

## 터널 공기질 조사

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

### 1. 조사개요

- 조사기간 및 근거
  - ▷ 조사기간 : 2009년 11월 26일 ~ 27일, 12월2일 (3일간)
  - ▷ 시행근거 : 부산광역시 환경보전과 67302-0(2003. 2. 25.)호
  - ▷ 관련기준 : 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 제41조 (터널의 환기시설 등)
- CO(일산화탄소) : 100 ppm 이하, NO<sub>x</sub>(질소산화물) : 25 ppm 이하
- 조사지점 : 기계식 환기시설이 설치된 부산 시내 7개 주요터널

터널명	위치	환기방식	규모 (길이×폭)	환기시설	비고
부 산	중구 영주동 ~ 서구 동대신동	제트팬식 반횡류식	643 m×8.5 m 660 m×9.4 m	제트팬 11 kW×14대 송풍기 90 kW×4대	2련
구 덕	구덕운동장 ~ 사상구 학장동	반횡류식	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	반횡류식	2,340 m×10.5 m	송풍기 30 kW×6대 송풍기 140 kW×6대	2련
만덕2	동래구 온천동 ~ 북구 만덕동	반횡류식	1,740 m×9.4 m	송풍기 320 kW×8대	2련
광 안	남구 대연동 ~ 수영구 광안동	반횡류식	1,110 m×9.8 m	송풍기 130 kW×4대	2련
황 령	부산진구 전포동 ~ 남구 대연동	반횡류식	1,860 m×9.4 m	송풍기 320 kW×4대 송풍기 120 kW×4대	2련

### 2. 조사방법

- 조사항목(6개 항목)
  - ▷ 아황산가스(SO<sub>2</sub>), 일산화탄소(CO), 오존(O<sub>3</sub>), 일산화질소(NO), 이산화질소(NO<sub>2</sub>), 질소산화물(NO<sub>x</sub>)
- 측정방법
  - ▷ 대기오염이동측정차량을 이용 조사대상 터널을 지나가면서 오전·오후 시간대에 상·하행  
통과시 이동측정

### 3. 조사결과

○ 측정일자 및 통과시간

▷ 터널 내부 공기질의 이동측정일자와 통과방향, 시간대 및 대기이동측정차량의 터널별 통과 시간(저 속운행 : 시속 20~30 Km)은 <표 1>과 같으며 황령터널에서 오후시간대 상행의 경우 터널내부 차량 정체로 평소보다 긴 통과시간을 보인 것을 제외하고는 대체로 원활한 교통소통을 보였다.

표 1. 터널별 측정시간대 및 통과시간

측정 일자	터널명	오 전			오 후		
		방 향(상·하행)	시간대	통과시간(분:초)	방향(상·하행)	시간대	통과시간(분:초)
11/26	부산	영주⇨동대신(상)	10:00	01:08	영주⇨동대신(상)	14:00	01:12
		동대신⇨영주(하)	11:00	01:28	동대신⇨영주(하)	15:00	01:14
	구덕	서대신⇨학장(상)	10:00	03:23	서대신⇨학장(상)	14:00	02:59
		학장⇨서대신(하)	11:00	03:01	학장⇨서대신(하)	15:00	02:52
	수정	가야 ⇨ 좌천(상)	10:00	03:50	가야 ⇨ 좌천(상)	14:00	03:53
		좌천 ⇨ 가야(하)	10:00	03:42	좌천 ⇨ 가야(하)	15:00	03:43
11/27	광안	대연 ⇨ 광안(상)	10:00	02:56	대연 ⇨ 광안(상)	13:00	02:14
		광안 ⇨ 대연(하)	11:00	02:00	광안 ⇨ 대연(하)	14:00	01:57
	황령	대연 ⇨ 전포(상)	11:00	03:16	대연 ⇨ 전포(상)	15:00	09:07
		전포 ⇨ 대연(하)	12:00	03:21	전포 ⇨ 대연(하)	15:00	02:43
12/2	백양	당감 ⇨ 모라(상)	10:00	03:43	당감 ⇨ 모라(상)	13:00	03:31
		모라 ⇨ 당감(하)	11:00	03:36	모라 ⇨ 당감(하)	14:00	03:10
	만덕2	만덕 ⇨ 온천(상)	10:00	03:12	만덕 ⇨ 온천(상)	14:00	02:40
		온천 ⇨ 만덕(하)	10:00	03:07	온천 ⇨ 만덕(하)	14:00	02:39

