도로터널 환기 현황 및 문제점

State of the art in the road tunnel ventilation

윤 철 욱
C. W. Yoon
한국도로공사 설비과

• 1960년생
• 터널환기 및 중수도시설 분야에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

사회간접자본 확충을 통한 물류비용절감을 위해 최근 국내 고속도로망 및 도시교통망 신·증설이 가속화됨에 따라 터널 개소의 증가는 물론 장대(長大)화 되고 있으며, 특히 고속도로망 확충에 따른 터널 수요는 가히 혁명적이라 할 수 있다.

최근 국민의식수준 향상으로 환경에 대한 중요성이 크게 부각되고 안전운행에 대한 욕구가 증대되고 있으며, 자동차 배출가스의 규제가 한층 강화되어 차량당 배출되는 유해가스의 양은 감소되는 추세에 있지만 상대적으로 차량의 대수가 급속히 증가되어 도로터널내의 매연 및 일산화탄소 등의 발생량이 늘어나 터널내 가시거리 확보를 통한 주행성 증대를 위해, 터널 환기시설의 필요성이 매우 높아지고 있다. 선진 외국에서는 오래전부터 터널의 환기대책에 지대한 관심을 가지고 이에 대처해 있으나 우리나라의 경우에는 외국의 경험 및 기술에 전적으로 의존하고 있는 형편으로, 그동안 터널소요환기량을 적절히 산정할 수 있는 설계업체가 대단한 know-how를 가진 것으로 인식되었고, 외국의 기 시공 터널을 모방하여 설계·시공하는 것이 보편적 추세였다.

터널의 환기량 계산 및 환기시스템 설계는 각국의 지형특성, 기후특성, 자동차의 특성 등에 의해서 많은 차이를 보이게 되므로 설계에 필요한 자료를 장기간에 걸쳐 체계적으로 정립하고 지속적으로 보완하여야 함에도, 국내 현실에 맞는 터널내 환경기준 및 소요환기량 산정기법을 수립하여 효과적이고 경제적인 환기방식선정이라는 원초적인 문제를 등한시 했고, 설령 이 문제에 접근한다 해도 수많은 기술적 장벽에 봉착할 수 밖에 없었다.

이에 도로터널 환기현황을 소개하고 문제점을 열거, 차후 각계 전문가들로 하여금 개선방안을 도출할 수 있는 계기로 삼고자 한다.

2. 도로터널 환기 현황

2.1 도로터널 환기계획

2.1.1 환기의 개요

도로터널의 환기설비는 차량 배출가스를 터널 밖으로 배출시켜 터널내 오염물질의 농도를 허용수준 이하로 유지함으로써 안전하고 쾌적한 교통환경을 확보하기 위한 것이며 터널연장과 교통량

에 적합한 환기설비를 계획하여 충분한 기능이 유지되도록 관리하여야 한다.

(1) 검토대상

터널내 오염물질중 환기의 주된 검토 대상은 매연과 일산화탄소(CO)이며, 이는 두 물질을 허용기준 이하로 유지할 수 있는 정도의 환기량이면 질소산화물(NOx) 등의 다른 유해물질들에 대해서는 대부분 안전하게 된다. 매연은 운전자의 시거확보에 장애가 되는 물질로 주로 디젤차에서 발생하며, 매연의 양에 대한 허용기준은 일본의 경우(표 1) 빛의 투과정도를 표시한 매연투과율, PIARC나 미국의 경우(표 2)는 가시거리의 역수를 나타내는 투과계수로 표기한다.

허용 매연 농도 적용 방법은 일본과 유럽방식에 차이가 있는데 (표 3), 산출기법에서 적용 공식은 모두 람버트·비야의 법칙에서 인용하고 있다.

터널 통행자의 쾌적성과 매연투과율과의 관계에 대해서는 명확히 규정하는 것이 곤란하나 PIARC(1979)에 보고된 자료에는 쾌적성의 Level 에 대해서 다음 표 4의 수치를 나타내고 있다.

일산화탄소는 무색, 무취한 가스로 헤모글로빈과의 결합력이 산소보다 200배나 높아 인체에 흡수되면 CoHb를 형성하여 산소의 운반능력을 저하시켜 반사적인 운동신경의 둔화로 운전자의 교통상황판단의 지연을 초래할 수 있는 물질로 주행속도 10km정도에서 최대로 배출되며, 일본은 100ppm 이하를 기준으로 하고 PIARC는 터널종류에 따라 표 5와 같은 기준을 제시하고 있다.

기존 터널의 환기설계는 주로 일본방식을 적용하여 왔으나 한국 도로공사의 경우 '94년 이후 PIARC방식을 도입 적용하고 있으며, 터널환기시설에 대한 연구용역이 1단계 완료되어 '97년 이후 우리 실정에 맞는 환기량 산정기법을 적용할 수 있는 밑거름이 될것으로 기대된다.

