

터널대기질 조사

부산지역 주요 터널내 공기질의 실태를 제공하므로서 환기시설의 효율적 관리의 유도로 이용 시민들의 건강피해 예방을 위한 기초자료 제공

1. 조사개요

○ 조사기간 및 근거

- ▷ 조사기간 : 2010년 11월 23일~25일, 12월3일 (4일간)
- ▷ 시행근거 : 부산광역시 환경보전과 67302-0(2003. 2. 25.)호
- ▷ 관련기준 : 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 제42조 (터널의 환기시설 등)
CO(일산화탄소) : 100ppm이하 NO_x(질소산화물) : 25ppm이하

○ 조사지점 : 기계식 환기시설이 설치된 부산 시내 7개 주요터널

터널명	위 치	환기방식	규 모 (길이×폭)	환기시설	비고
부 산	중구 영주동 ~ 서구 동대신동	제트팬식 반회류식	643 m×8.5 m 660 m×9.4 m	제트팬 11 kW×14대 송풍기 90 kW×4대	2련
구 덕	구덕운동장 ~ 사상구 학장동	반회류식	1,870 m×9.4 m	송풍기 200 kW×8대	2련
수 정	부산진구 가야동 ~ 동구 좌천동	제트팬식 전기집진식	2,356 m×9.9 m	제트팬 37 kW×22대 전기집진기 270 kW×4대	2련
백 양	부산진구 당감동 ~ 사상구 모라동	반회류식	2,340 m×10.5 m	송풍기 30 kW×6대 송풍기 140 kW×6대	2련
만덕2	동래구 온천동 ~ 북구 만덕동	반회류식	1,740 m×9.4 m	송풍기 320 kW×8대	2련
광 안	남구 대연동 ~ 수영 광안동	반회류식	1,110 m×9.8 m	송풍기 130 kW×4대	2련
황 령	부산진구 진포동 ~ 남구 대연동	반회류식	1,860 m×9.4 m	송풍기 320 kW×4대 송풍기 120 kW×4대	2련

○ 조사항목(6개 항목)

- ▷ 아황산가스(SO₂), 일산화탄소(CO), 오존(O₃), 일산화질소(NO), 이산화질소(NO₂), 질소산화물(NO_x)

○ 측정방법

- ▷ 터널 내 통과차량과 비슷한 운행조건의 공기질 평가를 위한 대기오염이동측정차량을 이용
- ▷ 오전·오후 시간대에 조사대상 터널을 지나가면서 상·하행 이동측정

2. 조사결과

○ 측정일자 및 통과시간

▷ 터널별 실내공기질 측정일자와 통과방향, 시간대 및 대기오염이동측정차량의 통과시간 (저속운행 : 시속 약 30 Km)은 표. 1과 같으며, 측정 당시 모든 터널에서 지난 해와 달리 심한 정체없이 대체로 원활한 교통소통을 보였다.

