (ppm)	10 이하	1.6	2.0	0.4	0.7
CO ₂ (ppm)	1,000 이하	510	494	-	-
NO ₂ (ppm)	0.05 이하	0.045	0.046	0.021	0.043
O ₃ (ppm)	0.06 이하	0.003	0.003	0.026	0.015

¹⁾ PM2.5 측정기기는 서면역 1호선 대합실 및 승강장에 설치하여 2010. 10. 1.부터 정상가동하였음.

○ 지점별 연평균 농도

- ▷ 측정지점별 연평균 PM10 및 NO₂ 농도는 덕천역에서 각각 약 56ug/m³ 및 0.049ppm으로 가장 높았으며, CO 농도는 미남역에서, 그리고 CO₂ 농도는 서면역 1호선 대합실에서 각각 약 1.9 및 551ppm으로 가장 높았음.
- ▷ 또한 수영역, 서면역 1호선 대합실 및 2호선 승강장에서의 연평균 PM10 농도가 약 41ug/m³으로 가장 낮았으며, CO 농도는 서면역 1호선 승강장에서, CO₂ 농도 및 NO₂ 농도는 서면역 1호선 대합실 및 연산역에서 각각 가장 낮았음.
- ▷ O₃ 농도는 0.002~0.004ppm으로 지점별로 큰 차이는 없었으며, 권고기준인 0.06ppm의 3.3~6.6% 수준으로 매우 미미한 수준이었음.
- ▷ 수영역의 경우 PM10 및 CO 농도는 전년대비 소폭 감소하였으나 CO₂ 및 NO₂ 농도는 전년대비 소폭 증가하였으며, O₃ 농도는 거의 변화가 없었음.
- ▷ 연산역의 경우 수영역과 마찬가지로 PM10 및 CO 농도는 전년대비 소폭 감소하였으며, CO₂ 농도는 전년대비 소폭 증가하였으나, NO₂ 농도는 전년대비 동일한 수준이었음.
- ▷ 미남역의 경우 PM10, CO 및 NO₂ 농도는 전년대비 소폭 감소하였으나 NO₂ 농도는 전년대비 소폭 증가하였음.
- ▷ 덕천역의 경우 PM10을 제외하고는 모든 측정항목들이 전년대비 동일하거나 소폭 감소하였음.
- ▷ 서면역의 경우 4개 측정지점 모두 전체 평균에 비하여 약간 낮았으며, 2010년 10월에 추가로 설치된 PM2.5는 PM10 농도의 약 69.8% 수준으로 나타났음.
- ▷ 또한 CO₂ 농도는 다른 측정지점에 비하여 비교적 높은 수준이었으나 그 외 다른 측정항목들은 유사하거나 약간 낮았음.

표 4. 측정지점별 연평균 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)	
수영역	2010년	41	-	1.7	504	0.046	0.002	
	2009년	45	-	1.9	484	0.042	0.002	
연산역	2010년	45	-	1.4	523	0.042	0.004	
	2009년	48	-	1.7	506	0.042	0.003	
미남역	2010년	54	-	1.9	463	0.044	0.003	
	2009년	56	-	1.8	461	0.049	0.003	
덕천역	2010년	56	-	1.8	535	0.049	0.004	
	2009년	53	-	2.6	525	0.050	0.004	
서면역	1호선 대합실	2010년	41	32	0.9	551	0.046	-
		2009년	41	-	-	-	-	-
	1호선 승강장	2010년	46	28	0.8	549	0.045	-
		2009년	50	-	-	-	-	-
	2호선 대합실	2010년	41	-	-	-	-	-
		2009년	42	-	-	-	-	-
	2호선 승강장	2010년	45	-	-	-	-	-
		2009년	44	-	-	-	-	-
	서면역 평균	2010년	43	30	0.8	550	0.046	-
		2009년	44	-	-	-	-	-
평균	2010년	48	30	1.6	510	0.045	0.003	
	2009년	47	-	2.0	494	0.046	0.003	
유지(권고)기준		150 이하 (6시간평균)	-	10 이하	1,000 이하 (1시간평균)	0.05 이하 (1시간평균)	0.06 이하 (1시간평균)	

○ 항목별 월평균 및 시간평균 농도변화

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

- 월별 PM10 농도변화는 도시대기 및 도로변 월별 농도변화와 거의 유사한 경향이었는데, 이는 외부공기의 영향을 많이 받았기 때문인 것으로 판단되었으며,
- 측정지점별로는 덕천역이 평균 $56\mu\text{g}/\text{m}^3(43\sim 86\mu\text{g}/\text{m}^3)$ 으로 가장 높았고, 수영역, 서면역 1호선 대합실 및 2호선 대합실에서 평균 $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 낮았으며,
- 시간별 평균 PM10 농도변화는 서면역의 경우 이용객이 일시에 많이 증가되는 퇴근 시간대인 19시 전후에 가장 높았으며, 미남역의 경우 4호선 공사의 영향으로 낮시간대에 일시적으로 높은 농도를 나타내었음.