○ 평균농도

- ▷ 터널별 상·하행, 통과시간대별 공기질 조사결과 <그림 1> <표 2>와 같이 SO<sub>2</sub>의 평균농도는 수정=만덕2>백양>황령>구덕>부산>광안터널 순으로 수정·만덕2터널에서 0.015 ppm 로 가장 높았고, 최대농도는 만덕 2터널에서 0.028 ppm, 최소농도는 황령터널에서 0.004 ppm을 보였다.
- ▷ CO는 터널환기기준(100 ppm이하)이 설정된 항목으로 평균농도는 황령>만덕2>구덕>백양>광안>부산>수정터널 순으로 황령터널에서 4.2 ppm으로 가장 높은 농도를 나타내면서 최대농도 7.2 ppm과 함께 최소농도 0.6 ppm을 보였다. 이와 같이 황령터널의 경우 최대농도는 차량정체에 의한 영향으로 이로 인한 농도 차이는 매우 컸으나, 모든 터널에서 환기기준을 크게 미달하면서 초과한 터널을 없었다.
- ▷ O<sub>3</sub>의 경우 평균농도는 부산>구덕=광안=백양>수정=황령>만덕2터널 순으로 일반 대기질보다 훨씬 낮은 0.002~0.004 ppm의 농도분포를 보였는데, 이는 터널 내 운행하는 차량에서 발생된 NO가 빛에 의한 광화학반응이 없는 상태에서 O<sub>3</sub>이 형성되지 않은 결과로 터널별 오염도 차이는 큰 의미가 없는 것으로 사료된다.
- ▷ NO<sub>x</sub>는 CO와 같이 터널환기기준(25 ppm 이하)이 설정된 항목으로 NO와 NO<sub>2</sub>의 합을 말하며, 평균농도는 만덕2>수정>백양>황령>구덕>광안>부산터널 순으로 만덕2터널에서 2.107 ppm

으로 최대농도 4.353 ppm과 함께 가장 높은 농도를 보였고 최소농도는 황령터널에서 0.386 ppm을 보였다. 그리고 모든 터널에서 환기기준을 크게 미달하면서 초과한 터널은 없었다.

