



도로터널 소요환기량 산정추세



신태균
유원엔지니어링(주)
토목설비 설계부 이사

1. 개요

최근 환경오염이 사회적 문제로 심각하게 부각되면서 오염물질 배출에 대한 규제가 강화되고 있다. 이에 따라 관련분야 기술이 발전되어 자동차의 엔진 성능이 향상되고, 배출되는 각종 오염물질 배출량이 감소되는 추세이며, 또 이에 맞추어 대기오염 물질 허용농도 역시 강화되고 있는 것이 국제적인 흐름이다.

또한 자동차 엔진 성능의 향상과 잘 건설된 도로망은 운전자들로 하여금 차량 운행속도를 증가시키는 요인이 되어 운전형태를 고속화로 변화되고 있다.

이와 같이 차량엔진 향상에 따른 고속 운전화, 차량 오염물질 배출감소, 허용농도 강화 등의 변화는 터널환기 시스템에 많은 변화를 주게 되어 최근 한국도로공사와 한국건설기술연구원에서도 소요환기량 산정기법을 재검토하고 있는 것으로 알려지고 있어 터널 환기시스템 설계의 기본이 되는 소요환기량 산정에 고려해야 할 내용을 설계 실무관점에서 점검하고자 한다.

표 1 내용중 2001년도 편람의 서비스수준 V/C값의 감소는 차량밀도[pcu/(km, lane)]값의 감소를 의미하며, 이

는 환기차원에서는 차량속도의 전반적인 증가로 유추할 수 있다.

1.1 국내 도로터널 환기설계 발전과정

현재 국내에서 적용하고 있는 도로터널에 대한 환기설비 설계는 한국도로공사(1997. 10)에서 “고속도로 터널 환기시설 설계기준”이 제정되고 부터 고속도로공사 설계는 물론 각지방 국토 관리청의 터널설계 및 일반실시설계 등에서 널리 적용되고 있다.

한국도로공사의 “고속도로 터널 환기시설 설계기준” 제정이전의 국내 도로터널 환기 설계기법의 발전과정을 간단히 살펴보면 다음과 같다.

한국도로공사 설계기준 제정 전인 1997년 이전 국내에서는 일본에서 사용되고 있는 이른바 일본도로협회, 일본도로공단, 일본수도공단방식 등을 국내 실정에 맞게 약간씩 변형하여 대부분의 국도터널 및 지방도의 설계에 적용하고 있었고, 1994년 한국도로공사 터널개발주였던 영동고속도로 원주-강릉간 4차로 확장공사 제6공구 둔내터널 구간과 제9공구 진부터널(당시 용평터널) 환기설비 설계

표 1. 고속도로 기본구간의 서비스 수준 비교

◆ 설계속도 100 km/h 만 비교

서비스 수준	밀도 (승용차/km/차선)	설계 속도 100 km/h		
		평균 통행속도 (km/시)	교통량 대 용량비	교통량 (승용차/시/차선)
A	≤8	≤95	≤0.34	≤750
B	≤13	≤90	≤0.52	≤1,150
C	≤19	≤82	≤0.70	≤1,550
D	≤27	≤70	≤0.86	≤1,900
E	≤44	≤50	≤1.00	≤2,200
F	>44	<50	-	-

[도로용량편람/1992.건설부]

서비스 수준	밀도 (pcu/km)	설계 속도 100 km/h	
		교통량(pcu/h)	V/C 비
A	≤6	≤600	≤0.27
B	≤10	≤1,000	≤0.45
C	≤14	≤1,350	≤0.61
D	≤19	≤1,750	≤0.8
E	≤28	≤2,200	≤1.00
F	>28	-	-

[도로용량편람/2001.건설교통부]

기법부터 PIARC (국제상설도로회의 : Permanent International Association of Road Congress)방식이 채택되어 국내에서는 일본방식과 PIARC방식이 혼용되고 있었다. 그 당시 한국도로공사에서 설계된 육십령터널 환기설비 기본설계는 이미 PIARC 방식으로 설계되어 국내 환기설계기법 변화에 큰 전인차 역할을 한 결과가 되었고, 당시 설계자들의 노력은 현재 사용하는 설계기준의 훌륭한 밑거름이 되어 지금 수준까지 발전했다고 할 수 있겠다.

1.2 터널환기의 의미

도로터널 환기란 희석(稀釋)과 배출(排出혹은 換氣)로 구분될 수 있다.

