

터널 공기질 조사

○ 부산지역 주요 터널의 공기질 조사로 시민의 건강피해를 예방하기 위한 대책수립에 필요한 기초자료 제공

1. 조사개요

- 조사기간 및 근거
 - 년 1회 : 2006년 12월 3일~31일(18일간)
 - 조사근거 : 부산광역시 환경보전과 67302-0(2003.02.25)호
- 조사지점
 - 조사지점 : 기계식 환기시설이 설치된 부산 시내 7개 터널 대상

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

※ 지점선정 조건 : 이동측정차량의 주차 공간 및 전원공급 여부.

- 조사항목 : 가스상 물질 5개 항목(SO₂, NO, NO₂, O₃, CO)
- 측정방법
 - 샘플장치를 터널 내부에 설치하고 이동측정차량에 라인을 연결하여 24시간 연속측정
 - 전년도 측정 방법과는 달리 상·하 양방향을 1일 이상 측정하여 측정결과의 신뢰도를 향상 하였으며 양방향의 뚜렷한 차이가 나타나지 않아 시간대별 평균농도를 기준으로 결과를 정리함.

2. 조사결과

□ 평균농도

- 터널기준인 CO 100 ppm, NOx 25 ppm을 초과한 터널은 없었다.
- 가스상물질의 평균농도는 표 1에 나타난 바와 같으며, SO₂ 및 NO는 백양터널이, NO₂ 및 CO는 구덕터널이 가장 높게 나타났고 전반적으로 전년에 비해 다소 낮은 농도를 기록하였다.
- SO₂의 경우 전체 평균치는 9 ppb로 시간대별 최소 1 ppb에서 최대 73 ppb로 나타났고 터널별로는 백양터널이 18 ppb로 최대값을, 부산터널이 3 ppb로 최소값을 나타내었으며 7개 터널 전체 평균치는 전년 11 ppb에 비해 다소 감소하였다.
- NO와 NO₂의 경우 전체 평균치는 NO가 190 ppb, NO₂가 31 ppb로 나타났으며 시간 평균 최소값은 NO가 3, NO₂는 12 ppb, 최고치는 NO가 1,000 ppb, NO₂가 124 ppb로 조사되었다. 일 평균치는 NO가 39~338 ppb, NO₂는 19~40 ppb의 범위로 나타났으며, NO 및 NO₂는 백양터널에서 가장 높은 농도를 보였으나 전체적으로는 전년도 보다 다소 감소하였다.
- O₃의 경우 전체평균치는 2 ppb로 시간최소 1 ppb에서 최고 7 ppb로 나타났으며 측정지점 별로는 큰 차이를 보이지 않았다. O₃가 일반대기질의 평균농도 보다 훨씬 낮게 나타난 것은 터널을 운행하는 차량에서 발생된 NO가 외부에서 유입되는 O₃와 빠르게 반응하여 소모 되고, 빛에 의한 광화학반응 소스가 없어 오염물질이 형성되지 않은 결과로 판단된다.
- CO의 경우 전체 평균치는 1.5 ppm으로 시간 평균 최소 0.5 ppm에서 최고 6.6 ppm으로 나타났으며 지점별로는 부산터널이 0.8 ppm으로 가장 낮았으며, 구덕터널이 2.6 ppm로 최고치를 보였다.

표 1. 터널내 가스상물질 조사결과

터널명	측정일자	SO ₂ (ppb)		NO (ppb)		NO ₂ (ppb)		O ₃ (ppb)		CO (ppm)	
		'06	'07	'06	'07	'06	'07	'06	'07	'06	'07
부산	12/14~17	8	3	63	39	37	19	4	2	0.7	0.8
만덕2	12/12~14	15	7	276	166	63	32	2	1	1.4	1.4
광안	12/17~19	9	8	130	129	48	31	2	2	0.6	1.2
구덕	12/3~5	9	5	134	101	41	33	4	2	0.9	2.6
황령	12/28~31	12	13	362	299	112	37	4	2	1.2	2.0
백양	12/5~7	11	18	210	338	43	40	2	2	1.0	1.3
수정	12/10~12	16	11	299	258	57	26	1	2	1.0	1.4
평 균		11	9	211	190	57	31	3	2	1.0	1.5