표 1 일본기준

설 계 속 도	매연투과율(100m)	비 고
80km/hr 이상	50% 이상	
60km/hr 이하	40% 이상	

표 2 PIARC 기준

교 통 상 태		매연투과계수(m^{-1})
정상상태	60~80 km/hr	0.005~0.007
	100 km/hr	0.005
정 체 상 태		0.007~0.009
터널 사용금지 상태		0.012
터널내 점검 보수시		0.003 이하

표 3 허용매연농도 적용 비교

일 본	유 럽
$K\text{vi} = -\frac{1}{100}\log\frac{\tau}{100}$	$K\text{lim} = -\frac{1}{100}\ln\frac{\tau}{100}$
□ Lambert의 법칙에서 $\frac{Eo-E}{Eo} = 1 - e^{-K\cdot\ell}$	
$K = -\frac{1}{\ell}\ln\frac{E}{Eo}$ … 유럽	
$K = -\frac{1}{\ell}\log\frac{E}{Eo}$ … 일본(상용대수 사용)	
τ : ℓ(m)간의 투과율 e : 자연수	
E : 매연 투과량 ℓ : 매연층의 두께(m)	
Eo : 매연 없는 초기량 K : 흡광계수	

표 4 투과율과 쾌적성

투과율(%)	상 황
100 – 60	쾌적한 상태
60 – 50	매연이 눈에 보임
50 – 40	약간 불쾌한 상태
40 – 30	매우 불쾌한 상태
30 이하	허용할 수 없는 상태

표 5 PIARC 기준(Colim at peak traffic)

터 널 종 류	정체가 없는 경우	정체가 심한 경우
혼잡한 도시터널	100~150ppm	100~150ppm
혼잡하지 않은 도시터널	100~150ppm	150~250ppm
고속도로 또는 산악터널	100~150ppm	150~200ppm

(2) 환기계획 흐름도

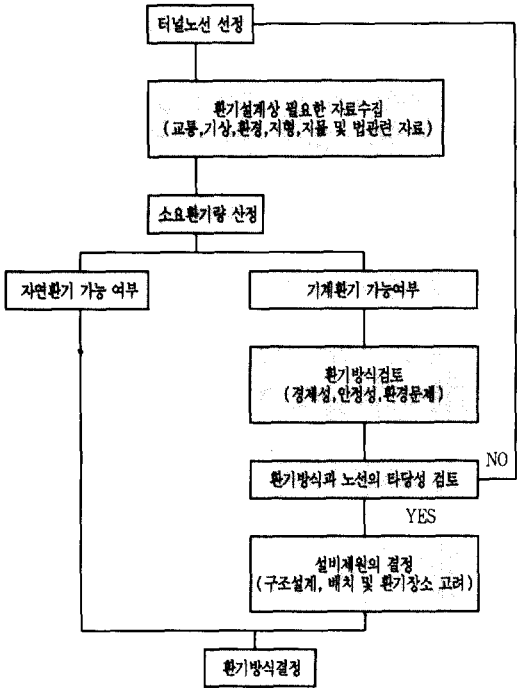


그림 1 환기계획 흐름도

(3) 조 사

① 교통량 조사 : 교통량, 차종구성, 대형차혼입률 등

② 기 상 조 사 : 풍향, 풍속, 기온, 습도 등

③ 환 경 조 사 : 주변환경 고려

④ 지형, 지물 및 지질조사

2.1.2 환기방식의 종류 및 특성

(1) 환기방식의 구분

환기방식은 자연환기와 기계환기로 대별되는데, 자연환기는 기계설비를 사용하지 않고 환기의 목적을 달성하는 것으로 환기의 원동력은 자동차 주행에 의한 피스톤작용과 터널내 외부의 온도 및 압력차에 의한 자연환기력이다. 자연환기가 가능한 한계는 조건에 따라 다르나 고속도로(산악터널)의 경우 터널연장이 1000m 미만이면 가능하다.

환기방식은 도로상황(일반도로, 도시간 고속도로, 도시고속도로)과 교통량, 대형차혼입율, 입지조건, 터널연장 등을 고려하여 선정되며, 터널환기방식의 세계적 추세는 교통환기력을 유효하게 이용하여 공사비 및 유지비를 절감할수 있는 종류환기방식을 지향하고 있다.(특히 산악터널의 경우)

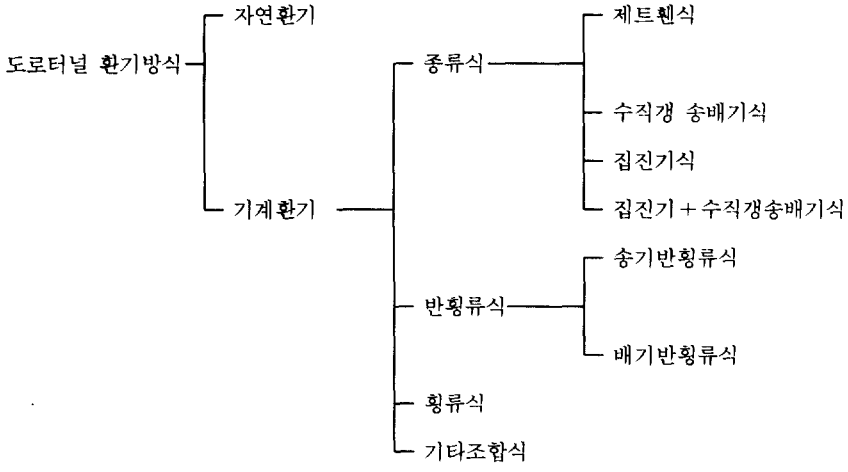
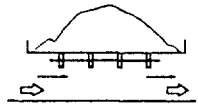
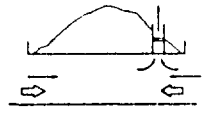
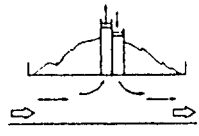
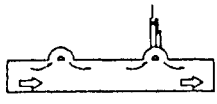
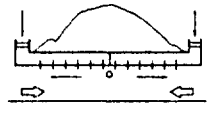
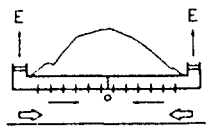
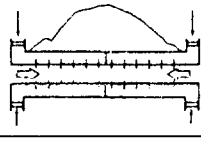