희석이란 터널내의 오염된 공기를 일정량 이하로 유지

시키기 위해 터널 외부의 신선공기를 터널 내로 유입시키는 것을 의미하며, 배출이란 터널 내의 공기에 자연적인 유동(교통환기력)을 주거나, 강제적인 유동(환기팬)의 흐름을 만들어 터널내 발생된 오염공기를 터널출구로 배출되게 하는 것이다. 이때 유동에너지원은 환기팬이 되며 종류환기방식에서는 통행차량의 교통환기력이 추가 된다. 여기서 희석은 고농도에서 저농도로 이루어지는 과정으로 고농도는 자동차 배출가스가 되며 저농도는 법정기준 농도로 터널환기를 위한 소요환기량을 결정짓게 된다. 배출은 공기의 흐름이 고압에서 저압으로 흐르게 하는 유체의 기본원리를 이용하는 것으로 환기방식을 결정하게 한다. 이와 같이 도로터널 환기는 소요환기량 산정과 환기방식을 동시에 고려해야 한다. 또한 도로터널 환기대상 물질은 여러 종류의 자동차 배출가스중 국내외적으로 입자상 물질과 가스상 물질로 구분되며 입자상 물질은 매진(매연+분진)이 되며, 가스상물질은 CO가스, NO_x가스가 된다. 즉 도로터널 환기설비 설계기법은 대기환경에 대한 사회적 요구, 교통패턴의 변화, 사고 발생시 인명 보호, 장대터널의 경제적 운영방법 등이 강조되어 주기적인 개정이 필요하게 된다.

2 터널 환기계획

환기계획은 광의(廣意)의 계획과 협의(狹意)의 계획으로 구분할 수 있다.

광의의 계획은 환기에 큰 영향을 미치는 교통방식, 방재계획(제연설비 및 비상용 시설)과 관련하여 터널 주변 환경에 대한 영향을 고려하여 검토하며, 협의의 계획은 경제적인 방식으로 각종설비를 시공하는 문제와 본터널 시공에 대한 내용을 검토하게 된다.

광의의 계획을 구체적으로 정리하면 터널내 차도공간에서의 이용자 및 유지관리를 위한 작업자를 대상으로 한 환기에 대한 기본적인 생각이외에, 방재시의 제연기능, 터

표 2. 소요환기량 산출공식

■ 소요환기량 = $\Sigma(\text{차량배출량}) \cdot (\text{보정계수}) \cdot \left(\frac{1}{\text{허용농도}}\right)$

(매연) $Q_T = \Sigma_{i=\text{차종}} (q_0^T \cdot n_i) \cdot \frac{f_{iv} \cdot f_H}{3600} \cdot \frac{1}{K_{lim}}$ [m³/s · km · lane]

(CO) $Q_{CO} = \Sigma_{i=\text{차종}} (q_0^{CO} \cdot n_i) \cdot \frac{f_i \cdot f_v \cdot f_H}{3600} \cdot \frac{10^6}{CO_{lim}}$ [m³/s · km · lane]

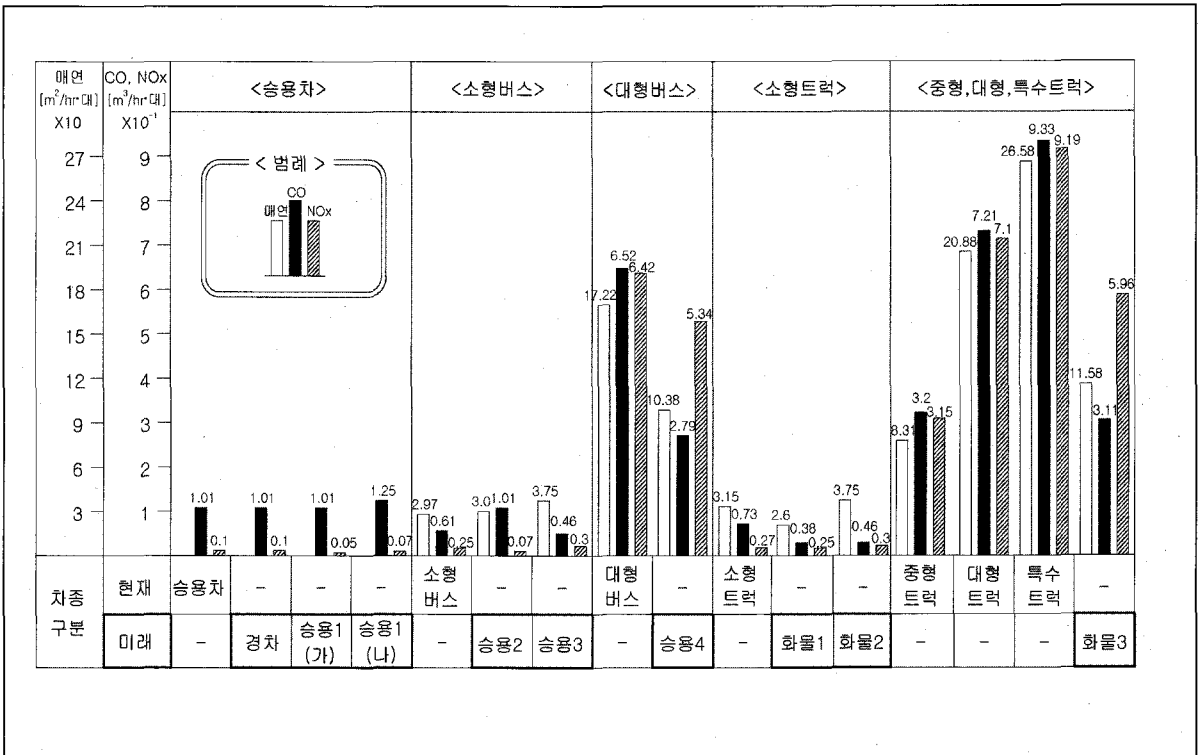
(NOx) $Q_{NOx} = \Sigma_{i=\text{차종}} (q_0^{NOx} \cdot n_i) \cdot \frac{f_i \cdot f_v \cdot f_H}{3600} \cdot \frac{10^6}{NOx_{lim}}$ [m³/s · km · lane]