□ 시간대별 농도

○ SO₂

7개 터널의 시간대별 평균농도 분포를 보면 3~4 시간대에 최저농도가 기록된 이후 출퇴근 차량이 증가하는 6시경부터 가파른 상승세를 나타낸 후 9시간대에 1차 고점을 나타내고 오후 4시간대에 일중 최고농도를 나타낸 후 야간까지 감소추세로 전환되었다.

지점별로는 백양 터널의 농도가 가장 높았으며, 농도변화 폭도 가장 크게 나타나 항만 물류 운송 수단인 컨테이너 차량의 통행량을 반영한 결과로 사료된다.

부산터널의 경우 시간대별 농도변화가 가장 작게 나타났는데 이는 터널길이가 짧아 오염물질의 정체가 상대적으로 적어 나타난 결과로 판단된다.

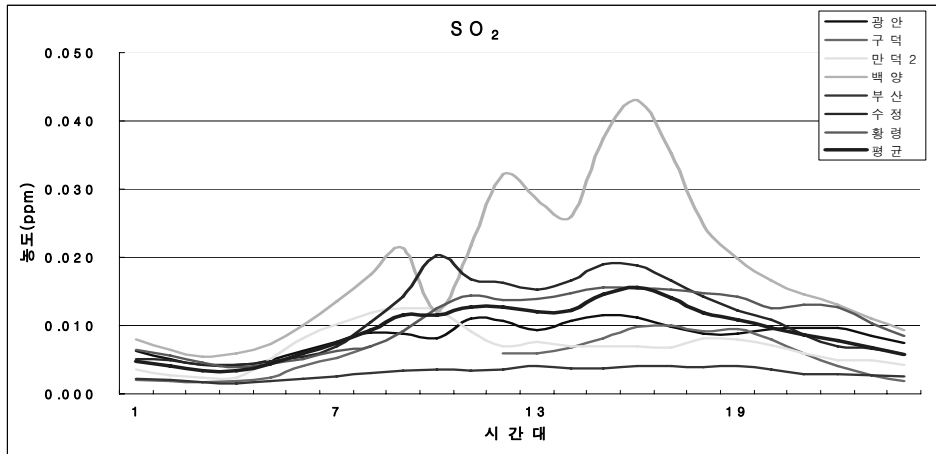


그림 1. SO₂ 시간대별 농도.

○ NO

7개 터널의 시간대별 평균농도 분포를 보면 SO₂와 비슷한 양상을 나타내고 있으며 오전 3~4시간대에 최저농도를 기록하다가 통행량이 증가하기 시작하면서 9시간대까지 급격하게 증가한 후 점심시간을 전후로 다소 감소한 후 오후 4시경에 최고농도를 기록하고 야간까지 지속적으로 감소하는 추세로 나타났다.

지점별로는 백양터널의 농도가 가장 높았으며 황령, 수정 터널의 순으로 나타나 대형 컨테이너의 통행량이 많은 터널들의 NO 농도가 상대적으로 높게 나타났다.