표 1. 터널별 측정시간대 및 통과시간

터널명	오 전			오 후		
	방 향(상·하행)	시간대(일자)	통과시간 (분:초)	방향(상·하행)	시간대((일자)	통과시간 (분:초)
부산	영주⇨동대신(상)	10:00 (11/23)	01:03	영주⇨동대신(상)	13:00 (11/23)	01:03
	동대신⇨영주(하)	10:00 (11/23)	01:03	동대신⇨영주(하)	14:00 (11/23)	01:03
구덕	서대신⇨학장(상)	10:00 (11/23)	02:42	서대신⇨학장(상)	13:00 (11/23)	02:42
	학장⇨서대신(하)	10:00 (11/23)	02:42	학장⇨서대신(하)	13:00 (11/23)	02:42
수정	좌천 ⇨ 가야(상)	10:00 (12/03)	03:56	좌천 ⇨ 가야(상)	13:00 (11/25)	03:10
	가야 ⇨ 좌천(하)	10:00 (12/03)	03:09	가야 ⇨ 좌천(하)	14:00 (11/25)	03:09
광안	대연 ⇨ 광안(상)	10:00 (11/24)	01:39	대연 ⇨ 광안(상)	13:00 (11/24)	01:39
	광안 ⇨ 대연(하)	10:00 (11/24)	01:21	광안 ⇨ 대연(하)	14:00 (11/24)	01:39
황령	대연 ⇨ 전포(상)	09:00 (11/23)	02:33	대연 ⇨ 전포(상)	13:00 (11/23)	02:24
	전포 ⇨ 대연(하)	11:00 (11/23)	02:43	전포 ⇨ 대연(하)	14:00 (11/23)	03:01
백양	당감 ⇨ 모라(상)	10:00 (12/03)	03:27	당감 ⇨ 모라(상)	13:00 (11/25)	02:51
	모라 ⇨ 당감(하)	10:00 (12/03)	03:19	모라 ⇨ 당감(하)	14:00 (11/25)	03:18
만덕2	만덕 ⇨ 은천(상)	10:00 (11/25)	02:15	만덕 ⇨ 은천(상)	14:00 (11/25)	02:24
	은천 ⇨ 만덕(하)	10:00 (11/25)	02:33	은천 ⇨ 만덕(하)	14:00 (11/25)	02:51

○ 평균농도

- ▷ 터널별 상·하행 통과시간대별 오염도조사 결과 항목별 평균농도는 <그림. 1> <표. 2>에 보듯이 SO₂의 경우 만덕2>백양>수정>구덕>황령>광안>부산터널 순으로 만덕2터널에서 0.024 ppm으로 가장 높았으며 최대농도 역시 만덕 2터널에서 0.080 ppm을 보였다. 최소 농도는 0.003~0.009 ppm의 농도 범위를 보였다.
- ▷ CO는 터널환기기준(100 ppm 이하)이 설정된 항목으로 평균농도는 황령=만덕2>백양>부산>수정>구덕>광안터널 순으로 황령과 만덕2터널에서 2.2 ppm으로 가장 높은 농도를 나타내면서 최대농도는 황령터널에서 5.6 ppm을 나타내었다. 최소농도는 0.4~0.7 ppm의 농도 범위를 보였다. 그리고 모든 터널에서 환기기준을 크게 미달하면서 초과한 터널을 없었다.
- ▷ O₃의 경우 평균농도는 부산=황령>구덕=만덕2>수정=광안=백양터널 순으로 일반 대기질 보다 훨씬 낮은 0.002~0.004 ppm의 농도분포를 보였는데, 이는 터널 내 운행하는 차량에서 발생된 NO가 빛에 의한 광화학반응이 없는 상태에서 O₃이 형성되지 않은 결과로 터널별 오염도 차이는 큰 의미가 없는 것으로 사료된다.
- ▷ NO_x는 CO와 같이 터널환기기준(25 ppm 이하)이 설정된 항목으로 NO와 NO₂의 합을 말하며, 평균농도는 백양>만덕2>수정>>황령>광안>구덕>부산터널 순으로 백양터널에서

2.311 ppm으로 최대농도 5.355 ppm과 함께 가장 높은 농도를 보였다. 최소농도는 구덕 터널에서 0.093 ppm을 보였다. 모든 터널에서 환기기준을 크게 미달하면서 초과한 터널은 없었다.