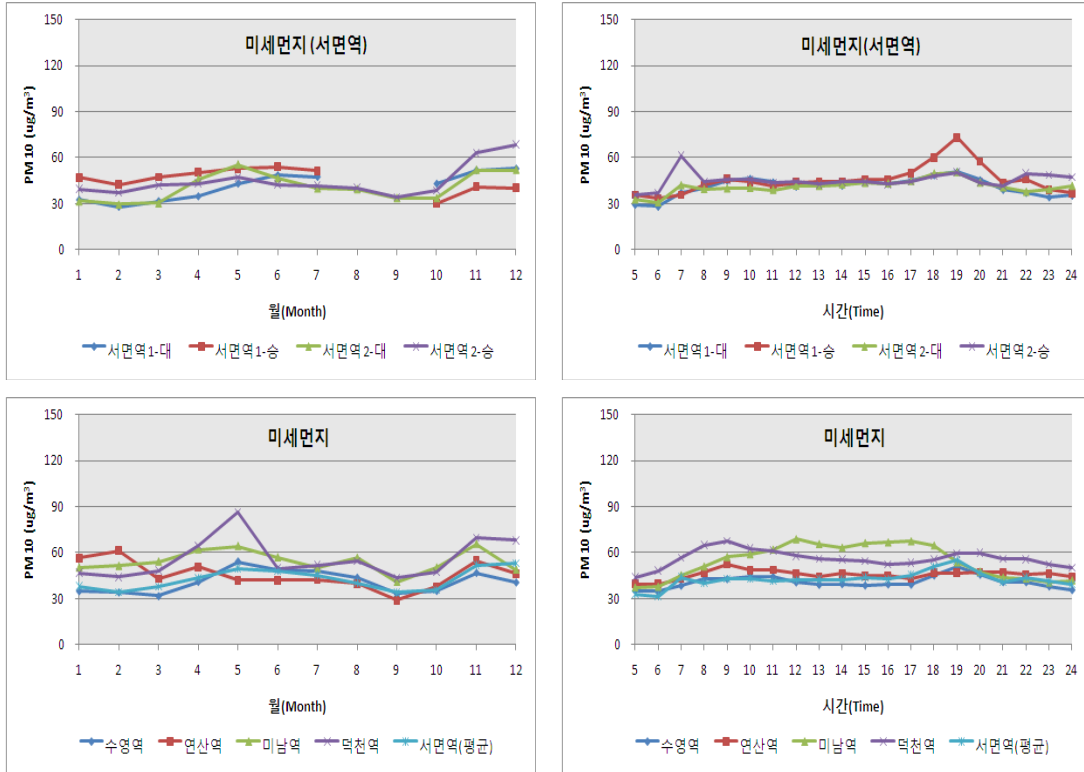


그림 1. 측정소별 미세먼지(PM10)의 일별 및 시간별 농도 변화

▷ PM2.5

- 서면역 1호선 대합실의 PM2.5 농도가 승강장의 PM2.5 농도보다 약간 더 높았으며,
- 이는 대합실의 이용객이 인근의 백화점이나 지하상가 이용객들로 인하여 승강장보다 더 많았기 때문인 것으로 판단됨.
- 시간별 평균 PM2.5 농도변화는 이용객이 일시에 많이 증가하는 출·퇴근시간대에 약간 더 높았으며, 특히 퇴근시간대에 조금 더 많이 증가되는 것으로 나타났음.

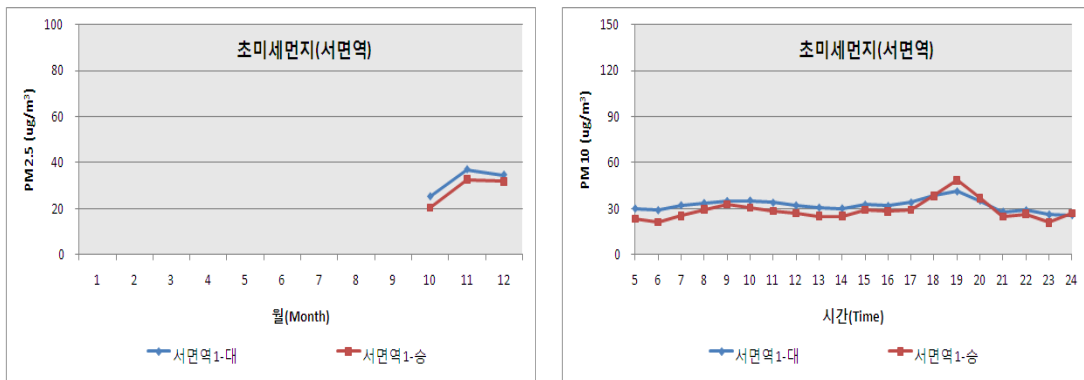


그림 2. 측정소별 초미세먼지(PM2.5)의 일별 및 시간별 농도 변화

▷ CO (유지기준 : 10 ppm 이하)

- 월별 CO 농도는 큰 변화 없이 거의 일정한 농도를 유지하였으며, 덕천역의 경우 지하주차장의 영향을 받아 타지역에 비하여 비교적 높게 검출되었음.
- 시간별 CO 농도분포는 6개 측정지점 모두 큰 변화가 없는 것으로 나타났으며, 지하주차장의 영향을 받는 덕천역을 제외한 나머지 5개 측정지점에서는 대부분 2.0ppm 이하로 검출되었음.

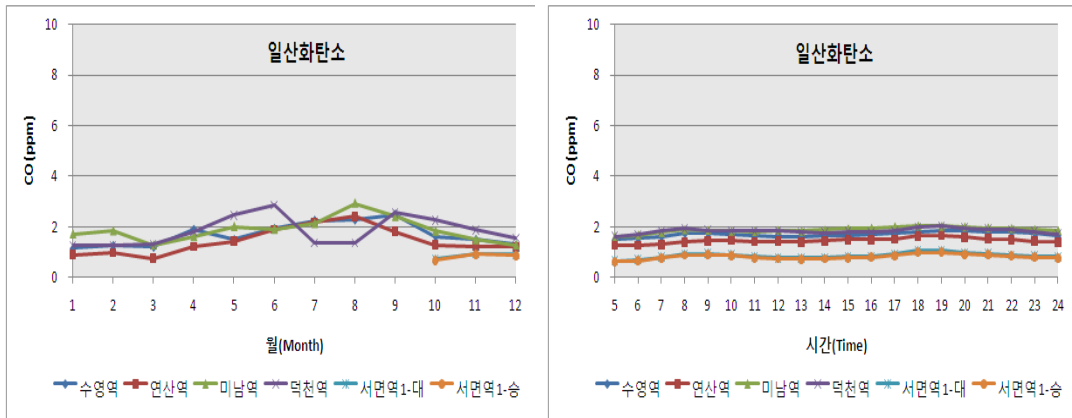


그림 3. 측정소별 일산화탄소(CO)의 일별 및 시간별 농도 변화

▷ CO₂ (유지기준 : 1,000 ppm 이하)

- 일별 CO₂ 농도변화는 CO와 마찬가지로 뚜렷한 경향을 띠지는 않았으나, 시간대별로는 오전 출근시간대 및 오후 퇴근시간대에 약간 증가하는 경향이였으며 특히, 퇴근시간대에 약간 더 증가하는 경향이였음.
- 월평균 CO₂ 농도는 서면역 1호선 대합실에서 평균 551ppm으로 가장 높았으며, 미남역에서 463ppm으로 가장 낮았음.