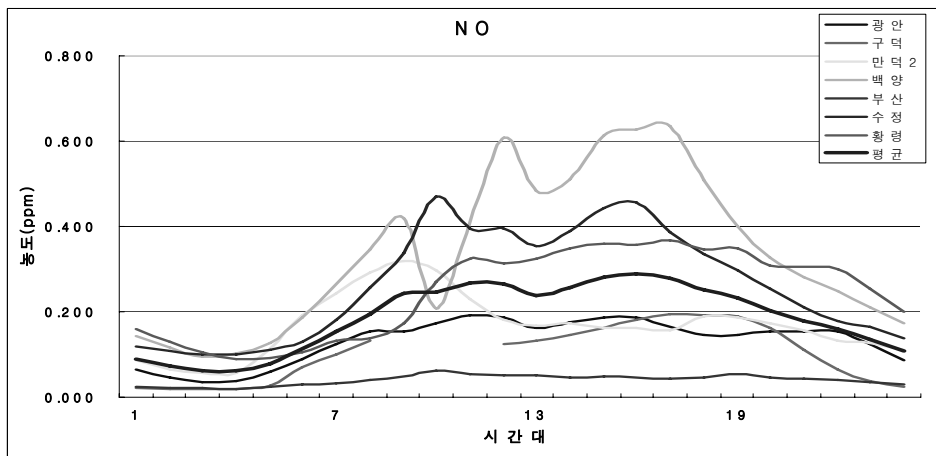


그림 2. NO 시간대별 농도.

부산터널의 경우 SO₂와 유사한 양상으로 평균농도가 낮게 나타나고 농도 변화 폭도 가장 적게 나타났는데 이는 터널길이가 가장 짧은 특성을 반영된 결과로 판단된다.

○ NO₂

NO₂는 연료 중의 질소 성분이 산화되어 직접 배출되거나 엔진내부의 고온에서 형성된 NO가 주위 공기의 O₃ 및 O₂와 반응하여 발생하는 오염물질로서 일반적으로 NO_x라 함은 NO와 NO₂의 합을 말하며 터널의 환기기준은 NO_x로서 25 ppm이며 이번 조사 결과는 기준을 훨씬 하회하는 양호한 결과를 나타내고 있다.

시간대별 평균농도 분포를 보면 NO와 비슷한 양상을 나타내고 있으며 오전 3~4시간대에 최저농도를 기록하다가 통행량이 증가와 더불어 11시간대까지 급격하게 증가한 후 점심시간을 전후로 다소 감소 후 증가하여 오후 4시경에 최고농도를 기록하고 야간까지 지속적으로 감소하는 추세로 나타났다.

전반적으로 전년에 비해 NO₂농도는 다소 낮게 나타났으며 터널별로는 백양, 황령, 구덕터널의 순으로 나타나 대형차량의 차량 통행량의 영향을 반영하고 있으며 부산터널의 농도가 가장 낮게 나타나 터널 길이의 장단이 농도에 크게 영향을 미치는 것으로 판단된다.

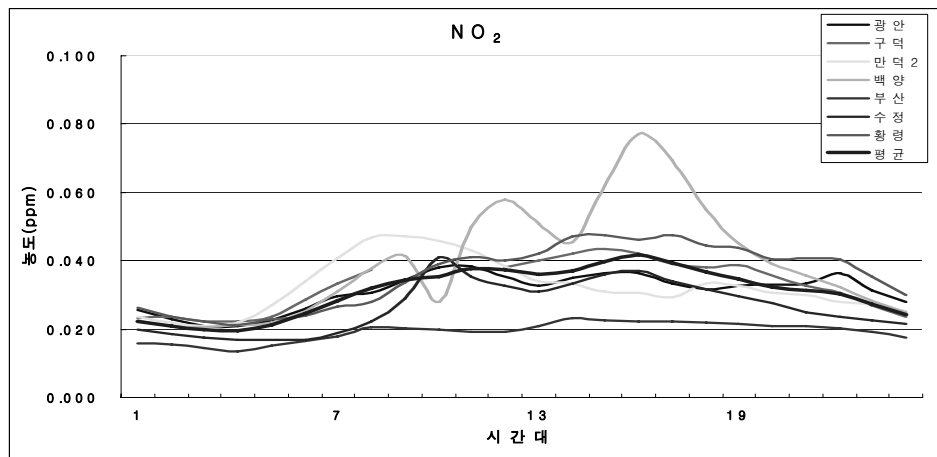


그림 3. NO₂ 시간대별 농도.