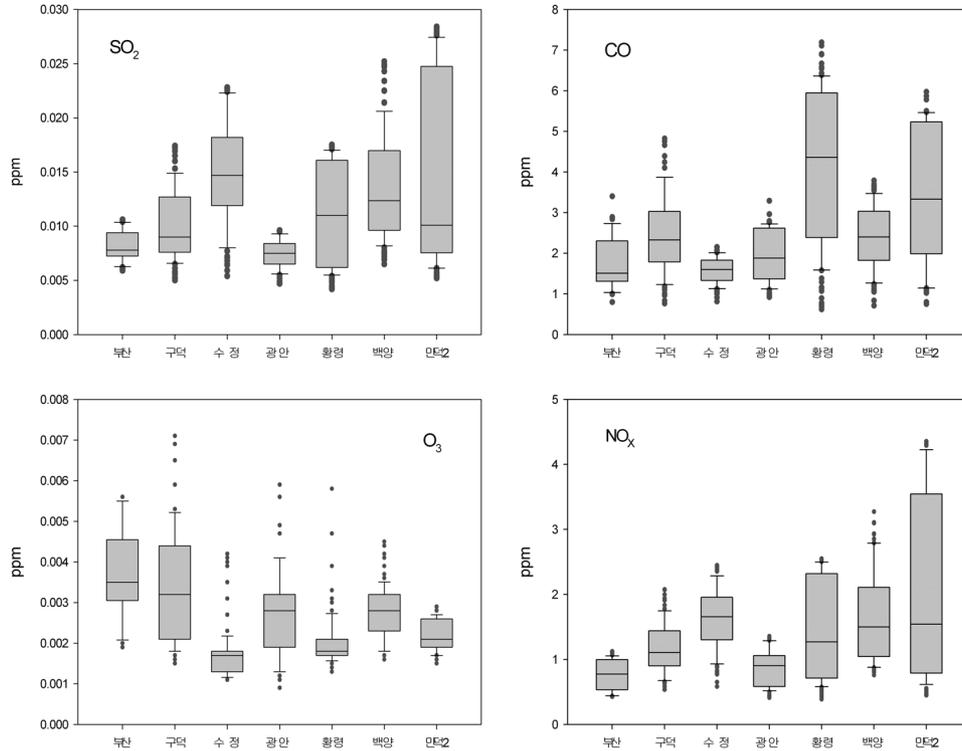


그림 1. 터널별 농도분포도

표 2. 터널별 공기질 평균농도표

항목 (ppm)		부산	구덕	수정	광안	황령	백양	만덕2
SO <sub>2</sub>	평균	0.008	0.010	0.015	0.007	0.011	0.013	0.015
	최대	0.011	0.017	0.023	0.010	0.018	0.025	0.028
	최소	0.006	0.005	0.005	0.005	0.004	0.007	0.005
CO	평균	1.8	2.5	1.6	2.0	4.2	2.4	3.5
	최대	3.4	4.8	2.2	3.3	7.2	3.8	6.0
	최소	0.8	0.8	0.8	0.9	0.6	0.7	0.8
O <sub>3</sub>	평균	0.004	0.003	0.002	0.003	0.002	0.003	0.002
	최대	0.006	0.007	0.004	0.006	0.006	0.005	0.003
	최소	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002
NO	평균	0.674	1.078	1.516	0.749	1.310	1.530	1.954
	최대	1.014	1.922	2.277	1.187	2.240	3.124	4.022
	최소	0.330	0.464	0.529	0.327	0.295	0.667	0.359
NO <sub>2</sub>	평균	0.096	0.110	0.117	0.117	0.218	0.101	0.153
	최대	0.114	0.201	0.190	0.182	0.332	0.224	0.357
	최소	0.080	0.068	0.053	0.082	0.091	0.026	0.047
NO <sub>x</sub>	평균	0.770	1.187	1.634	0.866	1.528	1.631	2.107
	최대	1.124	2.075	2.446	1.356	2.547	3.272	4.353
	최소	0.425	0.534	0.583	0.412	0.386	0.757	0.449

○ 시간대별 농도분포

- ▷ 터널별 오전·오후시간대별 공기질 조사결과 <그림 2> <표 3>과 같으며, 주 배출원인 차량 통행량과 운행속도, 정체현상 등의 특성에 따라 많은 차이를 보였다.
- ▷ SO<sub>2</sub>의 경우 수정터널에서의 오후시간대에 가장 높은 농도를 보였는데 이는 부두와 인접하여 큰 테이너와 같은 대형 경유차량의 통행량이 많은 것에 의한 영향으로 사료된다.
- ▷ CO의 경우 황령터널에서 오후시간대에 터널내 차량정체로 자동차의 아이들링상태와 서행운전로 높은 농도를 보였다.
- ▷ NO<sub>x</sub>의 경우 만덕2터널에서 오전시간대에 높은 농도를 보였는데 방향별로 보면 온천⇨만덕(하)이 더 높은 농도를 보였다. 이는 차량통행량과 오르막길의 엔진 가속에 의한 농도증가로 판단된다.