그림 2 환기방식의 종류

(2) 환기방식의 종류

표 6 환기방식의 종류

방 식		개 념 도	특 징
종류식	JET-FAN식		1. 설비비가 적게든다. 2. 증설이 용이 3. 적용 터널연장이 제한적이다. 4. 송풍기의 소음이 크다. 5. 교통환기력의 유효한 이용 가능
	집중배기식		1. 갱구부근의 환경은 양호 2. 교통흐름과 공기의 흐름이 상반되는 곳이 생긴다. 3. 터널단면을 비교적 작게할 수 있다.
	집진기방식		1. 교통환기력의 효과적 이용 가능 2. 디젤 자동차 구성비가 높고 CO 환기량이 적을 경우 유효 3. 외부환경 오염관리가 요구되는 터널에 유효
	수직갱송배기식		1. 교통의 피스톤 작용을 유효하게 이용 가능 2. 수직갱의 수를 증가시키면, 사실상 터널 길이에 제한을 받지 않는다. 3. 터널단면을 비교적 작게 할 수 있다.
	집진기 + 수직갱송배기식		1. 집진기 방식과 입갱송배기 방식의 특징을 혼합
반횡류식	송기반횡류식		1. 자연풍의 영향이 적다. 2. 덕트면적을 필요로 함. 3. 차도내 농도분포가 비교적 균일하다. 4. 환기실 설치 및 진입로 설치
	배기반횡류식		1. 차도내 농도분포가 부분적으로 높아진다. 2. 갱구 부근의 환경이 양호 3. 환기실 설치 및 진입로 설치
횡류식	횡 류 식		1. 2계통의 DUCT 면적이 필요하므로 시설비 및 유지비 고가 2. 화재시 배연효율이 좋다. 3. 환기실 설치 및 진입로 설치

(3) 환기방식별 일반적 적용연장

표 7 환기방식별 적용 연장

환기방식 \ 터널연장(km)			1	2	3	4	5
일방교통 터널	종류 환기방식	제트팬식	═══	═══			
		사카르트식	═══	═══			
		집중배기식		═══	═══		
		집진기식		═══	═══	═══	
		수직갱송배기식		═══	═══	═══	═══
	반횡류환기식			═══	═══		
	횡류환기식			═══	═══	═══	═══
	조합방식				═══	═══	═══
대면교통 터널	종류 환기방식	제트팬식	═══	═══			
		사카르트식	═══	═══			
		집중배기식	═══	═══	═══		
	반횡류환기식		═══	═══	═══		
	횡류환기식			═══	═══	═══	═══
	조합방식				═══	═══	═══

Note : 1) 수직갱송배기식, 횡류환기식은 송배기구가 수직갱 등에 의해 설치가능 하다면 연장에 제한이 없음.

2) 조합방식도 1과 같음.

2.1.3 환기방식의 선정시 고려사항

(1) 교통 조건 : 교통방식, 교통량, 주행속도, 차종구성등.
(2) 지형, 지물, 지질 조건
(3) 차도내 풍속
— 일방향 교통 : 10m/s
— 양방향 교통 : 8m/s
(4) 환경 조건
(5) 화재시의 환기시설 운용
(6) 유지 관리
(7) 단계 건설
(8) 경제성 비교 : 공사비, 유지관리비

국내에 기시공 또는 시공예정인 터널을 고속도로와 국도(시도)로 분류하면 표 8, 표 9와 같으며 고속도로 터널은 연장의 대소에 관계없이 모두가 종류환기방식을 채택하고 있고 국도(시도)는 1500m 이하의 터널을 제외하고 횡류 및 반횡류 환기방식을 채택하고 있다.

표 8 고속도로 터널 현황

순	구분 / 터널		연장 [m]	종단구배 [%]	내 공 단면적 [㎡]	환기방식 종류	환기방식 반횡	환기방식 횡류	환 기 설 비	개 통 연 도
1	마 성 [영동]	상	1,450	+ 0.62	60.4	○			젯 ϕ1000×20대	1994
		하	1,460	− 0.62	60.4	○			젯 ϕ1000×12대	
2	달성 1 [구마]	상	1,387	+ 1.8	60	○			젯 ϕ1000× 8대	1995
		하	1,362	− 1.8	60	○			젯 ϕ1000×26대	
3	달성 2 [구마]	상	992	+ 2.0	60	○			젯 ϕ1000×16대	1995
		하	969	− 2.0	60	○			젯 ϕ1000× 4대	
4	상 주 [중부]	상	1,640	+ 1.29	62.06	○			젯 ϕ1250× 4대	1999 (예정)
		하	1,570	− 1.29	62.06	○			젯 ϕ1000× 4대	
5	다 부 [중앙]	상	1,093	± 3	60	○			젯 ϕ1000×12대	1995
		하	1,093	± 3	60	○			젯 ϕ1000×12대	
6	봉 평 [영동]	상	1,410	− 0.96	60.24	○			젯 ϕ1000× 6대	1999 (예정)
		하	1,435	+ 0.813	60.24	○			젯 ϕ1000×12대	
7	수 리 〈4차선〉 [서울·외]	상	1,866	− 0.52	132.8	○			젯 ϕ1530× 4대	1999 (예정)
		하	1,866	+ 0.52	132.8	○			집 225CMS×1대 젯 ϕ1530× 4대	
8	둔 내 [영동]	상	3,300	+ 1.507	65.5	○			수 330CMS×1대 젯 ϕ1000×32대	1999 (예정)
		하	3,300	+ 1.507	65.5	○			젯 ϕ1000×26대	
9	진 부 [영동]	상	2,095	+ 1.84	63.37	○			집 285CMS×1대 젯 ϕ1000× 8대	1999 (예정)
10	상 동 [부산·대구]	상	1,995	− 0.428	60.6	○			젯 ϕ1000×12대	1999 (예정)
		하	2,015	+ 0.42	60.6	○			젯 ϕ1000×12대	
11	죽 령 [중앙]	상	4,123	+ 0.5 − 0.85	64.09	○			집 280CMS×1대 젯 ϕ1000×14대	2001 (예정)
		하	4,140	+ 0.85 − 0.5	64.09	○			수 410CMS×1대 젯 ϕ1000×10대	