○ O₃

O₃는 대부분의 배출원이 자동차인 배출가스에서 기인하는 NO₂가 햇빛과 작용하여 생성되는 2차 오염물질로서 햇빛이 작용하지 않는 터널 환경에서는 대부분 외부로부터의 유입으로 판단된다.

외부에서 유입된 O₃는 빠른 시간 내에 터널 환경에서 풍부한 NO와 반응하여 NO₂를 형성함으로써 소멸되는 것으로 판단되며, 측정 결과 일반 대기질 환경과는 다른 저 농도 현상과 시간변화에 따른 농도 변화가 뚜렷하지 않아 O₃의 외부 유입을 시사하고 있다.

시간대별 농도 변화는 오전 11시간대에 가장 높은 농도를 나타내고 있으나 이는 전체적인 현상을 반영하기 보다는 백양터널의 동 시간대의 고농도 현상이 지배적으로 반영된 결과로 시간대별 농도변화의 뚜렷한 추이는 없는 것으로 판단된다.

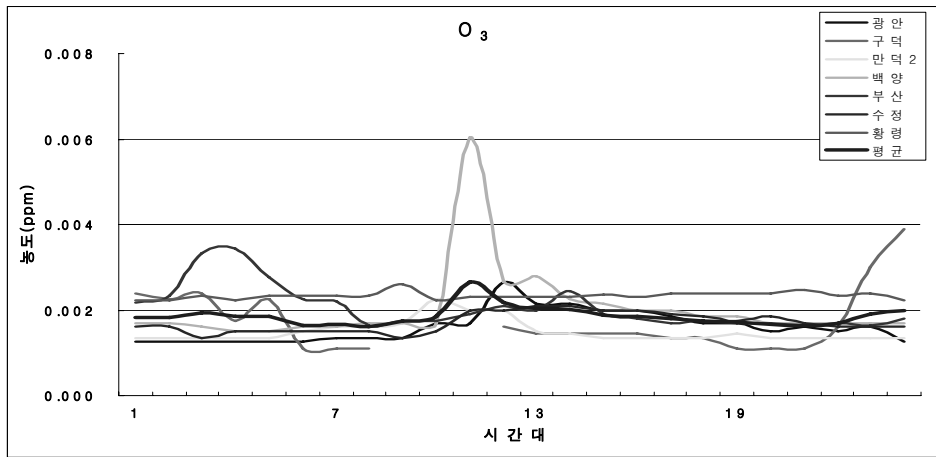


그림 4. O₃ 시간대별 농도.

○ CO

CO는 화석연료의 탄소성분이 불완전 연소되어 생성되는 1차 오염물질로서 교통량, 환기량 등의 요인에 따라 다른 결과가 예상되며, 2007년 조사 결과 터널 환기기준인 100 ppm을 초과하는 터널은 없었고 비교적 양호한 수준으로 조사되었다.

전년에 비해 다소 상승된 결과를 나타내고 있으며 터널별로는 구덕, 황령, 수정터널의 순으로 나타나 타 항목에 비해 대형 컨테이너 차량에 의한 영향이 적게 작용함을 알 수 있다.

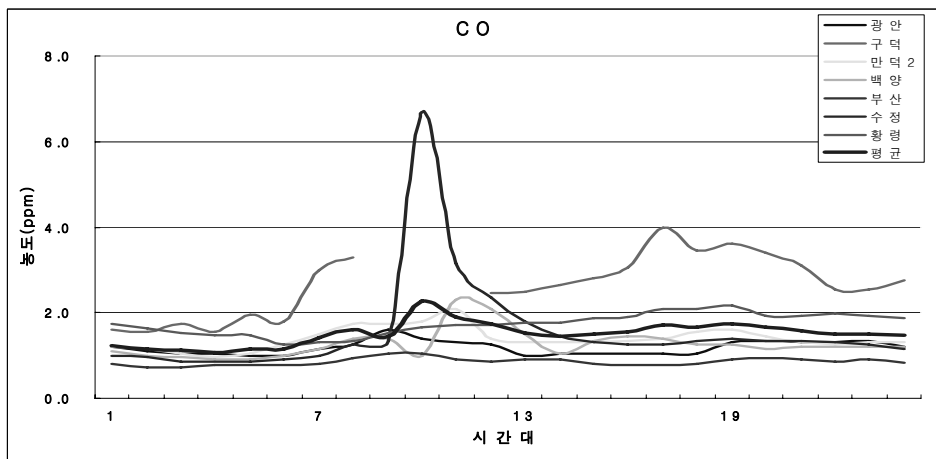


그림 5. CO 시간대별 농도.