표 3. 차량 대조표

- ◆ 현재 : 1997. 10 한국도로공사 설계기준 적용값 (혹은 2000. 1 이후 배출량값)
- ◆ 미래 : 2000. 10 환경부 대기환경보전법 적용값 (혹은 2002. 7 이후 배출량값)

현재	승용차			소형버스			대형버스	소형트럭		중형/대형/특수트럭
미래	경차동차	승용1(가)	승용1(나)	승용2(가)	승용2(나)	승용3	승용4	화물1	화물2	화물3

표 4. 매연, CO, NOx 배출량 비교 [q₀^T, q₀^{CO}, q₀^{NOx}]



널출구, 환기탑에서의 배출가스확산과 주변환경과의 관련 등 종합적인 검토를 하면서 계획을 결정할 필요가 있다.

2.1 소요환기량 산정에 영향을 미치는 요소

소요환기량 산정은 터널환기 의미에서 언급된 바와 같이 터널내 오염공기에 대한 희석비율에 따라 그 양이 결정된다. 즉 오염물 배출량과 그에 따른 조건별 보정계수가 곱해지고, 허용농도로 나누어 산정된다. 따라서 국내 설계기준에 적용되는 배출원은 차종별 엔진 배출량과 터널내 차량수이며, 여기에 차량속도가 반영된다. (표2참조)

보정계수는 터널의 구배, 표고, 차량의 주행속도 등에 따른 보정 등이 있으며, 매연의 허용농도는 속도에 따라 다르게 적용된다. 또한 차량에 대한 보정도 외국에서는 고려대상이 되나 국내에서는 아직 반영을 미루고 있다.

2.2 배출인자의 분석

2.2.1 오염물질 배출량

표 3은 현재 교통, 환경, 환기분야에서 구분되는 차종과 향후 2002.7 이후 환경에서 구분되는 차종을 비교한 것이다.

표 4에 나타난 차량의 오염물질 배출량은 터널 환기대상 물질만 기술하였으며, 환경보전법 제작차 기준값을 적용하였다. 그 특징을 다음과 같다.

- ▶ 소형차량에 대해서는 매연, CO, NOx가스의 현재와 미래 배출량 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 즉 현재수준은 매우 적은 양이 배출된다.
- ▶ 대형차량은 급격한 감소를 보이고 있다. (대형버스, 중·대·특수 트럭)
- ▶ 대형버스는 현재에 대해 미래에 매연은 60.3%, CO

표 5. 고속도로 터널구간 차종 평균 혼입율 (120개 터널 평균)

현재	승용차			소형 버스		대형 버스	소형 트럭		중형 트럭	대형 트럭	특수 트럭	합계
	58.61%			6.89%		5.41%	4.44%		15.51%	8.24%	0.90%	100%
											24.65%	
미래	경 자동차	승용1 (가)	승용1 (나)	승용2 (가)	승용2 (나)	승용3	승용4	화물1	화물2	화물3		합계
	19.53%	19.54%	19.54%	2.30%	2.30%	2.29%	5.41%	2.22%	2.22%	24.65%		100%
	58.61%			6.89%		4.44%						

◆ 동일차종의 세부분류는 설계자에 따라 다르게 구분될 수 있으며, 1개 차종이 여러차종과 묶여질 경우는 균등하게 구분하였음.