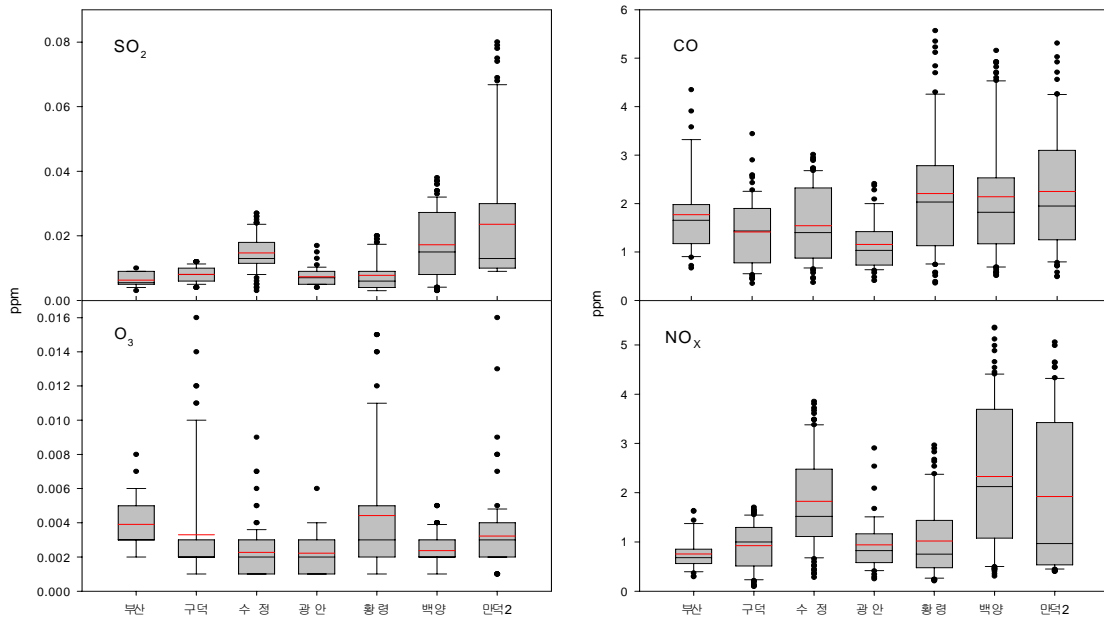


그림 1. 터널별 농도분포도

표 2. 터널별 공기질 평균농도

항목 (ppm)		부산	구덕	수정	광안	황령	백양	만덕2
SO ₂	평균	0.006	0.008	0.015	0.007	0.008	0.017	0.024
	최대	0.010	0.012	0.027	0.017	0.020	0.038	0.080
	최소	0.003	0.004	0.003	0.004	0.003	0.003	0.009
CO	평균	1.8	1.4	1.5	1.2	2.2	2.1	2.2
	최대	4.4	3.4	3.0	2.4	5.6	5.2	5.3
	최소	0.7	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5
O ₃	평균	0.004	0.003	0.002	0.002	0.004	0.002	0.003
	최대	0.008	0.016	0.009	0.006	0.015	0.005	0.016
	최소	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
NO	평균	0.681	0.800	1.704	0.856	0.884	2.176	1.774
	최대	1.543	1.450	3.668	2.699	2.645	5.168	4.678
	최소	0.236	0.067	0.218	0.200	0.171	0.222	0.309
NO ₂	평균	0.074	0.126	0.122	0.085	0.132	0.135	0.150
	최대	0.137	0.327	0.314	0.208	0.402	0.359	0.527
	최소	0.009	0.027	0.000	0.000	0.037	0.000	0.000
NO _x	평균	0.755	0.926	1.825	0.941	1.017	2.311	1.924
	최대	1.633	1.702	3.852	2.905	2.964	5.355	5.056
	최소	0.294	0.093	0.279	0.250	0.208	0.251	0.398

○ 시간대별 농도분포

- ▷ 터널별 오전·오후시간대별 조사결과 <그림. 2> <표. 3>과 같으며 주 배출원인 차량의 종류별, 통행량과 운행속도 등에 따라 많은 차이를 보였다.
- ▷ 시간대별 평균농도는 SO₂의 경우 만덕2터널 오후시간대에 0.029 ppm으로 가장 높은 농도를 보였다.
- ▷ CO의 경우 황령, 백양, 만덕2터널에서 오전·오후시간대와 부산터널의 오전시간대에 2.1~2.2 ppm의 가장 높은 농도를 보였으며, 방향별로 보면 부산터널은 오전시간대 영주⇨동대신(상), 황령터널에서 오전시간대 대연⇨전포(상) 오후시간대 전포⇨대연(하), 백양터널은 오후시간대 모라⇨당감(하), 만덕2터널은 온천⇨만덕(하) 방향에서 오전·오후시간대에 상대적 높은 농도를 보였다.
- ▷ NO_x의 경우 백양터널에서 오후시간대에 2.626 ppm으로 가장 높은 농도를 보였고, 그 외 만덕2터널 오전·오후시간대 온천⇨만덕(하), 수정터널 오전시간대 좌천⇨가야(상) 가야⇨좌천(하)에서도 비교적 높은 농도를 보였다.