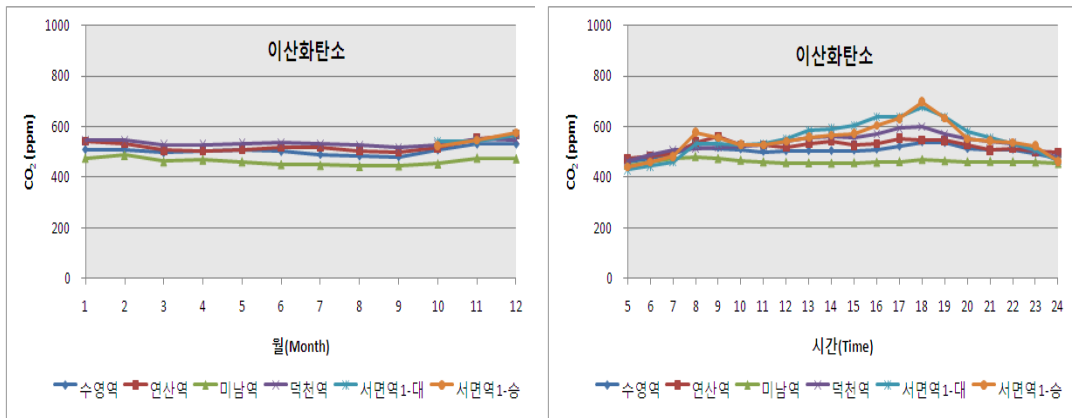


그림 4. 측정소별 이산화탄소(CO₂)의 일별 및 시간별 농도 변화

▷ NO₂ (권고기준 : 0.05 ppm 이하)

- 지하역사의 일별 NO₂ 농도변화는 도시대기 평균농도보다는 약간 높았으나 도로변 지역의 농도 및 농도분포와 비슷한 경향이었으며,
- 6개 측정지점 모두 일별 및 시간별 농도변화 경향이 비슷하였으며, 특히, 차량 통행량이 많은 출퇴근시간대에 비교적 높게 검출되는 것으로 나타났음.
- 측정지점별 월평균 이산화질소 농도는 지하주차장의 영향을 받는 덕천역이 0.049ppm으로 가장 높았으며, 연산역에서 0.042ppm으로 가장 낮았음.

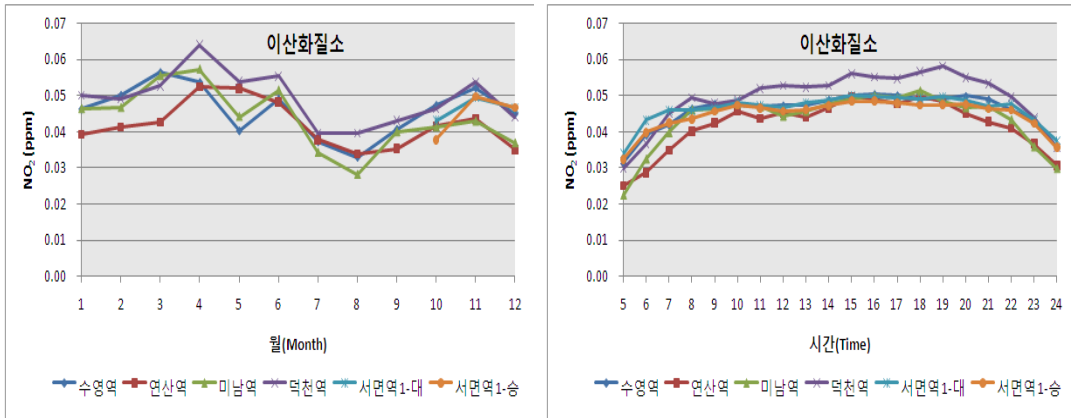


그림 5. 측정소별 이산화질소(NO2)의 일별 및 시간별 농도 변화

▷ O₃ (권고기준 : 0.06 ppm 이하)

- 일별 평균 O₃ 농도는 대부분 0.01ppm 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.

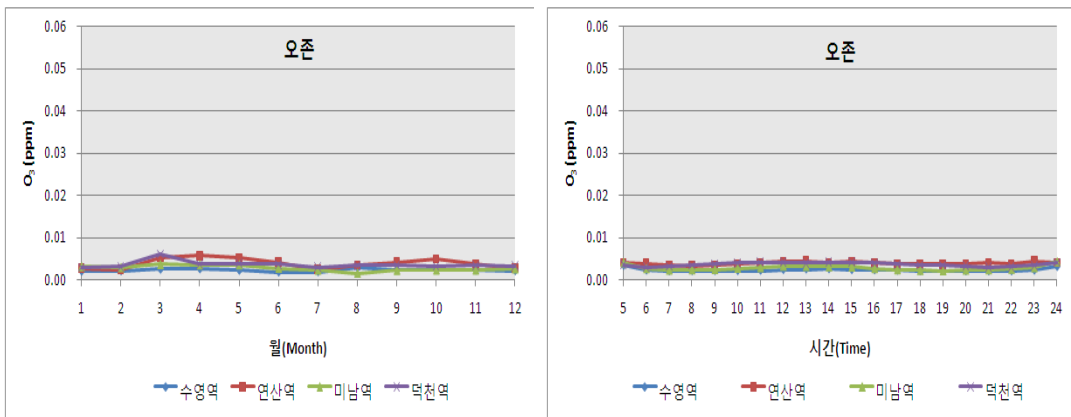


그림 6. 측정소별 오존(O3)의 일별 및 시간별 농도 변화

○ 항목별 농도분포

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

- 각 측정지점별 2010년 한해 동안의 일일평균 PM10 농도분포를 파악한 결과, 전체 일일 평균농도 범위는 11~256 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였음.
- 연평균 농도가 가장 높은 덕천역의 경우 18~256 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (중간값 50, 평균 56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)의 범위였으며, 최대값의 경우 유지기준을 초과하는 것으로 나타났음.
- 이는 황사 및 지하철 공사 등의 영향으로 인하여 일시적으로 PM10 농도가 상승하였음.
- 연평균 농도가 가장 낮은 수영역, 서면역 1호선 대합실 및 서면역 2호선 대합실의 경우 각각 약 17~116, 13~167 및 11~128 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (평균 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)의 범위를 나타내었음.