표 6. 오염물질 배출량(총량) - [$q_0 \times n$ - 표 5 기준]

< 매연 : [m³/h·대], CO,NOx : [m³/h·대]>

구분	승용차	버스			트럭				합계	비고
		소형	대형	소형	중형	대형	특수			
매연 (60km/h)	현재	-	66.45	303.12	45.41	418.76	559.45	77.09	1,470.28	100%
	미래	-	75.60	182.72	48.96	256.99	307.77	43.09	915.12	62.24%
CO (10km/h)	현재	5.66	0.40	3.36	0.31	4.75	5.68	0.80	20.98	100%
	미래	6.11	0.48	1.45	0.18	2.03	2.43	0.34	13.02	62.06%
NOx (10km/h)	현재	0.56	0.16	3.33	0.11	4.67	5.59	0.79	15.21	100%
	미래	0.39	0.13	2.77	0.12	3.90	4.66	0.66	12.63	83.04%

가스는 43%, NOx가스는 83.2%로 감소된다.

- ▶ 대형트럭에 대해 매연은 55.5%, CO가스는 43.1%, NOx가스는 64.8%로 감소된다.
- ▶ 이는 배출량 감소에 의한 소요환기량 감소를 갖게 되며, 대형차 혼입율이 큰 경우 보다 큰 감소를 갖게 된다.

표 5의 차중비율은 한국도로공사 및 건설교통부에서 지난 5년동안 시행된 기본설계 내용중 10개 노선 22개공구 120개 터널의 교통량을 산출평균한 값이다.

표 6은 오염물질별 배출량(배출량×차량)이며, 결과를 보면 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- ▶ 매연(원활교통시) 및 CO가스(지체교통시)의 경우 미래의 배출총량은 현재의 약 62% 수준이 되며
- ▶ NOx가스의 경우는 약 83%수준이 된다.
- ▶ 이는 순수 배출량 표 4만 비교할 때와는 다른 결과를 갖으며 이는 차량 혼입율에 의해 변 화됨을 알수 있다.

2.2.2 터널내 차량수

터널내 차량수란 도로의 연장인 터널내를 달리고 있는 차량수를 의미하며 이는 오염물질 배출량과 교통환기력 산정에 중요한 변수가 된다.

터널 환기에서 사용하는 일단위교통량 AADT(대/일)는 시교통량 PDDHV(대/시) 혹은 SFi(대/시) 교통량으로 변환하고 이는 터널내 존재 차량대수(n)로 변환하여 적용한다.

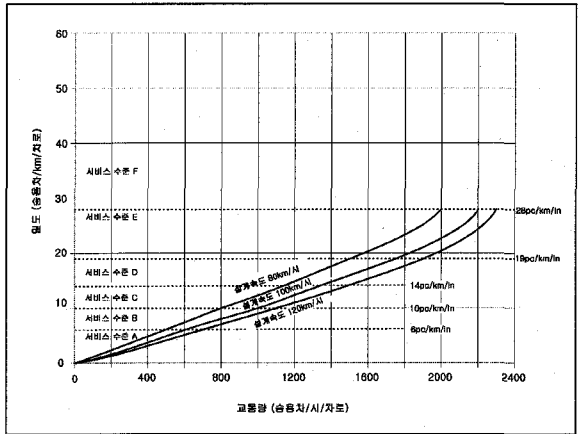
$$n = \frac{N \times L}{3,600 \times Vt}$$

- 여기서, N : 시간당 교통량 (대/시)
- L : 터널 연장 (km)
- Vt : 차도내 주행속도 (km/h)

표 7. 도로 설계속도에 따른 최대교통량 [pcu/(h·km)]

현재	100 km/h		120 km/h
	2200		
미래	80 km/h	100 km/h	120 km/h
	2000	2200	2300

표 8. 교통밀도 그래프



최근까지는 도로 설계속도에 관계없이 차량속도 100 km/h 이상은 이상교통용량 2200pcu/(h·km)값을 적용하였으나 2001년 도로용량 편람에는 도로 설계속도에 따라 2000, 2200, 2300pcu/(h·km)로 구분하고 있어 환기설계 시스템 설계시 도로 설계속도를 충분히 검토해야 할 것이다.

2.3 보정계수

일반적으로 보정계수 종류에는 속도, 구배, 표고에 대해 물질별 보정계수를 적용하고 있으며 그 특징은 다음과 같다. (표 9,10,11,12 참조)

- ▶ 보정계수는 차량의 성능이 향상될수록 계수값 이 작아지는 것이 일반적이며 또한 각 차량의 엔진이 갖는 특수성과 배출량 검사시 적용되는 방법(시험모드)에 따라 달라질 수 있다.