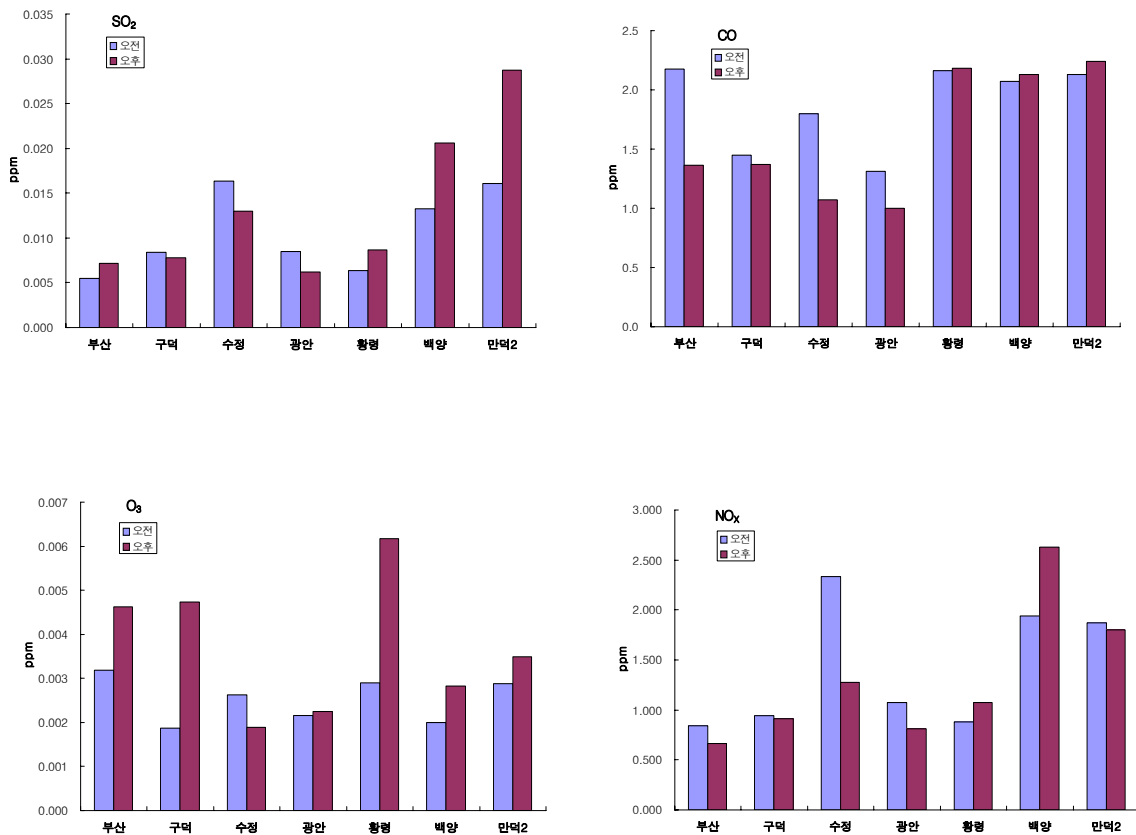


그림 2. 시간대별 농도비교

표 3. 시간대별 농도분포

(단위 : ppm)