□ 연도별 비교

- 터널 공기질의 연도별 변화를 로그 스케일로 나타내었다.
- 전년에 비해 CO를 제외한 전 항목에서 다소 감소된 결과를 나타내고 있으며 사용유류의 요인이 많이 작용하는 SO₂와 자동차 엔진온도 및 배출가스 저감장치의 영향이 많이 작용하는 NO 농도가 다소 감소되어 유류 및 엔진 개선 등의 영향이 다소 반영된 것으로 사료된다.

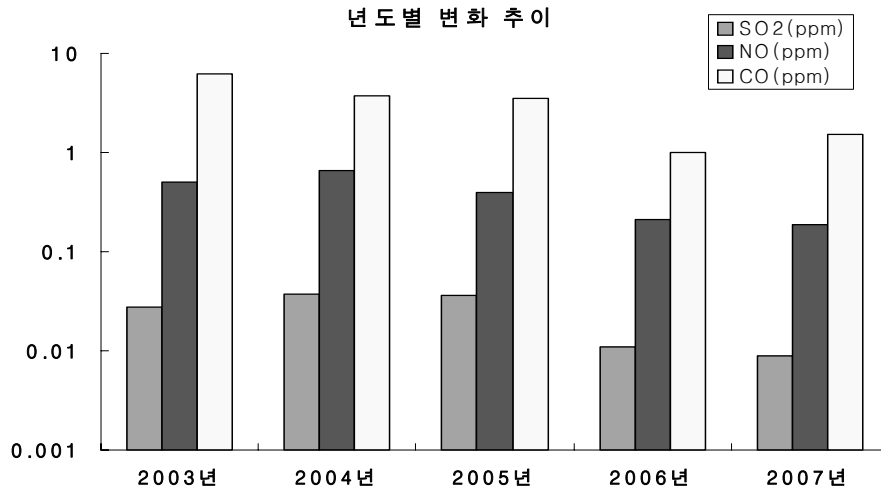


그림 6. 연도별 변화 추이.

3. 결론

- 터널환기기준인 CO 100 ppm, NO_x 25 ppm을 초과한 터널은 없었음
- 터널내의 오염물질은 차량 종류, 통행량, 터널길이, 환기량 등과의 관련이 많은 것으로 사료되며, 평균농도는 CO를 제외한 전 항목에서 전년대비 감소함
- SO₂ 농도는 백양 > 황령 > 수정터널의 순으로 높았음
- NO 농도는 백양 > 황령 > 수정터널의 순으로 나타났음
- NO₂ 농도는 백양 > 황령 > 구덕터널의 순으로 나타났음
- CO 농도는 구덕 > 황령 > 수정 순으로 나타났음
- 전반적으로 대형차량의 통행빈도가 높은 지역의 터널 공기질이 열악한 것으로 조사되어 이들 차량 배기가스의 개선 및 지도 점검이 요구됨

4. 참고자료(터널의 시간대별 측정값(단위 : ppm))