표 9. 구배속도 보정계수 (fiv)

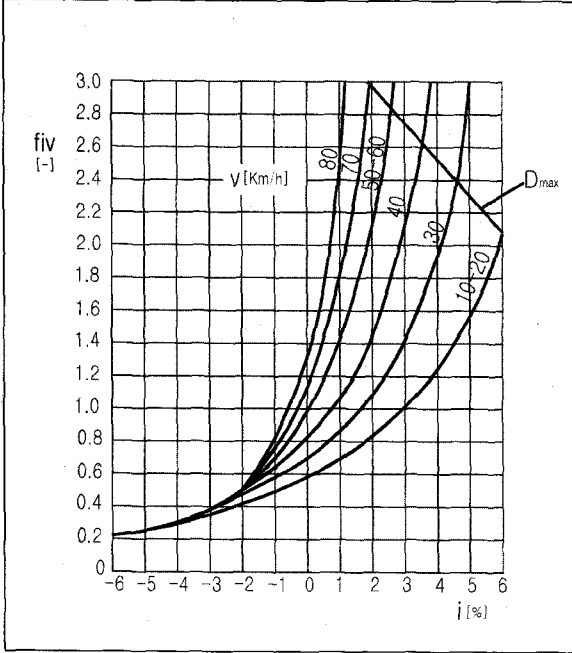


표 11. 속도 보정계수 (fv)

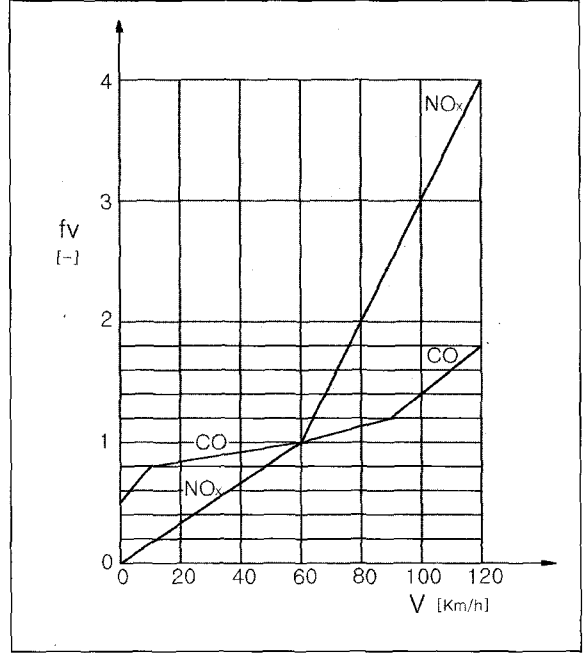


표 10. 구배 보정계수 (fi)

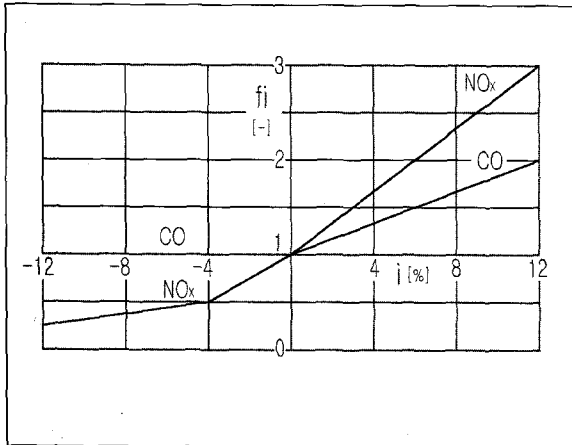
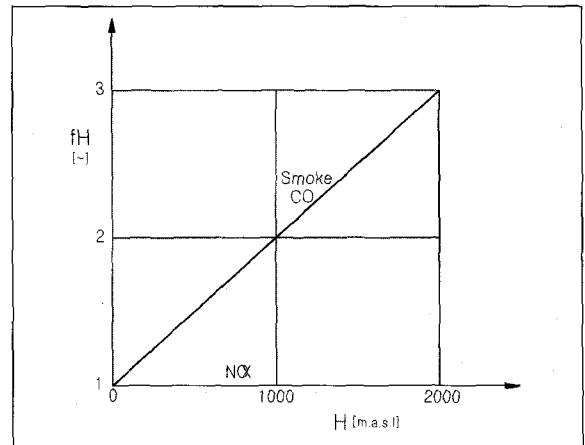


표 12. 표고 보정계수 (fH)



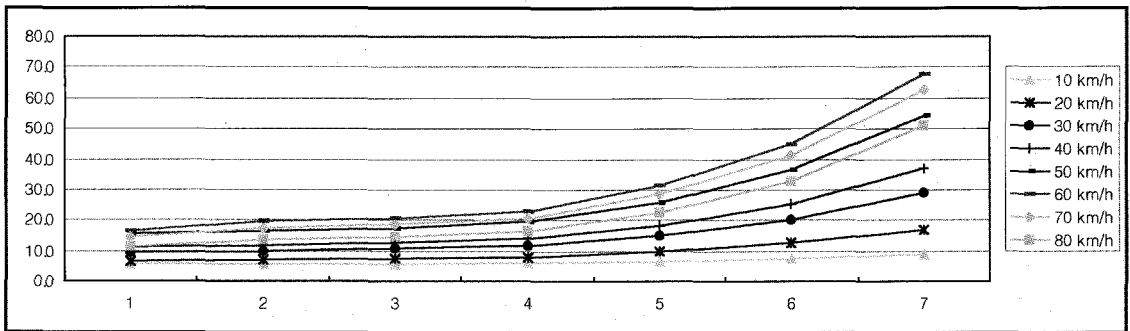
- ▶ 현재 국내에서 적용하는 보정계수는 '95 PIARC 보고서 이전에 발표된 내용을 사용하고 있다.
- ▶ 각 그래프의 특징은 구배 0%, 속도 60km/h 가 대부분 기준이 되어 1의 값을 나타내며 오르막 구배에서는 가파르게 증가되고 내리막구배는 오르막구배보