[비고] 수 : 수직갱, 집 : 집진기, 젯 : 젯트팬

순	구분 / 터널		연장 [m]	종단구배 [%]	내 공 단면적 [㎡]	환기방식 종류	환기방식 반횡	환기방식 횡류	환 기 설 비	개 통 연 도
12	양미재 [내서·냉정]	상	2,581	+ 0.3	61.58	○			집 270CMS×1대 젯 φ1000×16대	2001 (예정)
		하	2,596	− 0.3	61.58	○			수 300CMS×1대 젯 φ1000× 6대	
13	남 산 [중앙]	상	840	+ 2.0	63.374	○			젯 φ1000× 4대	2001 (예정)
		하	840	− 2.0	63.374	○			젯 φ1000× 4대	
14	유 탕 [호남]	상	740	± 2.6945	63.78	○			젯 φ1000× 6대	2001 (예정)
		하	740	± 2.6945	63.78	○			젯 φ1000× 2대	
15	장 성 [호남]	상	3,490	+ 0.3554	63.78	○			집 295CMS×2대 젯 φ1000×14대	2001 (예정)
		하	3,490	− 0.3554	63.78	○			집 300CMS×1대 젯 φ1000×16대	
16	상 림 [호남]	상	772	− 2.978	63.78	○			젯 φ1000× 2대	2001 (예정)
		하	780	+ 2.98	63.78	○			젯 φ1000×12대	
17	마 달 [대전·진주]	상	670	− 2.97	60.2	○			젯 φ1000× 8대	2001 (예정)
		하	695	+ 2.62	60.2	○			젯 φ1000×12대	
18	삼마치 [중앙]	상	1,400	+ 1.5	63.374	○			젯 φ1000× 4대	2001 (예정)
		하	1,400	− 1.5	63.374	○			젯 φ1000× 6대	

[비고] 수 : 수직갱, 집 : 집진기, 젯 : 젯트팬

표 9 국도(시도) 터널 현황

순	구분 / 터널		연장 [m]	종단구배 [%]	내 공 단면적 [㎡]	환기방식 종류	환기방식 반횡	환기방식 횡류	환 기 설 비	개 통 연 도
1	불모산	상	2,340	− 1.536	65.27		○		송풍기 130CMS×6대	
		하	2,340	+ 1.536	65.27		○		송풍기 130CMS×6대	
2	박달재	상	1,960	− 0.3	64.84		○		송풍기 100CMS×6대	1998 (예정)
		하	1,820	+ 0.3	64.84		○		송풍기 100CMS×6대	
3	횡령산	상	1,843	+ 2.2	68.6		○		송풍기 165CMS×4대	1996 (예정)
		하	1,843	− 2.2	68.6		○		송풍기 165CMS×4대	
4	구 덕	상	1,870	+ 1.6	68.6		○		송풍기 135CMS×4대	1984
		하	1,870	− 1.6	68.6		○		송풍기 135CMS×4대	
5	내 곡 〈3차선〉	상	1,034	− 2.5	96	○			−	1995
		하	1,060	+ 2.5	96	○			젯 φ1250×6대	
6	포이·내곡	상	1,220	− 3.0	62.07	○			젯 φ1000×4대	1996 (예정)
		하	1,220	+ 3.0	62.07	○			젯 φ1000×4대	