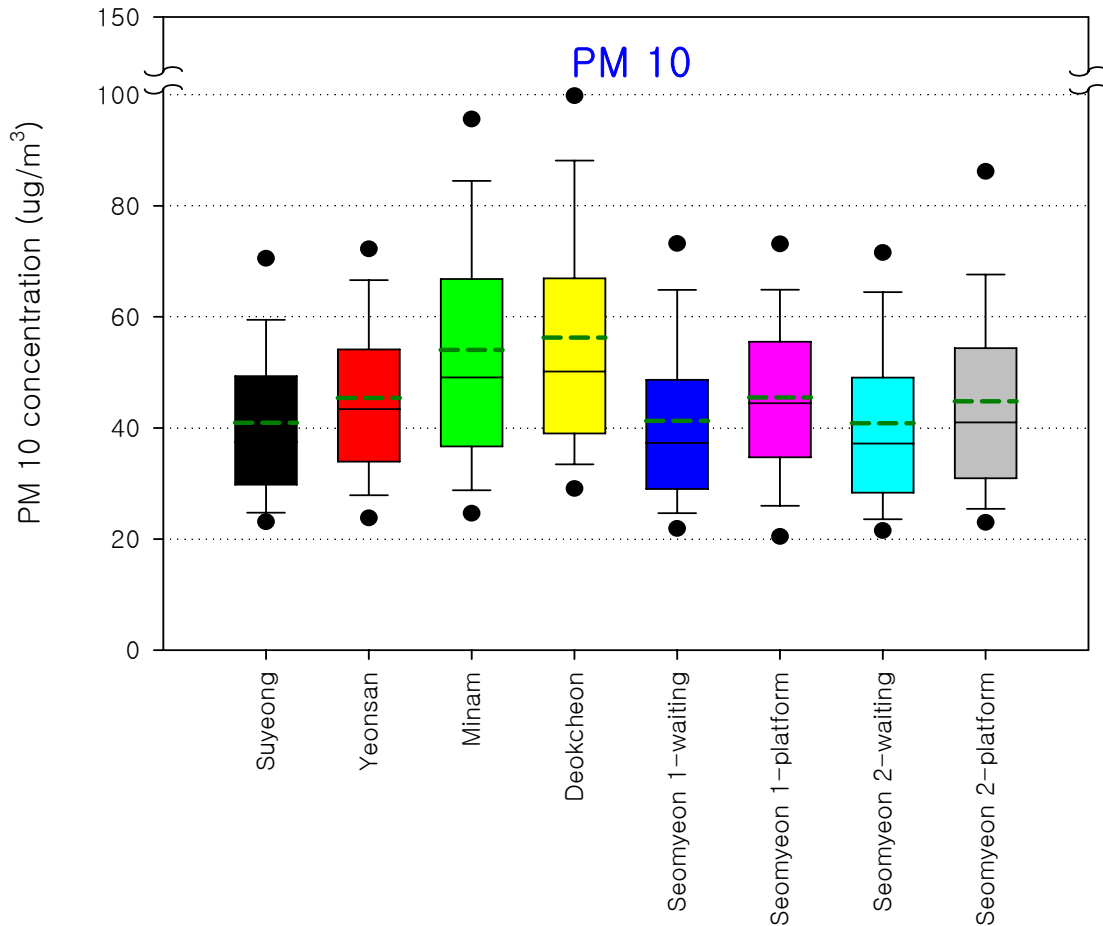


그림 7. 측정소별 미세먼지(PM10)의 일평균 농도분포

▷ CO (유지기준 : 10ppm 이하)

- 각 측정지점별 2010년 한해 동안의 일일평균 CO 농도분포를 파악한 결과, 전체 일일 평균농도 범위는 0.28~4.68ppm이었으며, 대체로 중간값과 평균값이 거의 유사한 수준이었고, 최대값의 경우 유지기준의 약 46.8% 수준이었음.
- 연평균 농도가 가장 높은 덕천역의 경우 0.38~4.68ppm(중간값 1.72, 평균 1.83ppm)의 범위로 최대값의 경우 유지기준의 약 46.8% 수준으로 다른 지점에 비하여 비교적 높은 값을 나타내었음.

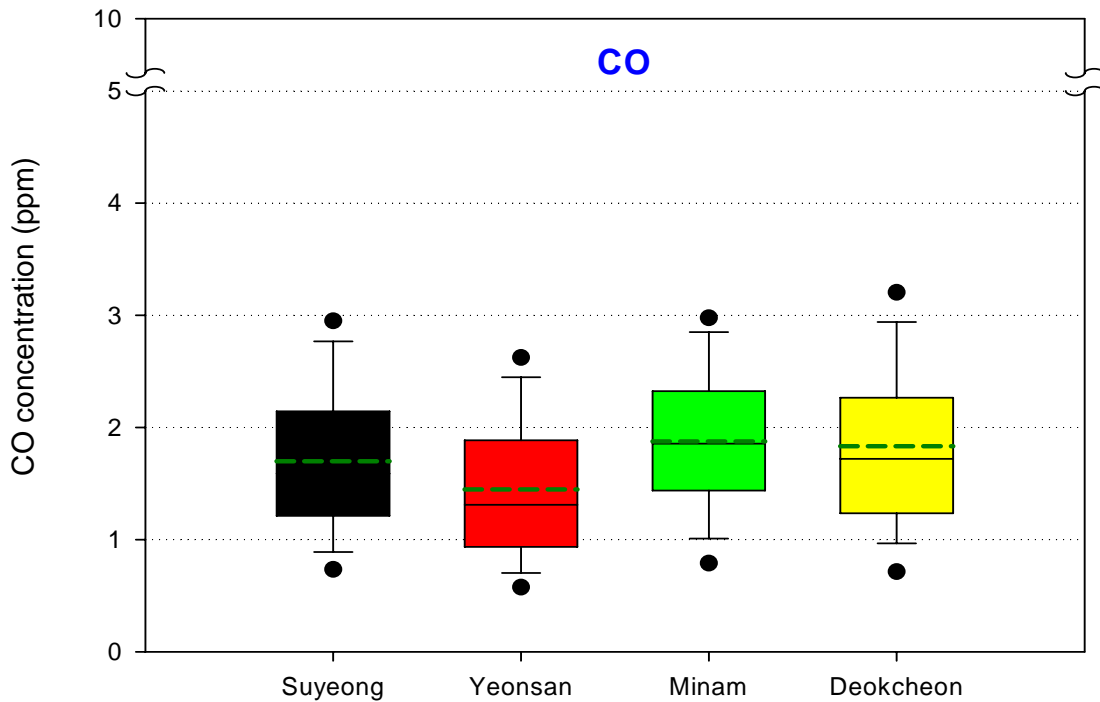


그림 8. 측정소별 일산화탄소(CO)의 일평균 농도분포

▷ CO₂ (유지기준 : 1,000ppm 이하)