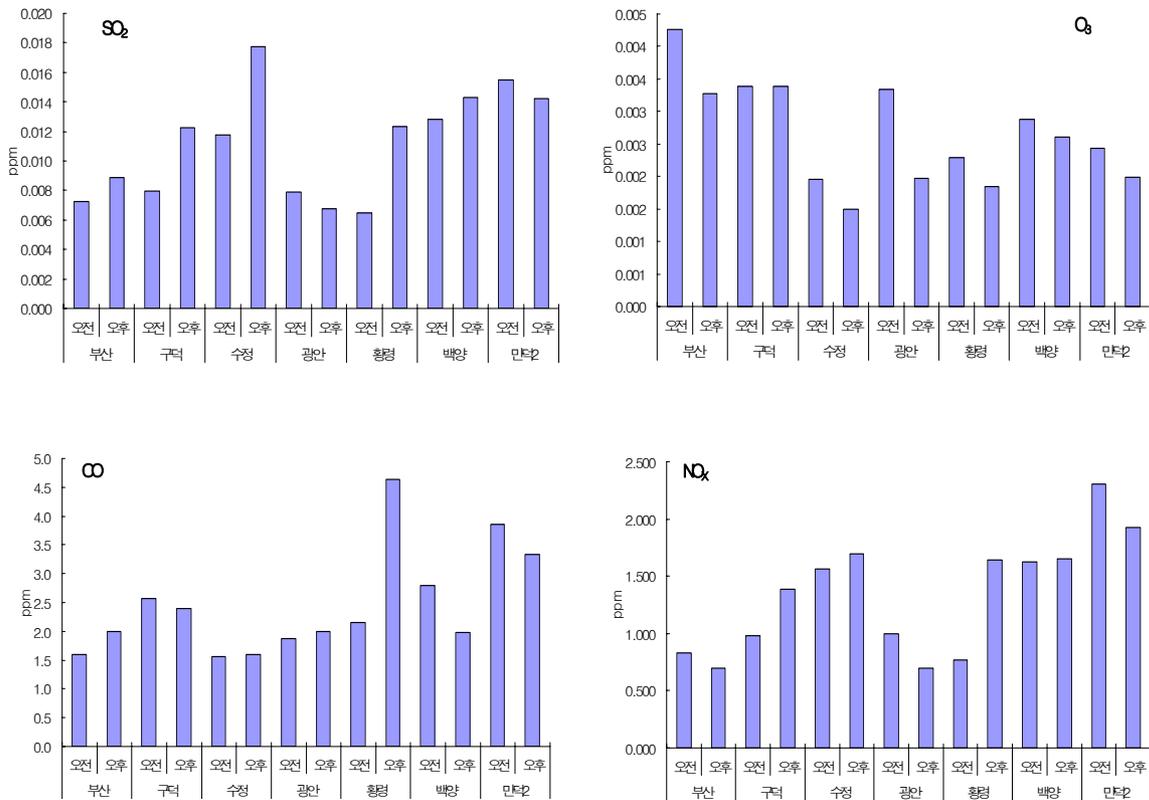


그림 2. 시간대별 농도비교도

표 3. 시간대별 농도분포표

(단위 : ppm)

터널	시간대	방향	SO <sub>2</sub>	평균	CO	평균	O <sub>3</sub>	평균	NO	평균	NO <sub>2</sub>	평균	NO <sub>x</sub>	평균
부산	오전	상	0.008	0.007	1.7	1.6	0.005	0.004	0.916	0.732	0.109	0.101	1.025	0.832
		하	0.007		1.5		0.004		0.547		0.093		0.640	
	오후	상	0.010	0.009	1.3	2.0	0.004	0.003	0.860	0.607	0.089	0.093	0.949	0.700
		하	0.008		2.6		0.003		0.354		0.098		0.452	
구덕	오전	상	0.008	0.008	2.7	2.6	0.005	0.003	0.938	0.879	0.092	0.104	1.031	0.982
		하	0.008		2.4		0.002		0.819		0.115		0.934	
	오후	상	0.013	0.012	1.3	2.4	0.003	0.003	1.397	1.274	0.124	0.117	1.522	1.391
		하	0.011		3.5		0.003		1.151		0.110		1.261	
수정	오전	상	0.011	0.012	1.7	1.6	0.002	0.002	1.369	1.444	0.132	0.123	1.501	1.568
		하	0.012		1.4		0.002		1.519		0.114		1.634	
	오후	상	0.019	0.018	1.6	1.6	0.001	0.001	1.791	1.588	0.116	0.111	1.906	1.700
		하	0.016		1.6		0.002		1.386		0.107		1.493	
광안	오전	상	0.008	0.008	2.4	1.9	0.003	0.003	0.935	0.875	0.139	0.122	1.074	0.996
		하	0.008		1.4		0.003		0.814		0.104		0.919	
	오후	상	0.007	0.007	1.5	2.0	0.002	0.002	0.730	0.586	0.120	0.108	0.849	0.694
		하	0.006		2.5		0.002		0.442		0.097		0.539	
황령	오전	상	0.006	0.006	1.7	2.2	0.002	0.002	0.539	0.647	0.109	0.122	0.648	0.768
		하	0.007		2.6		0.003		0.754		0.135		0.889	
	오후	상	0.016	0.012	5.9	4.6	0.002	0.002	1.977	1.407	0.313	0.233	2.291	1.640
		하	0.009		3.3		0.002		0.837		0.152		0.990	
백양	오전	상	0.011	0.013	2.4	2.8	0.003	0.003	1.267	1.514	0.092	0.110	1.359	1.624
		하	0.015		3.2		0.003		1.760		0.128		1.889	
	오후	상	0.011	0.014	1.6	2.0	0.003	0.003	1.060	1.562	0.105	0.090	1.165	1.652
		하	0.018		2.3		0.002		2.064		0.076		2.140	
만덕2	오전	상	0.008	0.016	2.6	3.8	0.002	0.002	0.908	2.152	0.062	0.158	0.970	2.309
		하	0.023		5.1		0.003		3.395		0.254		3.649	
	오후	상	0.007	0.014	1.8	3.3	0.002	0.002	0.730	1.780	0.103	0.142	0.834	1.922
		하	0.021		4.9		0.002		2.830		0.181		3.011	