터널	시간대	방향	SO ₂	평균	CO	평균	O ₃	평균	NO	평균	NO ₂	평균	NO _x	평균
부산	오전	상	0.007	0.005	2.6	2.2	0.003	0.003	1.034	0.768	0.048	0.077	1.082	0.846
		하	0.004		1.8		0.004		0.503		0.106		0.610	
	오후	상	0.006	0.007	1.4	1.4	0.004	0.005	0.461	0.594	0.053	0.071	0.514	0.665
		하	0.009		1.4		0.005		0.728		0.089		0.816	
구덕	오전	상	0.010	0.008	1.7	1.4	0.002	0.002	1.127	0.821	0.154	0.121	1.281	0.942
		하	0.007		1.2		0.002		0.514		0.088		0.602	
	오후	상	0.008	0.008	1.5	1.4	0.004	0.005	0.848	0.779	0.119	0.132	0.967	0.910
		하	0.007		1.3		0.005		0.709		0.145		0.854	
수정	오전	상	0.015	0.016	2.1	1.8	0.002	0.003	2.127	2.227	0.068	0.110	2.194	2.334
		하	0.018		1.4		0.003		2.327		0.152		2.474	
	오후	상	0.013	0.013	1.3	1.1	0.002	0.002	1.166	1.134	0.165	0.140	1.331	1.275
		하	0.013		0.9		0.002		1.103		0.115		1.218	
광안	오전	상	0.009	0.009	1.5	1.3	0.002	0.002	1.135	1.004	0.044	0.070	1.179	1.073
		하	0.008		1.1		0.002		0.873		0.096		0.968	
	오후	상	0.007	0.006	1.0	1.0	0.003	0.002	0.853	0.710	0.111	0.101	0.964	0.811
		하	0.006		1.0		0.002		0.567		0.091		0.658	
황령	오전	상	0.006	0.006	3.0	2.2	0.003	0.003	0.678	0.767	0.120	0.117	0.797	0.885
		하	0.006		1.3		0.003		0.857		0.115		0.972	
	오후	상	0.004	0.009	1.3	2.2	0.008	0.006	0.343	0.934	0.085	0.141	0.428	1.075
		하	0.013		3.1		0.004		1.524		0.198		1.722	
백양	오전	상	0.011	0.013	1.8	2.1	0.002	0.002	1.446	1.839	0.131	0.103	1.578	1.942
		하	0.016		2.4		0.002		2.232		0.074		2.306	
	오후	상	0.011	0.021	1.1	2.1	0.003	0.003	1.049	2.456	0.176	0.170	1.225	2.626
		하	0.030		3.2		0.003		3.863		0.163		4.027	
만덕2	오전	상	0.009	0.016	1.3	2.1	0.003	0.003	0.514	1.688	0.097	0.182	0.611	1.870
		하	0.023		3.0		0.003		2.862		0.268		3.130	
	오후	상	0.012	0.029	1.3	2.2	0.003	0.003	0.380	1.684	0.101	0.115	0.481	1.799
		하	0.046		3.1		0.004		2.988		0.128		3.117	

○ 도시대기질과의 비교

- ▷ 터널내 환기기준이 설정되어있는 항목인 CO와 NO_x의 경우 모든 터널에서 기준치 이내를 유지하고 있었는데, 환기기준이 없는 항목인 SO₂와 O₃, NO₂에 대하여는 도로변과 도시대기오염도와의 오염도 수준을 비율로 비교하였다. 물론 실내 공간인 터널 내 높은 농도의 공기질을 일반 대기질과 비교한다는 것은 다소 무리가 있겠지만 참고 사항으로 비교한 결과 <표. 4>와 같이 항목별로 많은 차이가 있었다.
- ▷ 대기질의 실내·외 주변 환경과 배출원과의 거리 등 일반적인 특성에 따라, 터널>도로>도시대기의 오염도수준을 보였다.
- ▷ SO₂의 경우 만덕2터널에서 도로변과 도시대기와 비교시 4.0배, CO의 경우도 황령터널과 만덕2터널에서 도로변과는 4.4배 도시대기의 5.5배의 농도수준으로 백양터널에서도 비슷한 경향을 보인 반면, O₃의 경우 0.1~0.3배의 낮은 농도를 보였다. 그리고 자동차 배출가스의 주요 오염물질인 NO_x중 대기환경기준 항목인 NO₂의 경우 도로변과 도시대기에 비하여 1.9~7.9배의 범위를 보이면서 만덕2터널의 경우 도시대기질에 비해 7.9배의 높은 농도를 보였다.