□ 부산터널

시간대	SO ₂	NO	NO ₂	O ₃	CO
1시간대	0.002	0.024	0.016	0.002	0.8
2시간대	0.002	0.021	0.015	0.002	0.7
3시간대	0.002	0.021	0.014	0.003	0.7
4시간대	0.002	0.019	0.014	0.003	0.8
5시간대	0.002	0.024	0.015	0.003	0.8
6시간대	0.002	0.029	0.017	0.002	0.8
7시간대	0.002	0.032	0.018	0.002	0.8
8시간대	0.003	0.041	0.021	0.002	0.9
9시간대	0.003	0.050	0.020	0.002	1.0
10시간대	0.004	0.062	0.020	0.002	1.1
11시간대	0.003	0.055	0.019	0.002	0.9
12시간대	0.004	0.051	0.019	0.002	0.9
13시간대	0.004	0.050	0.021	0.002	0.9
14시간대	0.004	0.047	0.023	0.002	0.9
15시간대	0.004	0.048	0.023	0.002	0.8
16시간대	0.004	0.047	0.022	0.002	0.8
17시간대	0.004	0.043	0.022	0.002	0.8
18시간대	0.004	0.045	0.022	0.002	0.8
19시간대	0.004	0.053	0.022	0.002	0.9
20시간대	0.004	0.047	0.021	0.002	0.9
21시간대	0.003	0.042	0.021	0.002	0.9
22시간대	0.003	0.040	0.020	0.002	0.9
23시간대	0.003	0.034	0.019	0.002	0.9
24시간대	0.003	0.030	0.018	0.002	0.8
평균	0.003	0.040	0.019	0.002	0.9
최대	0.004	0.062	0.023	0.003	1.1
최소	0.002	0.019	0.014	0.002	0.7

□ 만덕2터널

시간대	SO ₂	NO	NO ₂	O ₃	CO
1시간대	0.004	0.086	0.024	0.001	1.2
2시간대	0.003	0.064	0.022	0.001	1.2
3시간대	0.002	0.057	0.021	0.001	1.1
4시간대	0.002	0.057	0.022	0.001	1.0
5시간대	0.005	0.114	0.027	0.001	1.1
6시간대	0.008	0.192	0.034	0.002	1.3
7시간대	0.010	0.244	0.041	0.002	1.5
8시간대	0.012	0.292	0.047	0.002	1.8
9시간대	0.013	0.320	0.047	0.002	1.8
10시간대	0.012	0.297	0.046	0.002	1.8
11시간대	0.009	0.231	0.043	0.002	2.1
12시간대	0.007	0.181	0.039	0.002	1.4
13시간대	0.008	0.167	0.034	0.002	1.3
14시간대	0.007	0.173	0.033	0.001	1.3
15시간대	0.007	0.161	0.031	0.001	1.3
16시간대	0.007	0.163	0.031	0.001	1.4
17시간대	0.007	0.157	0.029	0.001	1.4
18시간대	0.008	0.189	0.033	0.001	1.6
19시간대	0.008	0.187	0.033	0.001	1.6
20시간대	0.007	0.173	0.031	0.001	1.5
21시간대	0.006	0.156	0.030	0.001	1.3
22시간대	0.005	0.133	0.028	0.001	1.3
23시간대	0.005	0.128	0.027	0.001	1.3
24시간대	0.004	0.110	0.025	0.001	1.3
평균	0.007	0.168	0.032	0.001	1.4
최대	0.013	0.320	0.047	0.002	2.1
최소	0.002	0.057	0.021	0.001	1.0