[비고] 수 : 수직갱, 집 : 집진기, 젯 : 젯트팬

순	구분 / 터널		연장 [m]	종단구배 [%]	내 공 단면적 [㎡]	환기방식 종류	환기방식 반횡	환기방식 횡류	환 기 설 비	개 통 연 도
7	제1만덕	상	815		68.6	○			젯 ϕ630×10대	1973
		하	815		68.6	○			젯 ϕ630×10대	
8	제2만덕	상	1,740	+2.88	68.6		○		송풍기 165CMS×4대	1988
		하	1,740	−2.88	68.6		○		송풍기 165CMS×4대	
9	수정산	상	2,330	+2.089	61.7	○			집 240CMS×2대	2000
		하	2,330	−2.089	61.7	○			젯 ϕ1000×6대	(예)
10	백양산	상	2,440	−1.008	81.27		○		송풍기 90CMS×6대	1997
		하	2,434.49	+1.009	81.27		○		송풍기 139CMS×6대	(예)
11	이화령	상	1,595	+1.6	59.7908	○			젯 ϕ1250×4대	1997 (예정)
		하	1,525	−1.6	59.7908	○			집 270CMS×1대 젯 ϕ1250×4대	
12	싸리재	상	1,340	+0.25	59.663	○			젯 ϕ1000×14대	1998 (예정) (대면)
		하		−0.25	59.663	○				
13	연미산	상	840	+0.3	59.93	○			젯 ϕ710×8대	1995
		하	840	−0.3	59.93	○			젯 ϕ710×8대	
14	팔달산	상	730	+0.823	60.24	○			집 240CMS×1대	1999 (대면)
		하		−0.823	60.24	○				
15	개 좌	상	1,140	+2.0	62.22	○			집 ϕ1000×2대	1999 (예정)
		하	1,140	−2.0	62.22	○				
16	다리재	상	1,500	−2.0	62.4	○			젯 ϕ1000×4대	2000
		하	1,500	+2.0	94.2	○			젯 ϕ1250×21대	(예정)
17	진 천	상	1,040	+0.3	60.2407	○			젯 ϕ710×8대	1999
		하	1,040	−0.3	60.2407	○			젯 ϕ710×8대	(예정)
18	남산1호	상	1,530	+0.66 +1.52	62.8		○		송풍기 130CMS×7대	1970
		하	1,530	−1.52 −0.66	62.8			○	송풍기 106CMS×4대 송풍기 97CMS×4대	1995

[비고] 수 : 수직갱, 집 : 집진기, 젯 : 젯트팬

2.2 일본터널 환기방식의 변천과정

(1) 1960～1965

종류환기방식		반횡류환기방식		횡류환기방식	
1962 석유터널	(L=286m)	1963 천왕산터널	(L=1454m)	1958 관문터널	(L=3462m)
1964 익전해저터널	(L=300m)	1963 미원터널	(L= 930m)	1964 천대전터널	(L= 435m)
		1964 하가관터널	(L= 800m)	1964 삼택판터널	(L=2891m)
		1964 세자터널	(L=2954m)		

환기의 동향	– 관문터널에서는 미국의 모든 데이타를 바탕으로 CO가스를 대상으로 해서 계획을 실시하지만 개통개시후에는 CO허용치에 달하기전에 디젤차에 의한 매연에 따라 투시도가 나쁜 것으로 판명되었다. 이 때문에, 자동차의 배기가스에 관하여 조사연구가 많이 실시되었지만 일본내 실적으로서의 관문터널에 근접한 방식으로 해서 송기반횡류식의 적용이 결정되었다.

(2) 1965～1970

종류환기방식	반횡류환기방식	횡류환기방식
1966 어견산터널 (L=860m)	1967 동율자터널 (L=2374m)	
1966 오전터널 (L=641m)	1967 서율자터널 (L=2744m)	
1967 신우진터널 (L=844m)	1968 일본판터널 (L=2045m)	
1967 무생터널 (L=835m)	1968 청견사터널 (L=7854m)	
	1968 우리터널 (L= 958m)	
	1968 홍진터널 (L= 521m)	
	1968 도부량야터널 (L=1690m)	
	1968 포원터널 (L= 713m)	
	1968 소불터널 (L=1619m)	
환기의 동향	– 동명자동차의 건설계획에 따라 장대 터널에 대한 환기방식 선정의 일반적인 수법에 대해서 검토를 실시함과 동시에 자동차배출가스, 갱구배출가스의 확산 등에 관한 조사연구가 실시되어졌다.	

(3) 1970～1975

종류환기방식	반횡류환기방식	횡류환기방식
		1972 관문터널 (L=3462m) 1973 팔중주터널 (L=1400m)
환기의 동향	– 터널환기에 관련해서 조사연구를 실시하고 다른 터널내 화재시의 배연, 갱구부근의 배기가스 확산 등의 분야에서의 조사연구가 실시되어졌다. 또한, 1973년경에 오일쇼-크가 생긴 이후 환기설비에 대해서도 에너지절감에 대한 요망이 강하다. 이 때문에, 일방교통 터널에 대한 교통환기력에 대해서의 조사연구도 실시되어졌다.	

(4) 1975～1980

종류환기방식	반횡류환기방식	횡류환기방식
1975 복도터널 (L=909m)	1975 망괴터널 (L=1943m)	1975 혜나산터널 (L=8476m)
	1976 동경항터널 (L=1325m)	1977 세자터널 (L=4417m)
	1979 신일본판터널 (L=2205m)	
환기의 동향	– 오일쇼-크의 영향을 받아서 환기용 동력의 절감이 가능하고 경제적으로한 종류 환기의 적용범위를 확대하기 위해서 조사연구가 주로 실시되었다. 또한, 기계환기를 하지않고 굴착하여 나눈, 스로트 구조에서의 환기효과에 대해서의 조사연구에 관해서도 실시되고 있다.	

(5) 1980～1985

종 류 환 기 방 식	반 횡 류 환 기 방 식	횡 류 환 기 방 식
1980 돈하터널 (L=2925m) 1981 곡칭엽터널 (L=1355m) 1983 우두산터널 (L=3573m) 1983 기계동터널 (L=3277m) 1983 가계서터널 (L=2691m) 1983 관산터널 (L=2198m) 1983 미산터널 (L=3154m)		
환기의 동향	– 관월터널에서의 종류환기방식의 적용에 관한 각종의 조사연구가 실시되었다. 또한, 도시내 터널에서는 도시터널에 적합한 환기시스템에 관한 조사연구가 실시되고 있다.	