다 완만한 감소를 알 수 있다.

- ▶ '95 PIARC 보고서의 특징은 속도구배 보정계수에 대한 그래프 없이 각 보정값을 적용하나 일괄된 특징을 찾기가 매우 어렵다. (표 13)

표 13. '95 PIARC 보고서 / 소형 디젤차에 대한 속도·구배 보정계수 [EURO-1]

차량속도 vm(km/h)	구배						
	-6% (1)	-4% (2)	-2% (3)	0% (4)	2% (5)	4% (6)	6% (7)
0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
5	5.1	5.1	5.1	5.1	5.5	5.8	6.5
10	5.5	5.6	5.8	5.9	6.5	7.4	8.9
15	6.0	6.2	6.5	6.9	8.0	9.6	12.4
20	6.5	6.9	7.3	8.1	9.8	12.4	16.9
30	9.4	10.0	10.6	11.7	14.9	20.1	28.8
40	11.1	11.8	12.5	13.9	18.2	25.1	26.9
50	15.6	16.5	17.5	19.5	25.9	36.5	54.5
60	16.2	19.7	20.8	23.1(기준값)	31.5	44.9	67.8
70	14.4	17.5	18.5	20.6	28.4	41.2	62.8
80	11.3	13.7	14.6	16.2	22.6	32.9	50.8



◆ [표13]을 그래프로 변환한 것임.

2.3.1 허용농도

■ 매연에 대한 허용농도(소광계수 K)

매연에대한 허용농도는 운전자 시계 확보를 기 준한 것으로 차량속도에 따라 그 값이 달라지 게 된다. 따라서 차량속도에 따라 차등화 하는 것이 바람직하다고 생각한다.

매연에 대한 허용농도는 실제로 소광계수로 부르는 것이 올바른 표현이며 소광계수와 매연투과율(%)과의 관계는 다음과 같다.

$$K = -\frac{1}{L} \ln \frac{E}{E_0}$$

K : 소광계수

E : 스모그가 자욱한 대기에서 거리 L을 통과한 후의 광선강도

E₀ : 초기광선의 강도이다.

■ CO가스에 대한 허용농도

CO가스는 인체에 흡수되면 COHb를 형성하여 산소의 운반능력을 저하시켜 신경계통에 영향을 주어 반사적인

운동신경 둔화로 운전자의 판단능력을 저하시키는 것으로 현재 국내 허용기준은 100ppm을 적용하며 점점 강아 되는 추세를 갖고 있다. (97.10 ; 150ppm → 99.8 ; 100ppm)

■ NO_x에 대한 허용농도

NO_x(질소산화물)의 95% 이상이 NO이나 대기중에서 여러가지 산화물과 광화학 반응하여 NO₂로 변환한다. NO₂는 NO보다 독성이 5배 이상으로 알려지고 있으며 NO_x에 대한 국내 허용농도는 25ppm이 된다.

표 14. 한국도로공사 설계기준

차량속도 (km/h)	소광계수 값 (K)
10 ~ 30 (극지체시)	0.008
40 ~ 60 (지체시)	0.007
70 ~ 80 (원활시)	0.006

2.3.2 소요환기량의 절대 필요값

터널환기를 위한 소요환기량의 절대 필요값은 터널내에서 실시간 차량에서 배출되는 오염물질을 허용농도 이하로 항상 유지시키기 위해 외부에서 신선공기가 유입되는 공기의 량을 뜻하는 것으로 그 기본개념은 오염물질과 허용농도로 산정된다. 따라서 향후 오염물질 배출량이 감소되고 이에 따른 허용농도 기준이 강화되었을 때 소요환기량 규모를 유추 할 수 있으며 그 환기기 규모도 추정할 수 있어 단계건설등의 장래계획에 활용할 수 있다.

표 16은 표 15와 같이 허용농도기준이 변화되었을 때 동일 교통량 값으로 소요환기량을 추정한 값이 된다.