□ 광안터널

시간대	SO ₂	NO	NO ₂	O ₃	CO
1시간대	0.006	0.065	0.026	0.001	1.2
2시간대	0.005	0.046	0.023	0.001	1.1
3시간대	0.004	0.035	0.021	0.001	1.1
4시간대	0.004	0.039	0.021	0.001	1.1
5시간대	0.005	0.059	0.023	0.001	1.0
6시간대	0.006	0.089	0.026	0.001	1.0
7시간대	0.008	0.123	0.030	0.001	1.2
8시간대	0.009	0.155	0.031	0.001	1.3
9시간대	0.009	0.155	0.034	0.001	1.6
10시간대	0.008	0.172	0.038	0.002	1.4
11시간대	0.011	0.191	0.039	0.002	1.3
12시간대	0.011	0.188	0.036	0.003	1.3
13시간대	0.009	0.162	0.033	0.002	1.0
14시간대	0.011	0.176	0.035	0.002	1.1
15시간대	0.011	0.186	0.036	0.002	1.1
16시간대	0.011	0.186	0.036	0.002	1.1
17시간대	0.010	0.164	0.034	0.002	1.1
18시간대	0.009	0.146	0.032	0.002	1.1
19시간대	0.009	0.147	0.033	0.002	1.3
20시간대	0.010	0.155	0.033	0.002	1.4
21시간대	0.010	0.154	0.034	0.002	1.3
22시간대	0.010	0.155	0.036	0.002	1.3
23시간대	0.008	0.124	0.031	0.002	1.4
24시간대	0.008	0.087	0.028	0.001	1.2
평균	0.008	0.132	0.031	0.002	1.2
최대	0.011	0.191	0.039	0.003	1.6
최소	0.004	0.035	0.021	0.001	1.0

□ 구덕터널

시간대	SO2	NO	NO2	O3	CO
1시간대	0.002	0.021	0.023	0.002	1.6
2시간대	0.002	0.019	0.024	0.002	1.6
3시간대	0.002	0.018	0.022	0.002	1.8
4시간대	0.002	0.020	0.022	0.002	1.6
5시간대	0.002	0.026	0.024	0.002	2.0
6시간대	0.004	0.070	0.029	0.001	1.8
7시간대	0.005	0.101	0.033	0.001	3.0
8시간대	0.007	0.134	0.037	0.001	3.3
9시간대	차량이동 및 채취지점 변경				
10시간대					
11시간대					
12시간대	0.006	0.124	0.038	0.002	2.5
13시간대	0.006	0.133	0.040	0.001	2.5
14시간대	0.007	0.146	0.042	0.001	2.7
15시간대	0.008	0.162	0.043	0.001	2.8
16시간대	0.010	0.182	0.042	0.001	3.1
17시간대	0.010	0.195	0.039	0.001	4.0
18시간대	0.009	0.192	0.038	0.001	3.5
19시간대	0.010	0.189	0.039	0.001	3.6
20시간대	0.008	0.162	0.036	0.001	3.4
21시간대	0.006	0.111	0.033	0.001	3.1
22시간대	0.004	0.064	0.031	0.002	2.6
23시간대	0.003	0.037	0.027	0.003	2.6
24시간대	0.002	0.026	0.024	0.004	2.8
평균	0.005	0.101	0.033	0.002	2.6
최대	0.010	0.195	0.043	0.004	4.0
최소	0.002	0.018	0.022	0.001	1.6

□ 황령터널

시간대	SO ₂	NO	NO ₂	O ₃	CO
1시간대	0.006	0.159	0.026	0.002	1.7
2시간대	0.006	0.130	0.024	0.002	1.6
3시간대	0.005	0.104	0.022	0.002	1.5
4시간대	0.004	0.090	0.021	0.002	1.5
5시간대	0.004	0.092	0.023	0.002	1.5
6시간대	0.005	0.106	0.024	0.002	1.3
7시간대	0.006	0.133	0.027	0.002	1.3
8시간대	0.007	0.137	0.028	0.002	1.3
9시간대	0.009	0.174	0.034	0.003	1.5
10시간대	0.012	0.270	0.039	0.002	1.7
11시간대	0.014	0.324	0.041	0.002	1.7
12시간대	0.014	0.314	0.040	0.002	1.7
13시간대	0.014	0.323	0.042	0.002	1.8
14시간대	0.015	0.349	0.047	0.002	1.8
15시간대	0.016	0.359	0.047	0.002	1.9
16시간대	0.015	0.356	0.046	0.002	1.9
17시간대	0.015	0.367	0.048	0.002	2.1
18시간대	0.015	0.346	0.045	0.002	2.1
19시간대	0.014	0.349	0.044	0.002	2.2
20시간대	0.013	0.309	0.040	0.002	1.9
21시간대	0.013	0.306	0.041	0.002	1.9
22시간대	0.013	0.300	0.041	0.002	2.0
23시간대	0.010	0.254	0.036	0.002	1.9
24시간대	0.008	0.199	0.030	0.002	1.9
평균	0.011	0.244	0.036	0.002	1.7
최대	0.016	0.367	0.048	0.003	2.2
최소	0.004	0.090	0.021	0.002	1.3

※ 일부 야간시간대에 터널 보수작업이 있었음.