○ 도시대기질과의 비교

- ▷ 터널내 환기기준이 설정되어있는 항목인 CO와 NO<sub>x</sub>의 경우 모든 터널에서 기준치 이내를 유지하였으며, 환기기준이 없는 항목인 SO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>에 대하여는 도로변과 도시대기 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 일반적인 사항과 같이 터널>도로>도시대기의 오염도수준을 보였는데, SO<sub>2</sub>의 경우 도시대기와 비교시 오전시간대에 만덕2터널 2.0배, 백양터널 1.6배, 수정터널 1.5배 높은 것을 제외하고는 같거나 비슷한 수준이었고, 오후시간대에는 수정터널 2.9배, 백양과 만덕2터널에서 2.3배의 농도수준으로 보였다. 그러나 O<sub>3</sub>은 도로변·도시대기보다 훨씬 낮은 농도를 보였다.

- ▷ 또한, 자동차의 주 발생 오염물질인 CO의 경우 오전·오후시간대에 도로변과 도시대기보다는 높은 농도를 보였는데, 특히 오후시간대 황령터널에서의 높은 농도는 터널 내 차량정체로 인하여 도시대기와 비교시 9.3배인 4.6 ppm의 농도를 보였으나 터널 환기기준인 100 ppm에는 크게 밀들면서 SO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>과 함께 일반 대기 중 대기환경기준에 준용하여도 초과하지는 않았다.
- ▷ 그리고 CO와 같이 자동차 배출가스의 주요 오염물질인 NO<sub>x</sub> 중 대기환경기준 항목인 NO<sub>2</sub>의 경우 오전·오후시간대에 도로변, 도시대기에 비하여 1.6~8.4배의 범위를 보였는데 여기서 8.4배는 오후시간대의 황령터널에서 차량정체에 의하여 0.233 ppm의 높은 농도를 보였다. 참고 사항으로 일반 대기 중 NO<sub>2</sub>의 대기환경기준에 준용할 경우 오후시간대 부산, 백양터널을 제외하고는 전반적으로 높게 나타났다.