▷ 참고적으로 NO₂의 경우 대기환경기준에 준용할 경우 부산과 광안터널을 제외하고는 전반적으로 높게 나타났다.

표 4. 도시대기질과의 농도비교

터널	SO ₂ (ppm)	농도비(배)		CO (ppm)	농도비(배)		O ₃ (ppm)	농도비(배)		NO ₂ (ppm)	농도비(배)	
		A	B		A	B		A	B		A	B
부산	0.006	1.0	1.0	1.8	3.6	4.5	0.004	0.3	0.2	0.074	1.9	3.9
구덕	0.008	1.3	1.3	1.4	2.8	3.5	0.003	0.2	0.1	0.126	3.3	6.6
수정	0.015	2.5	2.5	1.5	3.0	3.8	0.002	0.1	0.1	0.122	3.2	6.4
광안	0.007	1.2	1.2	1.2	2.4	3.0	0.002	0.1	0.1	0.085	2.2	4.5
황령	0.008	1.3	1.3	2.2	4.4	5.5	0.004	0.3	0.2	0.132	3.5	6.9
백양	0.017	2.8	2.8	2.1	4.2	5.3	0.002	0.1	0.1	0.135	3.6	7.1
만덕2	0.024	4.0	4.0	2.2	4.4	5.5	0.003	0.2	0.1	0.150	3.9	7.9
도로변	0.006				0.5		0.016				0.038	
도시대기	0.006				0.4		0.025				0.019	

※ 'A' : 터널/도로변대기 배율(배), 'B' : 터널/도시대기 배율(배)

※ 대기환경기준

- SO₂ : 1시간평균치 0.15 ppm 이하
- CO : 1시간평균치 25 ppm 이하
- NO₂ : 1시간평균치 0.10 ppm 이하
- O₃ : 1시간평균치 0.10 ppm 이하