(6) 1985～1990

종 류 환 기 방 식	반 횡 류 환 기 방 식	횡 류 환 기 방 식
1985 혜나산터널 (L= 8625m) 1985 관월터널 (L=10926m)		
환기의 동향	– 젯트팬 형식의 대형화 및 전기집진기의 개발에 따라 장대터널에서의 종류환기방식의 적용예가 증가의 경향을 나타낸다. 장대터널을 대상으로한 종류환기운용상의 각종 검토가 실시되고 있다. 또한, 도시내 터널으로서는 중앙환상선 등의 장대터널의 계획에 따라서 환기의 질, 갱구오염대책 등의 배려에서 집중배기부 횡류식의 적용이 검토되고 있다.	

일본의 도로터널의 환기는 58년에 설치된 관문(關門)터널(3,462m)을 시작으로 수많은 터널이 설치되어 있다. 이들 터널의 환기계획은 당초 해외터널을 참고로 차도와는 별도로 덕트를 설치, 차의 흐름에 관계없이 차도에 신선한 공기를 공급하는 횡류식 또는 송기반횡류식이 주로 설계되어 왔지만 70년 오일쇼크 이후 자원절약 에너지절약 시대를 맞이하여 차의 주행에너지를 이용하는 종류식이 주류를 이루어 75년 들어 새로운 기술로서 터널용 전기집진기가 개발되어 이를 이용한 종류환기방식이 실용화의 시대로 들어섰다.

다만, 도시고속도로의 경우 중교통량 및 터널내에서의 분 합류, 대형차 혼입율이 적은 상황 등을 고려할 때 횡류환기 방식이 대부분이다.

2.3 전기집진기부 종류환기방식

2.3.1 환기 개요

집진장치는 터널내의 매연, 분진 등을 전기적 장치로 포집하므로써 터널내 가시거리를 개선하는 역할을 하며 일본의 경우 1973년 이후부터 연구 개발되어 1980 돈하터널 시행이후 신기술로 다수의 장대터널에 시공되고 있고, 노르웨이는 1990년 오슬로터널 적용이후 집진효율이나 유지관리의 효율성 측면에서 상당한 기술발전을 이루고 있다.

일본에서 시공중에 있는 동경만 횡단도로 터널(9.6Km)은 수직갱(인공섬), Jet-Fan, 전기집진기를 조합한 종류환기방식을 채택하고 있으며, 연약지반에 위치한 해저 Shield 터널의 여건상 전기집진기 설치를 위한 Bypass 터널을 차도의 천정부에 설치토록 하였다. 천정형 전기집진기는 노르웨이 Hell터널(3,900m)에 적용된바 있으며, 동경만 횡단도로 터널의 천정형 전기집진기 설치를 위해 일본측으로부터 기술협조를 요청받고 있다고 한다. 그림3의 집진기 구성도에서 보듯이 노르웨이 방식은 전기집진필터와 축류형팬

사이의 공간이 상당히 멀리 떨어져 있는데 이는 향후 CO 및 NOx를 제거할 수 있는 처리필터의 설치를 위한 예비공간이다.