표 4. 도시대기질과의 농도비교

오 전												
구분	SO <sub>2</sub> (ppm)	농도비(배)		CO (ppm)	농도비(배)		O <sub>3</sub> (ppm)	농도비(배)		NO <sub>2</sub> (ppm)	농도비(배)	
		A	B		A	B		A	B		A	B
부산	0.007	0.9	0.9	1.6	1.3	1.9	0.004	0.4	0.3	0.101	1.7	2.8
구덕	0.008	1.0	1.0	2.6	2.0	3.1	0.003	0.3	0.2	0.104	1.8	2.9
수정	0.012	1.4	1.5	1.6	1.2	1.9	0.002	0.2	0.1	0.123	2.1	3.4
광안	0.008	0.9	1.0	1.9	1.5	2.3	0.003	0.3	0.2	0.122	2.1	3.4
황령	0.006	0.8	0.8	2.2	1.7	2.6	0.002	0.2	0.1	0.122	2.1	3.4
백양	0.013	1.5	1.6	2.8	2.2	3.4	0.003	0.2	0.2	0.110	1.9	3.0
만덕2	0.016	1.9	2.0	3.8	3.0	4.6	0.002	0.2	0.2	0.158	2.7	4.4
도로변	0.008(ppm)		1.3(ppm)		0.012(ppm)		0.059(ppm)					
도시대기	0.008(ppm)		0.8(ppm)		0.015(ppm)		0.036(ppm)					
오 후												
구분	SO <sub>2</sub> (ppm)	농도비(배)		CO (ppm)	농도비(배)		O <sub>3</sub> (ppm)	농도비(배)		NO <sub>2</sub> (ppm)	농도비(배)	
		A	B		A	B		A	B		A	B
부산	0.009	1.1	1.5	2.0	2.4	4.0	0.003	0.2	0.1	0.093	1.6	3.4
구덕	0.012	1.5	2.0	2.4	2.9	4.8	0.003	0.2	0.1	0.117	2.1	4.2
수정	0.018	2.2	2.9	1.6	1.9	3.2	0.001	0.1	0.0	0.111	2.0	4.0
광안	0.007	0.8	1.1	2.0	2.4	4.0	0.002	0.1	0.1	0.108	1.9	3.9
황령	0.012	1.5	2.0	4.6	5.6	9.3	0.002	0.1	0.1	0.233	4.1	8.4
백양	0.014	1.7	2.3	2.0	2.4	4.0	0.003	0.2	0.1	0.090	1.6	3.3
만덕2	0.014	1.7	2.3	3.3	4.0	6.7	0.002	0.1	0.1	0.142	2.5	5.2
도로변	0.008(ppm)		0.8(ppm)		0.017(ppm)		0.057(ppm)					
도시대기	0.006(ppm)		0.5(ppm)		0.033(ppm)		0.028(ppm)					

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

※ 대기환경기준

- SO<sub>2</sub> : 1시간평균치 0.15 ppm 이하
- CO : 1시간평균치 25 ppm 이하
- NO<sub>2</sub> : 1시간평균치 0.10 ppm 이하
- O<sub>3</sub> : 1시간평균치 0.10 ppm 이하

○ 차량 정체시 오염도변화(황령터널)

- ▷ 조사기간 중 황령터널의 경우 11월 27일 오후(15:00 시간대)에 대연↔전포(상)구간에서 차량의 정체로 평상시와 달리 높은 농도를 보였다.
- ▷ <표 5>에 보는 바와 같이 원활한 차량통행을 보인 오전과 오후시간대(하)에는 2~3분대의 통과시간대를 보였으나, 정체가 심하였던 오후시간대(상)에는 09:17초의 긴 시간이 소요되었다. 이러한 이유로 황령터널에서의 평균농도 오염도 순위에 큰 영향을 미쳤다.
- ▷ 이와 같이 차량정체로 인한 오염도의 증가는 모든 터널에서 발생할 가능성이 있어, 조사기간 중 일어난 황령터널을 대표적으로 농도를 비교한 결과, 원활한 차량 소통을 보이는 오전시간대와 정체시 농도와의 증가비율[오후(상)/오전시간대 평균]이 SO<sub>2</sub>의 경우 2.7배, CO 2.7배, NO<sub>x</sub> 3.0배의 농도 증가를 보였으며 O<sub>3</sub>은 큰 변화가 없었다.
- ▷ 이러한 결과를 볼 때, 부산지역의 조사대상 터널 경우 환기시설의 철저한 관리와 효율적인 운영으로 비록 터널 환기기준에는 크게 미달하고 있지만, <표 4>에서 보는 바와 같이 차량 정체시 터널 공기질오염도는 차량 소통이 원활한 때 보다 높은 농도를 보였다. 이러한 상황에서 비록 오염물질이 터널환기기준 이내일지라도 터널 내 차량정체로 인한 오염물질의 폭로 시간을 감안할 경우 평상시보다 더욱 더 강력한 환기시설 가동을 위한 시스템운영과 터널 내에 진입하는 차량 운전자와 이용객들에게 차량정체 상황을 전광판 등 홍보장치를 터널입구에 설치하여 알리는 것도 사전 조치의 일환으로 터널 공기질에 대한 시민들의 노출예방에 효과적일 것이라 사료된다.