○ 전년도와의 비교

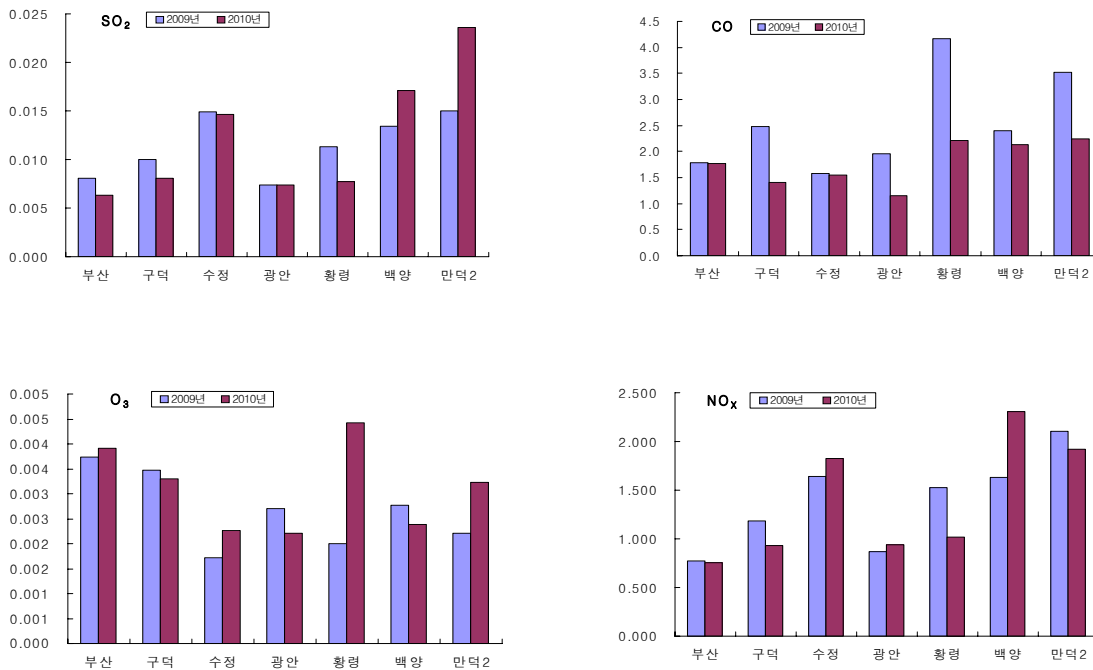


그림 3. 전년도와 농도비교

- ▷ 전년도와 농도변화를 비교할 경우 <그림 3. 전년도와 농도비교>와 같이 SO₂는 백양, 만덕2터널에서는 다소 높아졌으나 나머지 터널에서는 감소를 보였다.
- ▷ CO의 경우 모든 터널에서 전년도에 비해 낮은 농도를 보였다.
- ▷ O₃는 부산, 수정, 황령, 만덕2터널에서 다소 증가를 보였다.
- ▷ NO_x의 경우 수정, 광안, 백양터널에서 약간의 증가를 보였으나 나머지 터널에서는 감소를 보였다.
- ▷ 특이사항으로 측정당시 모든 터널에서 차량통행이 전년도에 비해 정체없이 원활한 상태를 보였는데, 특히 전년도 차량정체가 심했던 황령터널에서 CO의 경우 4.2 ppm에서 2.2 ppm으로 많이 낮아졌으며 그 외, SO₂, NO_x도 감소 현상을 보였다.

3. 결론

- 터널환기기준인 CO 100 ppm, NO_x 25 ppm을 초과한 터널은 없었다.
- 터널별 평균농도 오염도 순위는 SO₂의 경우 만덕2>백양>수정>구덕=황령>광안>부산터널, CO는 황령=만덕2>백양>부산>수정>구덕>광안터널, O₃의 경우 부산=황령>구덕=만덕2>수정=광안=백양터널, NO_x는 백양>만덕2>수정>황령>광안>구덕>부산터널의 순으로 나타났다.
- 터널별 오전·오후시간대별 평균농도는 SO₂의 경우 만덕2터널 오후시간대에 0.029 ppm으로 가장 높은 농도를 보였고, CO는 황령, 백양, 만덕2터널의 오전·오후시간대와 부산터널의 오전시간대에 2.1~2.2 ppm의 가장 높은 농도를 보였다. 그리고 NO_x의 경우 백양터널에서 오후시간대에 모라<=>당감(하) 방향에서 2.626 ppm으로 가장 높은 농도를 보였다.
- 도로변과 도기대기질 농도 비교시 SO₂의 경우 만덕2터널에서 도로변과 도시대기의 4.0배, CO는 황령터널과 만덕2터널에서 도로변 4.4배 도시대기 5.5배의 농도수준을 보였다. NO₂의 경우 도로변, 도시대기에 비하여 1.9~7.9배의 범위를 보이면서 만덕2터널의 경우 도시대기질에 비해 7.9배의 높은 농도를 보였다.
- 전년도와 농도비교시 특이사항으로 차량정체가 심하여 높은 오염도를 보였던 황령터널에서 올해의 경우 차량통행이 원활하여 CO의 경우 4.2 ppm에서 2.2 ppm으로 낮아졌으며 그 외, SO₂, NO_x도 역시 감소 현상을 보였다.
- 자동차에서 배출되는 CO, NO_x는 대표적 대기오염물질로 교통정체 및 혼잡 등에 의한 공회전으로 가중된다고 볼 수 있다. 이러한 현상이 터널 내 자동차 배출가스를 증가시킨다는 것을 조사결과 확인 할 수 있었다. 따라서, 터널공기질의 대기오염물질 저감 방안으로 원활한 차량통행을 위한 정체 현상의 사전방지 등 교통문제를 해결하는 것이 매우 중요하며, 아울러 터널 내 환기시설의 충분한 가동도 함께 선행되어야 할 것이다.