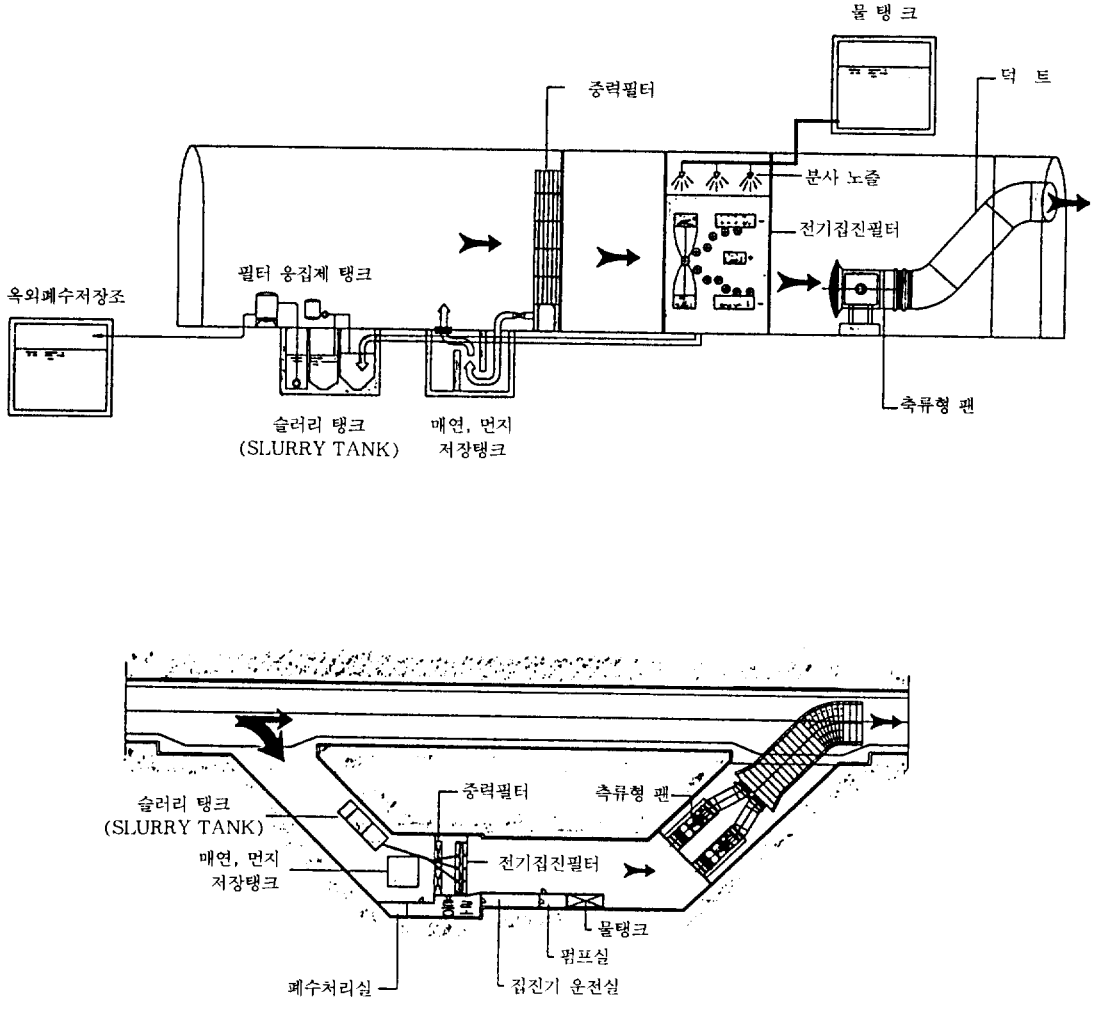


그림 3 전기집진기 구성도

2.3.2 전기집진기부 환기방식 현황

표 10 국내 터널

순	터 널 명	노 선 명	연 장 [km]	비 고
1	죽령터널(실시)	중앙고속도로	4.1228	상행 : 집진기 280CMS×1대(CTA) 젯트팬 ϕ1000×10대
2	수리터널(실시)	서울외곽 순환 고속도로	1.866	하행 : 집진기 225CMS×1대(CTA) 젯트팬 ϕ1500×4대
3	용평터널(실시)	영동고속도로	2.095	상행 : 집진기 285CMS×1대(CTA) 젯트팬 ϕ1000×6대
4	수정산터널(기본)	부산광역시	2.33	상행 : 집진기 240CMS×2대 젯트팬 ϕ1000×6대
5	와촌터널(기본)	대구~포항간 고속도로	2.555	상행 : 집진기 260CMS×1대 젯트팬 ϕ1000×14대 하행 : 집진기 300CMS×2대 젯트팬 ϕ1000×12대
6	기계터널(기본)	대구~포항간 고속도로	상 : 2.56 하 : 2.585	상행 : 집진기 500CMS×2대 젯트팬 ϕ1250×8대 하행 : 집진기 240CMS×1대 젯트팬 ϕ1250×12대
7	양미재터널(실시)	남해고속도로 (내서~냉정간)	상 : 2.596 하 : 2.581	상행 : 집진기 270CMS×1대(松下) 젯트팬 ϕ1000×6대 하행 : 집진기 300CMS×1대(松下) 젯트팬 ϕ1000×16대

표 11 국외 터널

순	터 널 명	노 선 명	연 장 [km]	비 고
1	관월터널(일)	關越自動車道 (관월자동차도)	10.926	집진기 250 CMS, 210 CMS, 230 CMS, 200 CMS 각 1대씩
2	혜나산터널(일)	中央自動車道 (중앙자동차도)	상 : 8.649 하 : 8.489	집진기 225 CMS, 180 CMS, 180 CMS, 150 CMS 각 1대씩
3	우치터널(일)	京滋支線 (경자지선)	상 : 4.300 하 : 4.313	
4	자부지터널(일)	北陸自動車道 (북육자동차도)	4.555	집진기 300 CMS×1대, 189 CMS×1대 젯트팬 ϕ1500×4대 부스타팬 ϕ1500×4대

순	터 널 명	노 선 명	연 장 [km]	비 고
5	능생터널(일)		2.992	집진기 330 CMS×1대 젯트팬 ϕ1500×3대 부스타팬 ϕ1500×17대
6	고봉터널(일)		3.097	집진기 284 CMS×1대 젯트팬 ϕ1500×3대 부스타팬 ϕ1500×2대
7	복지산터널(일)	九州自動車道 (구주자동차도)	상 : 3.590 하 : 3.597	
8	시진터널(일)	北陸自動車道 (북육자동차도)	3.326	집진기 300 CMS, 285 CMS 각 1대씩
9	관호터널(일)	山陽自動車道 (산양자동차도)	상 : 3.325 하 : 3.217	
10	Granfoss tunnel(노)	고속도로	2.34	집진기 200 CMS
11	Ekeberg I tunnel(노)	고속도로	1.4	집진기 240 CMS
12	Ekeberg II tunnel(노)	고속도로	1.4	집진기 240 CMS
13	Oslo tunnel(노)	고속화도로	1.8	집진기 600 CMS
14	Hell tunnel(노)	고속도로	3.9	집진기 285 CMS

2.3.3 일본 및 노르웨이 전기집진기 비교

표 12. 전기집진기 비교

구 분	Panasonic	CTA	비고
효율(%) 및 측정법	80% 중량법	90% EUROVENT 4/9(계수법,중량법)	
Bypass T/N total Pressure Drop(Pa)	1,765	600	
중력휠타	—	95%효율 (5~300μm분진)	
집진기 Cell	30,22.5,15,7.5CMS	2.5CMS	
집진기 Cell 두께	600mm	610mm	
집진기 Cell 재질	STS 304	Aluminium alloy	
세정수	냉수	25~30℃	
집진판 세정주기	22시간	160시간	

* EUROVENT 4/9-93 : 필터 전후에 레이저 분진계수기를 설치하여 분진입자별 계수법과 중량법으로 측정. 고성능 필터 효율측정(EP포함)에 적용하며 입자크기에 대한 개념을 고려함.