- 각 측정지점별 2010년 한해 동안의 일일평균 CO₂ 농도분포를 파악한 결과, 전체 일일 평균농도 범위는 426.4~755.7ppm이었으며, 대체로 중간값과 평균값이 거의 유사한 수준이었음.
- 연평균 농도가 가장 높은 서면역 1호선 대합실의 경우 486.4~664.9ppm(중간값 541.1, 평균 550.7ppm)의 범위로 최대값의 경우 유지기준의 약 66.5% 수준이었음.

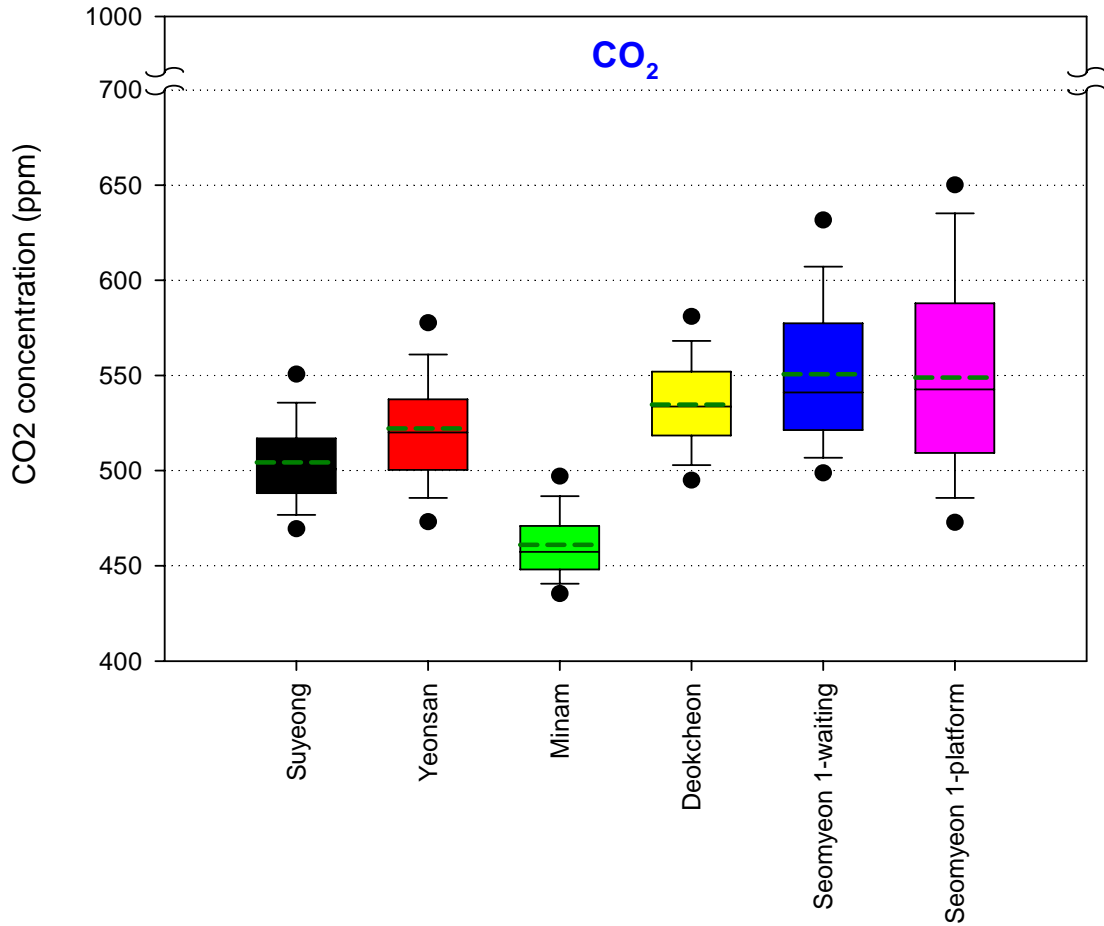


그림 9. 측정소별 이산화탄소(CO₂)의 일평균 농도분포

▷ NO₂ (권고기준 : 0.05ppm 이하)

- 각 측정지점별 2010년 한해 동안의 일일평균 NO₂ 농도분포를 파악한 결과, 전체 일일 평균농도 범위는 0.015~0.097ppm이었으며, 최대값의 경우 권고기준의 약 94%를 초과하였음.
- 연평균 NO₂ 농도가 가장 높은 덕천역의 경우 각각 약 0.021~0.083(평균 0.049ppm)의 범위였으며,
- 6개 측정지점 모두 최대값이 0.07 ppm이상으로 권고기준을 모두 초과하는 것으로 나타났음.