2.4 환기량과 젯트팬 소요대수의 관계

도로터널 환기시스템에서 터널내 풍속의 한계인

표 15. '95 PIARC 보고서 / 오염물질별 허용농도 권고값

교통상태	CO		NO _x	가시거리 (매연)	
	연도			소광계수	투과율
	1995	2010			
	ppm	ppm	ppm	10 ³ m ³	%
50 ~ 100 km/h	100	70	25	5	60
매일혼잡	100	70	25	7	50
극도로 혼잡한 통행	150	100		9	40
터널유지보수	30	20	25	3	75
터널차단	250	200	25	12	30

표16. 소요환기량 산출비교 [표15 적용기준]

구분	배출량	fi	fv	fh	허용농도	10 ⁶	1/3600	터널연장 [km]	차로수 [lane]	소요 환기량	비교
		fiv									
매연 (60km/h)	현재	1,470.28	1.44	1.4	0.006m ⁻¹	-	1/3600	1	2	275	100%
	미래	915.12	1.44	1.4	0.005m ⁻¹	-	1/3600	1	2	205	74.55%
CO (10km/h)	현재	20.98	1.08	0.8	100ppm	10 ⁶	1/3600	1	2	141	100%
	미래	13.02	1.08	0.8	70ppm	10 ⁶	1/3600	1	2	125	88.65%
NO _x (10km/h)	현재	15.21	1.17	0.17	25ppm	10 ⁶	1/3600	1	2	68	100%
	미래	12.63	1.17	0.17	25ppm	10 ⁶	1/3600	1	2	56	82.35%

10m/s를 고려할 때 풍량(환기량)은 단면적(A_r)×풍속(V_r)에서 고속도로인 경우 약 750m³/s 정도가 최대가 된다. 즉 소요환기량이 750m³/s 이하가 되면 젯트팬 종류식이 가능하다는 뜻이지만 차량속도에 따라 교통환기력이 좌우되므로 차량속도를 충분히 고려해야 한다.

표 17는 젯트팬 수량과 터널내 풍속(소요환기량)의 관계를 알고자 하는 것으로 터널내 풍속을 0부터 30m/s까지 임의로 풍속을 변화시킬 때 터널내 압력평형을 통해서 다음과 같은 결과를 알 수 있다.

- ▶ ΔP_r 은 V_r^2 에 비례하며
- ▶ ΔP_m 은 V_r 에 관계없이 일정하다 ($V_n=2.5$ 기준)

- ▶ ΔP_t 에서 $V_t=18\text{km/h}$ 라면 $V_r=2$ 이상부터 자연 환기 불가능 터널이 된다.
- ▶ ΔP_j 는 V_r 증가에 따라 감소되며 만약 $V_r=30$ 이면 젯트팬 송압력은 0이 되고, 젯트팬이 필요 없다.
- ▶ 젯트팬 댓수 Z 는 V_r 에 정비례하지 않음을 알 수 있다.

따라서 풍속(V_r)은 항상 차량속도(V_t)보다 작아야 ($V_t > V_r$) 원활 교통상태의 교통환기력이 발생되며 만약 풍속이 차량속도보다 크다면 ($V_t < V_r$) 차량속도에 관계없이 지체 교통상태(차량이 저항요소로 변화됨)로 변해 많은 젯트팬 수가 필요하다.

표 17. 환기량과 젯트팬의 관계

구분	V_r (m/s)											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	30
ΔP_r	0	0.2724	1.0895	2.4514	4.3581	6.8095	9.8056	13.3465	17.4322	22.0626	27.2378	245.1405
ΔP_m	1.7024	1.7024	1.7024	1.7024	1.7024	1.7024	1.7024	1.7024	1.7024	1.7024	1.7024	1.7024
ΔP_t	7.1055	4.5476	2.5580	1.1369	0.2842	0.0000	-0.2842	-1.1369	-2.5580	-4.5476	-7.1055	-177.6387
ΔP_q	-5.4031	-2.5728	0.2339	3.0169	5.7763	8.5119	11.7922	16.1858	21.6926	28.3126	36.0457	424.4816
ΔP_j	1.8039	1.7438	1.6837	1.6236	1.5634	1.5033	1.4432	1.3830	1.3229	1.2628	1.2026	0
Z (대수)	0	0	0.14 (1)	1.86 (2)	3.69 (4)	5.66 (6)	8.17 (9)	11.70 (12)	16.40 (17)	22.42 (23)	29.97 (30)	0