2.4. 도로터널 환기의 문제점

2.4.1 소요 환기량 산정기법

현재 국내에서 사용하고 있는 소요환기량 산정기법은 일본과 유럽산정 기법(그림 4)으로 대별할 수 있다.

한국도로공사의 경우 '94년이후 PIARC방식을 이용하여 환기량을 산정하고 있으나(일본 소요환기량 산정기법에 비하여 작은 수치임), 산정에 필요한 각종 기본자료의 정립이 불완전한 상태로서 주로 외국의 자료를 인용하였고 따라서 설계자의 경험과 의도에 따라 결과치가 크게 편차를 갖는 문제점을 안고 있다. 앞으로 소요환기량 산정을 위해 보완해야할 사항들은 다음과 같다.

(1) 장래 교통량 예측의 정확성
(2) 차량 중량별 매연 배출량(qoT) 기준 설정
(3) 터널 벽면 마찰손실계수의 재정립

예 : 일본) 차 도 내 0.025
터널덕트내 0.025
수 직 갱 내 0.015
연결덕트내 0.015
터널입구 손실계수 0.6

(4) 자동차의 저항계수(대형화→교통환기력) 설정
(5) 매연에 대한 환기량 산정시 차량의 주행속도의 범위
(6) 지체 교통시의 환기량 적용 여부(CO)·
(7) 속도별 매연투과계수 설정

2.4.2 기 타

기타 해결하여야 할 개선과제들은 다음과 같다.

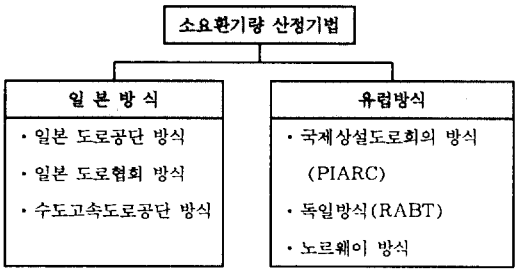


그림 4 환기량 산정기법

(1) 터널내 환경기준 설정 : 매연, Co, NOx 등
(2) 터널외부 환경과의 조화 : 터널내 오염물질 처리기법, 주변환경과의 연계성
(3) 최적 제어 시스템 도입 : 에너지 절감 및 인력절감 운영, 통합관리 시스템 운영과 연계, 비상시 대비
(4) 터널내 기류 유동 수치해석(Simulation) 기법 도출 : 터널내 기류분포, 오염농도 분포 예측
(5) 에너지 절약형 환기방식 도입 : 신기술 개발을 위한 업체 지원, 외국 신기술의 국산화

예) ① 일본 에나산 터널(8,625m, 상행선; 전기집진기부 수직갱 종류환기)

구 분	종래방식(A)	전기집진기도입(B)	B/A
환 기 방 식	횡 류 식	집진기 부착 종류식	
터 널 단 면 적	108㎡	92㎡	0.85
전 체 공 사 비	약 650억엔	약 500억엔	0.77
환기 소요 동력	약 22,500kw	약 6,800kw	0.30

② 한국도로공사 육십령터널(3,146m, 상·하행선)

구 분	종래방식(A)	전기집진기도입(B)	B/A
환 기 방 식	횡 류 식	집진기 부착 종류식	
터 널 단 면 적	105/133㎡	82㎡	0.69
전 체 공 사 비	약 1,756억	약 1,494억	0.85
환기 소요 동력	약 5,990kw	약 1,612kw	0.27

3. 맺 음 말

우리나라 도로터널 환기는 일부 시행청 및 설계업체의 무관심과 새로운 환기방식 적용에 대한 거부감, 환기효과에 대한 불안감으로 과대한 환기기 및 환기방식 선정, 터널환기 운영 DATA 관리의 부실, 잘못된 부분을 개선하려 하지 않고 감추려는 폐쇄성 그리고 사후관리 미비 등의 총체적 모순에 빠져 있다. 이에 우리 현실에 부합되는 환기량 산정기법 개발과 최적 환기방식 및 제어시스템 정립, 그리고 신기술·신공법 개발에 온힘을 기울여야 한다.

또한, 터널환기 전문가의 육성(산·학·연 공동), 외국 선진기술의 습득 활용, 기술자료의 DATA BASE화, 터널 시공후 충분한 T.A.B. 시행 및 기록 유지, 각종 기준 (환경기준, 환기량 산정, 소방기준등) 설정, Simulation 기법 도출, 유지관리의 전문화 및 효율화, 에너지 절감 방안 모색등이 앞으로 해결해야 할 과제라 하겠다.

참 고 문 헌

1. 한국도로공사, 1995, 고속도로 터널설계 실무 자료집, pp.27～31.
2. 윤철욱, 1996, 공무국외여행 귀국보고서, pp. 6～20.
3. 山田眞久,1989,장대도로터널의 환기계획, 공기조화 위생공학 제63권 제7호, pp.45～52.
4. 水野明哲, 1994, 동경만 횡단도로 터널에서의 비상시 환기시스템 연구, 고속도로와 자동차 제37권 제3호, pp.29～36.
5. National/Panasonic, 도로 터널 설비설계자료.
6. 일본 건설성 도로국, 1995, 미래의 "도로모습"을 추구하며, pp168.
7. 한국도로공사, 1996, 터널환기시설에 대한 연구, pp.131.