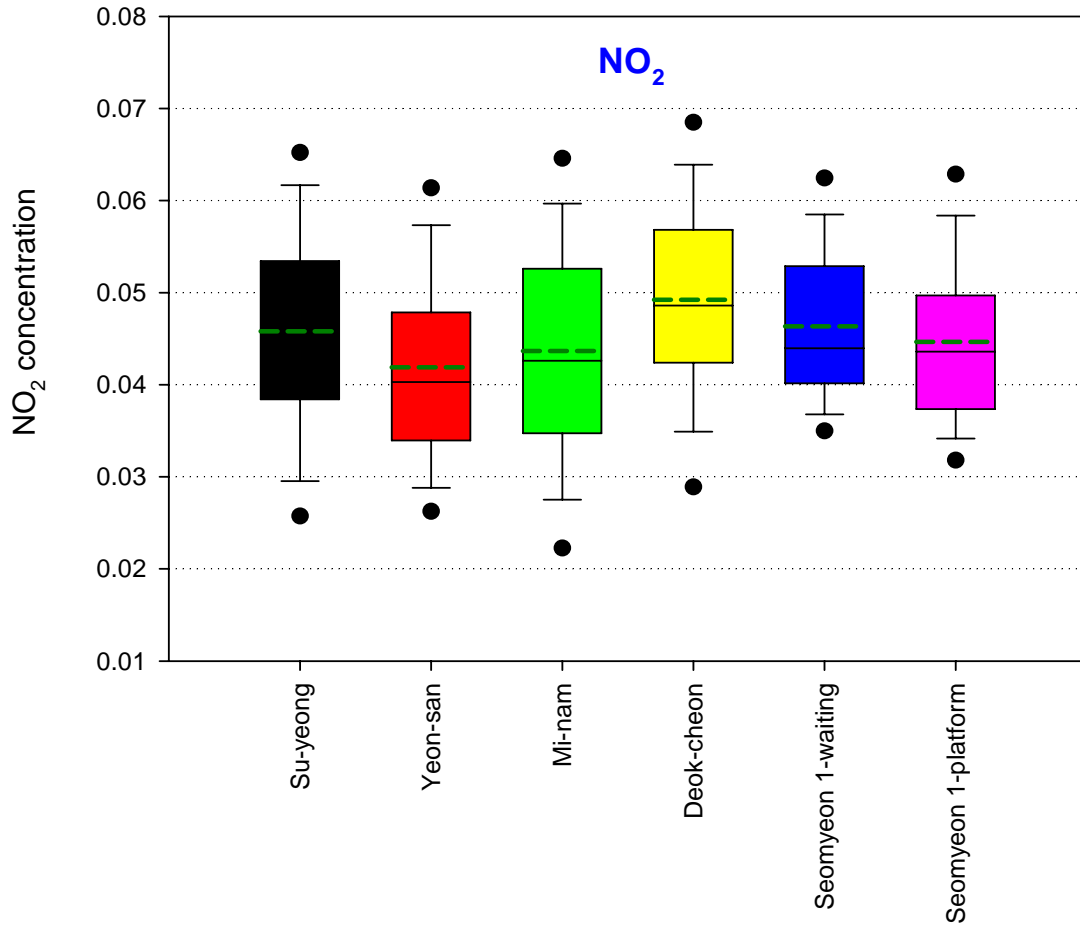


그림 10. 측정소별 이산화질소(NO₂)의 일평균 농도분포

▷ O₃ (권고기준 : 0.06ppm 이하)

- 각 측정지점별 2010년 한해 동안의 일일평균 O₃ 농도분포를 파악한 결과, 전체 일일 평균농도 범위는 0.001~0.036ppm이었으며, 중간값과 평균값이 거의 동일한 수준이었음.
- 4개 측정지점 모두 연평균 농도가 0.002~0.004ppm으로 유지기준인 0.06ppm에 비해 아주 미미한 수준이었음.

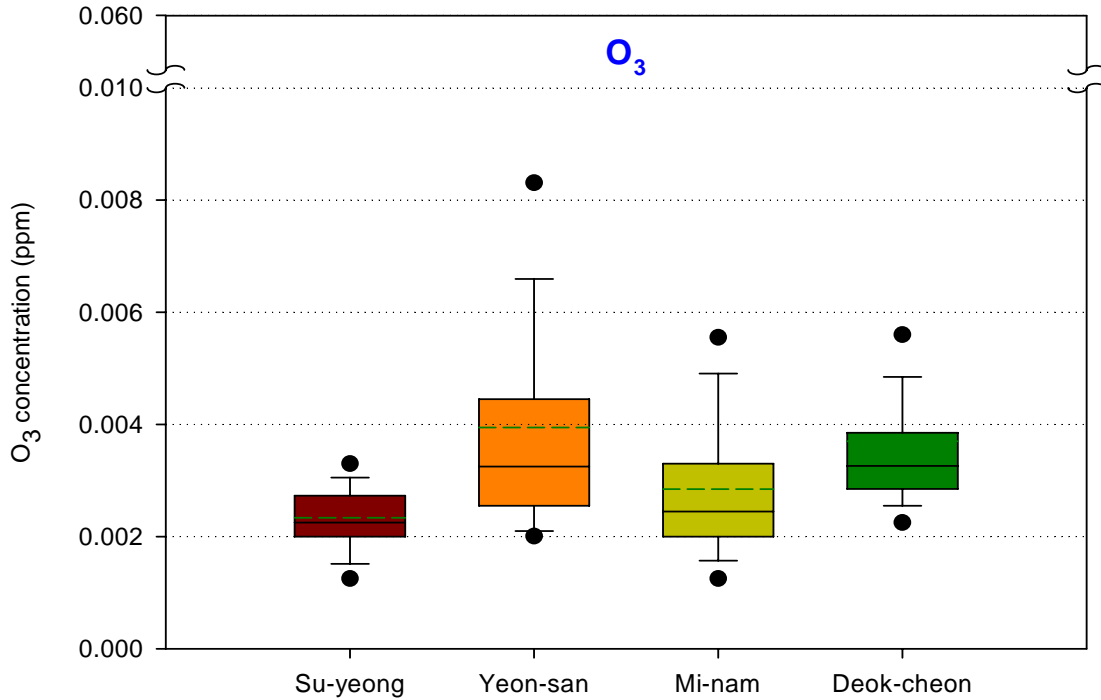


그림 11. 측정소별 오존(O3)의 일평균 농도분포

○ 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,
- 5개 측정항목 중 「다중이용시설 등의 실내공기질 관리법」상의 기준을 1회 이상 초과한 항목은 PM10, CO₂ 및 NO₂였음.
- PM10의 경우 황사, 지하철 내부공사 및 지하철 4호선 공사 등의 영향으로 일부 시간대에서 유지기준인 150ug/m³을 초과하였으며,
- CO₂의 경우 「부산세계불꽃축제」의 영향으로 지하철에 승객이 일시에 집중되면서 유지기준인 1,000ppm을 초과한 예가 발생하였음.
- NO₂의 경우 측정지점수가 전년도에 비하여 2개소가 증가하여 초과횟수는 전년도에 비하여 약 7.8% 증가하였으나, 전체 측정횟수에 대한 기준초과비율은 전년도에 비하여 약 1.3%포인트 감소하였음.