표 5. 황령터널의 차량정체시 농도비교표

항 목	시간대별 농도 (ppm)		평 균	시간대별 농도 (ppm)		평 균	오후(상)/ 오전평균	참 고
	상	하		상	하			
SO <sub>2</sub>	상	0.006	0.006	상	0.016	2.454	2.7(배)	터널통과시간 - 오전(상) 03:16초 - 오전(하) 03:21초 - 오후(상) 09:17초 - 오후(하) 02:43초
	하	0.007		하	0.009			
CO	상	1.7	2.2	상	5.9	4.6	2.7(배)	
	하	2.6		하	3.3			
O <sub>3</sub>	상	0.002	0.002	상	0.002	0.002	1.0(배)	
	하	0.003		하	0.002			
NO <sub>x</sub>	상	0.648	0.768	상	2.291	1.640	3.0(배)	
	하	0.889		하	0.990			

#### 4. 결 론

- 터널환기기준인 CO 100 ppm, NO<sub>x</sub> 25 ppm을 초과한 터널은 없었다.
- 터널별 상·하행 통과시간대의 평균농도는 SO<sub>2</sub>의 경우 수정=만덕2>백양>황령>구덕>부산>광안터널, CO는 황령>만덕2>구덕>백양>광안>부산>수정터널 순으로 전체 터널에서 환기기준에 크게 미달하였고, O<sub>3</sub>의 경우 부산>구덕=광안=백양>수정=황령>만덕2터널, NO<sub>x</sub>는 만덕2>수정>백양>황령>구덕>광안>부산터널 순으로 CO와 같이 전체 터널에서 환기기준에 크게 미달하였다.
- 터널별 오전·오후시간대별 변화는 주 배출원인 차량 통행량과 운행속도, 정체현상 등의 특성에 따라 많은 차이를 보였는데, SO<sub>2</sub>의 경우 오후시간대에 수정터널에서 CO는 오후시간대 황령터널, NO<sub>x</sub>는 오전시간대에 만덕2터널에서 높은 농도를 보였다. O<sub>3</sub>은 시간대별 큰 차이 없이 비슷한 농도를 보였다.
- 도시대기와 도로변 대기오염도와의 비교시 터널>도로>도시대기의 오염도수준을 보이면서 SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>는 일반 대기 중 대기환경기준에 준용하여도 초과하지는 않았다. NO<sub>2</sub>의 경우는 오전·오후시간대에 도로변, 도시대기에 비하여 1.6~8.4배의 높은 농도를 보여 일반 대기 중 대기환경기준에 준용시에는 오후시간대 부산, 백양터널 외 전반적으로 높게 나타났으나, 터널 환기기준인 25 ppm에는 크게 미치지 못하였다.
- 황령터널의 경우 차량 정체시 09:17초의 긴 시간이 소요되었으며, 차량 소통이 원활한 경우에 비해 SO<sub>2</sub>의 경우 2.7배, CO 2.7배, NO<sub>x</sub> 3.0배의 높은 농도를 보였으며 O<sub>3</sub>은 큰 변화가 없었다.
- 조사결과 터널 환기기준에는 크게 미달하고 있지만 터널 내 차량 정체시 일반 대기질보다 높은 농도와 터널 내 오염물질의 폭로시간을 감안 할 경우 평상시보다 강력한 환기시설 가동을 위한 시스템운영과 터널에 진입하는 차량운전자와 이용 시민들에게 차량 정체를 알리는 홍보장치를 터널입구에 설치하는 것도 터널 공기질에 대한 시민들의 노출예방에 효과적일 것이라 사료된다.