□ 백양터널

시간대	SO ₂	NO	NO ₂	O ₃	CO
1시간대	0.008	0.144	0.023	0.002	1.1
2시간대	0.007	0.116	0.021	0.002	1.0
3시간대	0.006	0.094	0.021	0.002	1.0
4시간대	0.006	0.103	0.021	0.002	0.9
5시간대	0.007	0.127	0.022	0.002	0.9
6시간대	0.010	0.187	0.025	0.002	1.0
7시간대	0.014	0.264	0.031	0.002	1.2
8시간대	0.017	0.346	0.038	0.002	1.4
9시간대	0.021	0.420	0.041	0.002	1.4
10시간대	0.012	0.208	0.028	0.002	1.0
11시간대	0.022	0.412	0.050	0.006	2.3
12시간대	0.032	0.607	0.058	0.003	2.1
13시간대	0.029	0.485	0.051	0.003	1.5
14시간대	0.026	0.511	0.046	0.002	1.1
15시간대	0.037	0.614	0.062	0.002	1.4
16시간대	0.043	0.627	0.077	0.002	1.5
17시간대	0.035	0.635	0.070	0.002	1.4
18시간대	0.025	0.509	0.055	0.002	1.3
19시간대	0.020	0.400	0.045	0.002	1.3
20시간대	0.017	0.326	0.039	0.002	1.2
21시간대	0.015	0.280	0.036	0.002	1.2
22시간대	0.013	0.250	0.032	0.002	1.2
23시간대	0.011	0.211	0.028	0.002	1.2
24시간대	0.009	0.174	0.025	0.002	1.2
평균	0.018	0.335	0.039	0.002	1.3
최대	0.043	0.635	0.077	0.006	2.3
최소	0.006	0.094	0.021	0.002	0.9

□ 수정터널

시간대	SO ₂	NO	NO ₂	O ₃	CO
1시간대	0.005	0.118	0.020	0.002	1.0
2시간대	0.005	0.108	0.019	0.002	1.0
3시간대	0.004	0.099	0.018	0.001	0.9
4시간대	0.004	0.099	0.017	0.002	0.9
5시간대	0.005	0.110	0.017	0.002	0.9
6시간대	0.005	0.129	0.017	0.002	0.9
7시간대	0.007	0.181	0.019	0.002	1.0
8시간대	0.011	0.257	0.022	0.002	1.3
9시간대	0.014	0.337	0.029	0.001	1.4
10시간대	0.020	0.471	0.041	0.002	6.7
11시간대	0.017	0.394	0.035	0.002	3.2
12시간대	0.016	0.393	0.033	0.002	2.4
13시간대	0.015	0.354	0.031	0.002	1.8
14시간대	0.017	0.389	0.033	0.002	1.5
15시간대	0.019	0.444	0.036	0.002	1.3
16시간대	0.019	0.456	0.037	0.002	1.3
17시간대	0.017	0.385	0.034	0.002	1.3
18시간대	0.014	0.336	0.032	0.002	1.4
19시간대	0.012	0.299	0.030	0.002	1.4
20시간대	0.011	0.254	0.028	0.002	1.4
21시간대	0.009	0.210	0.025	0.002	1.4
22시간대	0.007	0.178	0.024	0.002	1.3
23시간대	0.007	0.164	0.023	0.002	1.3
24시간대	0.006	0.139	0.022	0.002	1.2
평균	0.011	0.263	0.027	0.002	1.6
최대	0.020	0.471	0.041	0.002	6.7
최소	0.004	0.099	0.017	0.001	0.9