표 5. 측정항목별 유지(권고)기준 초과 현황

구분		PM10 (ug/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	2010년	208회 (0.56%)	-	3회 (0.009%)	10,793회 (32.8%)	-
	2009년	-	-	-	9,952회 (34.1%)	-

표 6. 측정지점별 유지(권고)기준초과 현황

구분		서면역				서면역 평균 ¹⁾
		1호선 대합실	1호선 승강장	2호선 대합실	2호선 승강장	
미세먼지 (PM10)	2010년	17	3	7	14	7
	2009년	0	0	0	0	0
이산화탄소 (CO ₂)	2010년	0	2	-	-	0
	2009년	-	-	-	-	0
이산화질소 (NO ₂)	2010년	0	0	-	-	0
	2009년	-	-	-	-	0

구분		측정소					합계
		서면역 ²⁾	수영역	연산역	미남역	덕천역	
미세먼지 (PM10)	2010년	41	6	8	113	40	208
	2009년	0	0	0	0	0	0
이산화탄소 (CO ₂)	2010년	2	1	0	0	0	3
	2009년	-	0	0	0	0	0
이산화질소 (NO ₂)	2010년	1,058	2,534	1,729	2,306	3,166	10,793
	2009년	-	1,704	1,861	3,053	3,334	9,952

- 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 행사, 지하철 공사 및 지하주차장 등의 영향으로 인하여 8개 측정지점 모두에서 일시적으로 PM10 농도가 유지기준인 150ug/m³을 초과하였으며,
- 특히 미남역의 경우 낮시간대에 특히 초과가 많이 되었는데, 이는 지하철 4호선 공사의 영향을 많이 받는 것으로 판단됨.

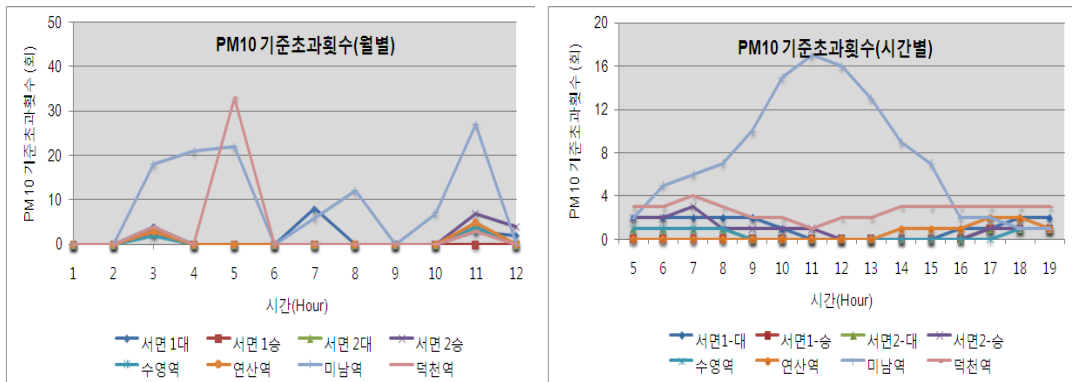


그림 12. PM10의 월별 및 시간별 유지기준 초과현황

▷ 측정지점별 CO₂ 권고기준 초과내역

- CO₂의 경우 「부산세계불꽃축제」의 영향으로 지하철에 승객이 일시에 집중되면서 유지기준인 1,000ppm을 초과한 예가 발생하였으며,
- 행사 시작전인 17~18시에 서면역 1호선 승강장에서 초과하였으며, 행사 종료직후인 22시에 행사장에서 가장 가까운 수영역에서 유지기준을 초과하였음.

▷ 측정지점별 NO₂ 권고기준 초과내역

- 측정지점별 NO₂ 권고기준 초과횟수는 덕천역에서 약 3,166회로 가장 많았으며, 그 다음으로는 수영역 > 미남역 > 연산역 > 서면역 1호선 대합실 > 서면역 1호선 승강장 순으로 많이 초과하였음.
- 기준 초과율은 덕천역(43.4%) > 수영역(34.7%) > 미남역(31.6%) > 서면역 1호선 대합실(30.9%) > 서면역 1호선 승강장(26.6%) > 연산역(23.7%) 순으로 나타났음.
- 이는 6개 측정지점 모두 교통이 혼잡한 교차로 지하에 위치해있기 때문에 교차로를 지나는 자동차의 영향을 많이 받는 것으로 판단되었으며,
- 특히, 덕천역의 경우 역사 대합실 지하에 위치한 지하주차장의 영향을 많이 받아 NO₂의 농도가 높았던 것으로 판단되었음.
- 또한 지하역사에 존재하는 이산화질소는 도시대기에서처럼 광화학반응이 거의 일어나지 않기 때문에 도시대기보다 일반적으로 높은 농도로 존재하는 것으로 판단됨.
- NO₂ 권고기준의 월별 초과빈도는 6개 측정지점 모두 뚜렷한 경향은 없었으나, 대체로 여름철인 7~8월에 많이 감소되는 것으로 나타났으며,
- 시간별 초과빈도는 6개 측정지점 모두 자동차 통행량이 많은 낮시간대에는 증가하였으며, 차량 통행량이 상대적으로 적은 이른 아침시간 및 저녁 늦은 시간에는 상대적으로 초과횟수가 감소하였음.