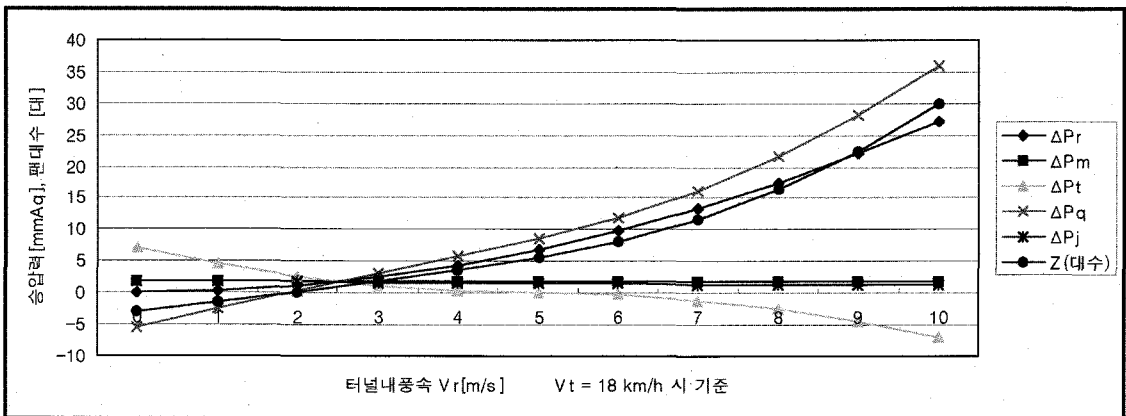
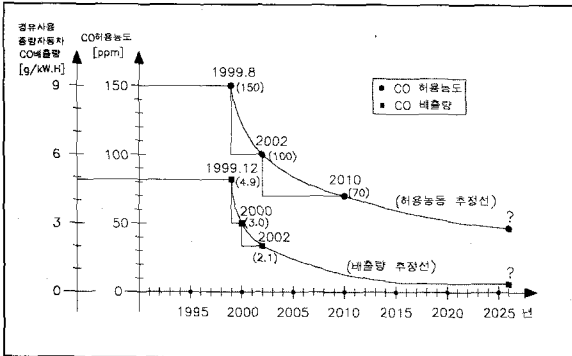


표18. 향후 CO가스 농도 및 배출량 추이 그래프



3. 결론

터널환기 시스템은 여러 변화인자가 상호특정한 관계를 갖고 산정된다. 특히 풍속과 압력관계는 2승에 비례하므로 증감의 양은 매우 큰값으로 변화되는 것은 표 17에서 알 수 있듯이 일정한 소요환기량 변화는 젯트팬 수량에 기하급수적인 변화가 될 수 있다.

터널환기시스템 관련 여러인자 즉 교통량, 오염물질별 배출량, 각종 보정계수, 속도별 허용농도등은 상호 특수한 관계를 갖고 산정됨을 알 수 있으며 이런것들은 4~5년의 주기로 사회적 변화에 따라 변화되어야 함을 알 수 있다. 따라서 환기 시스템 또한 병행해서 변경될 수밖에 없지만, 환경관련 법규가 강화되면서 오염물질 배출기준이 감소되는 반면 배출 감시법(허용농도등) 또한 강화되므로 소요환기량의 절대량은 어느 정도 일정한 값을 유지하게 될 것이다. 더구나 차량수명에 의한 배출량 보정등을 감안한다면 아무리 강력한 환경법규가 개정되어 오염

물질 배출량이 줄어도 일정기간 차량수명을 감안하여야 하며 이에 따른 신규 환기설비도 단계적으로 이루어져야 할 것이므로 단계건설이 필요하게 된다.

앞에서 나열한 소요환기량 산정과정은 각 요소의 변화에 따라 변화되는 것은 사실이지만 배출량이 감소됨으로써 환기기 용량이 동일한 비율로 줄지 않는 것을 터널 설계자들은 이해하길 바라며 표 18 그래프처럼 허용농도와 배출량이 일정한 값을 갖게 되며 소요환기량도 어느정도 일정하다는 사실을 인식하여야 할 것이다.

향후 터널환기 시스템 계획시 1차원적인 소요환기량에 의한 단순 환기기 규모 결정만 할것이 아니라 터널이 갖는 환기차원의 특성을 충분히 고려해야하며, 방재시스템을 고려한 제어기능을 더한층 고려해야 할것이다.

참고문헌

- 1) 대기환경보전법 시행규칙 제 67조 별표 20 제작차 배출허용기준
- 2) 도로용량편람(1992), 건설부
- 3) 도로용량편람(2001), 건설교통부
- 4) 고속도로 터널환기시설 설계기준(1997.10), 한국도로공사
- 5) 육십령터널 환기설비 보고서, '93, 한국도로공사
- 6) 도로형태에 따른 최적환기량 산정 및 단계건설에 관한 연구 (II단계), 200.12, 한국건설기술 연구원
- 7) 도로설계편람(1), 2000, 건설교통부
- 8) 도로터널 기술기준 및 동해설(환기편), 1992, 한국도로공사
- 9) PIARC (Permanent International Association of Road Congress)보고서 - '87, '91, '95
- 10) 도로설계요령 제 3집, 터널구조 설계시공, 1991, 일본도로공단