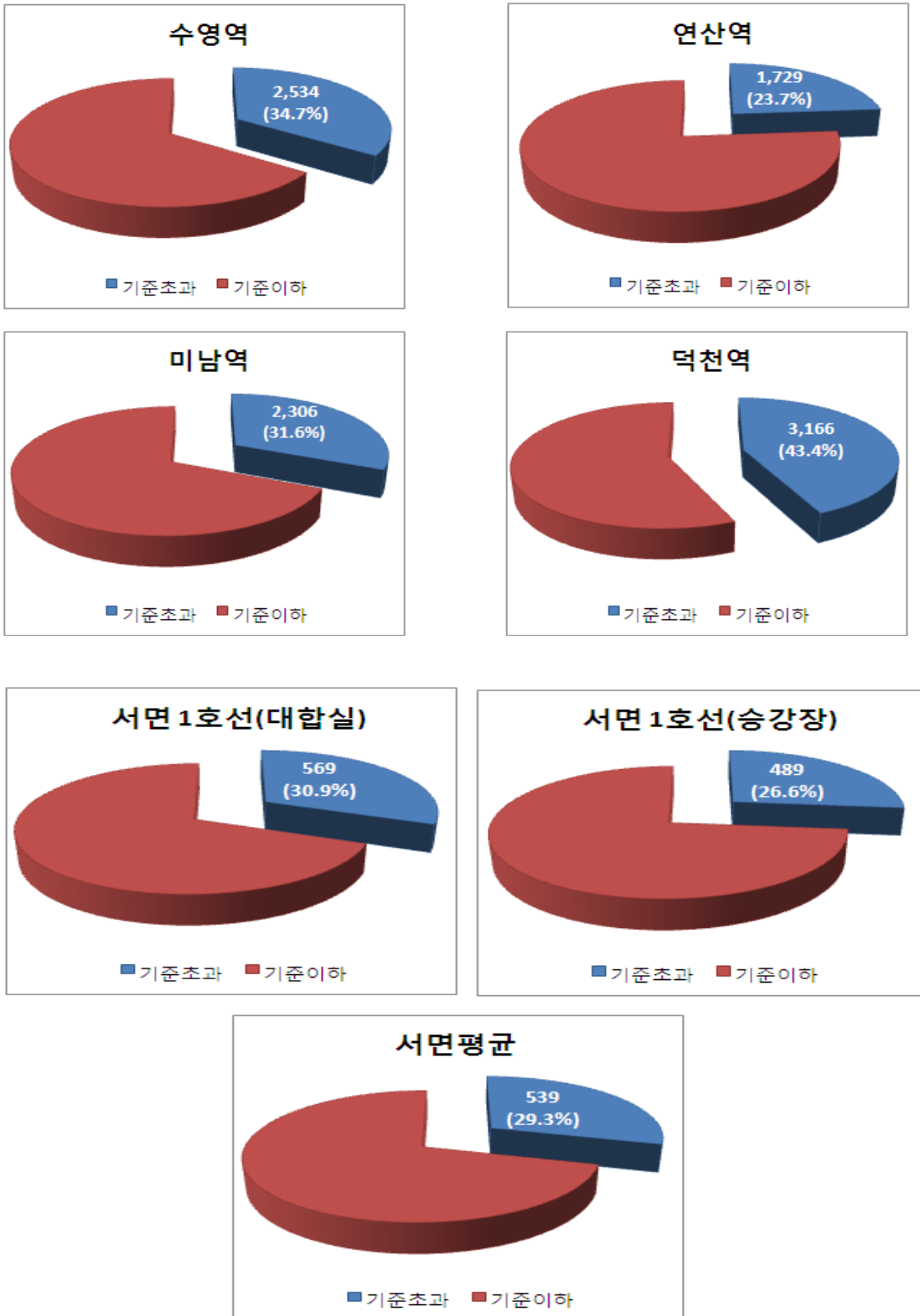


그림 13. NO₂의 권고기준 초과현황

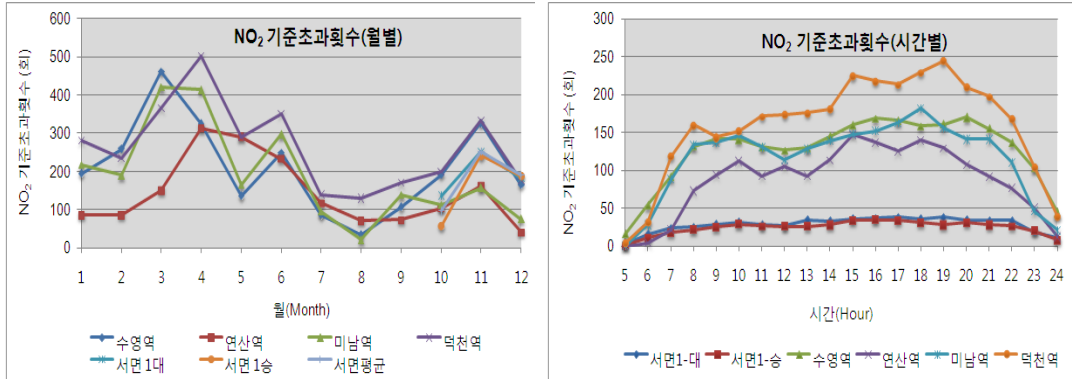


그림 14. NO₂의 월별 및 시간별 권고기준 초과현황

4. 오염물질 저감대책

○ 미세먼지 저감대책

▷ 미세먼지 발생방지

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

▷ 미세먼지 비산방지

- 지하역사 내 각종 공사작업시 또는 공사자재의 적재 및 이동시에도 미세먼지가 역내로 비산되지 않도록 철저한 방진작업이 필요하며,
- 스크린도어 설치 확대
- 환기설비 개량 및 관리시스템 개선

▷ 실내공기질 모니터링 강화

- 현재 5개 지하역사 8개 지점에 대하여 실내공기질 자동측정망을 운영 중에 있으며,
- 서면역 2개 지점(1호선 대합실 및 승강장)에 PM2.5 및 이산화질소를 비롯한 가스상 물질 측정기기 추가 설치 완료
 - 2010년 10월 1일부터 정상가동
- 향후 국비확보 후 자동측정기기 추가 설치 예정
 - 2011년 2개 지하역사(사상역, 남포동역)에 미세먼지 및 가스상 물질 측정기기 추가 설치예정

○ 이산화탄소 저감대책

▷ 환기시설 가동 강화

- 지하역사내 이산화탄소 농도는 주로 이용객에 의한 발생이 대부분이므로 이용객이 증가하는 출·퇴근시간에는 환기시설 가동 강화
- 환기설비 가동시간, 정기 점검사항, 주기별 교체항목 등을 포함하는 환기설비 운영 및 관리 가이드라인 마련
- 시설별 오염특성을 고려한 합리적인 환기기준 마련

▷ 실내공기질 모니터링 강화

○ 이산화질소 저감대책

▷ 환기구 높이 인상 필요

- 6개 측정지점 모두 교통이 혼잡한 교차로 지하에 위치해 있기 때문에 출·퇴근 시간대에 교차로를 지나는 자동차의 영향을 많이 받는 것으로 판단되며, 따라서 자동차 배기가스가 직접 유입이 안되도록 환기구 높이 인상 검토 필요

- 향후 지하철 공사시 환기구 높이 인상 검토

▷ 지속적인 환기

- 환기구에 고효율 필터 설치 및 환기시설 가동 강화

▷ 실내공기질 모니터링 강화