

차도터널의 환기와 전기집진시스템

(Electrostatic Precipitation System for Automobile-Road Tunnel)

유 경 훈

한국생산기술연구원

에너지환경연구팀/선임연구원

1. 서 론

1970년대 이후 우리 나라의 급격한 산업화 및 경제발전은 국민 생활 수준의 향상과 에너지의 대량 소비를 가져왔고 도시 인구 증가에 따른 생산물의 증가는 거대한 물질적인 부를 축적하게 되었다. 이러한 도시인구의 증가 및 물동량의 증가는 차량 증가에 직접적인 원인을 제공하였으며 그에 따라 화석 연료를 사용하는 자동차는 도시 및 농촌을 막론하고 우리의 생활에서 없어서는 안될 중요한 생활 필수품이 되었다. 우리 나라 차량의 증가 추세는 매년 급격히 증가하여 1980년도에 50만대, 1992년도에 500만대이던 것이 1997년도에는 차량의 총 보유대수가 1,000만대에 육박할 것으로 예상된다. 차량의 증가는 교통, 운송, 도로 문제와 대기환경오염 문제를 야기시켰고 대기환경 파괴의 주요인이 되고 있다. 특히 대형차량 중 경유차량의 구성비를 보면 일본과 미국이 약 30%인데 반해 우리나라는 90% 이상을 점유하고 있어 자동차 배기가스에 의한 대기환경문제는 에너지

수급 문제와 병행하여 다루어야 할 중요한 문제로 대두되었다.

한편, 사회간접자본 확충을 통한 물류비용 절감과 도시 과밀화의 해소대책으로 국토의 종합적이고 효율적인 이용을 위해 최근 국내 고속도로망 및 도시교통망의 신·증설이 가속화됨에 따라 전 국토의 70% 이상이 산악지대인 우리 나라의 경우 차도터널의 건설은 필요불가결하게 되었다. 또한, 터널 수의 증가는 물론 수 km 이상되는 길고 대형인 장대(長大)터널의 건설이 급속도로 신장되고 있으며 향후 고속도로망 및 도시교통망의 확충에 따라 장대터널의 수요는 확장일로에 있다.

자동차 주행시 발생하는 환경오염 물질은 배기가스뿐만 아니라 타이어와 노면간의 마찰에 의해 발생하는 물질 및 적재물에서 비산되는 각종 물질 등이 있으며 특히 자동차 배출가스에는 입자상 물질에 의한 부유분진 및 가스상의 대기오염 물질이 많이 함유되어 있어서 자동차가 터널을 통과할 경우 터널내부의 공기를 혼탁하게 하여 운전자의 시정

(視程)을 감소시키고 통행자의 인체에 건강상의 위해를 주게 된다. 이러한 차도터널에는 인공적인 환기시설이나 배기시설에 의해서만이 터널 내부의 공기질을 청결하게 유지시킬 수 있고 터널내부에서 발생된 자동차 배출가스는 공기와 혼합되어 그 농도가 희박하다 하더라도 장기적으로는 터널 입구, 출구 및 환기구에 인접한 주위환경을 오염시키는 특성을 간과하여서는 아니된다.

터널의 환기방식에는 자연환기 방식과 강제환기 방식이 있으며 터널길이가 짧은 경우에는 자연환기로도 충분하겠으나 장대터널의 경우에는 강제환기 방식으로 해야만이 터널 내부의 공기환경을 유지시킬 수가 있다. 이미 일본 및 구미 선진국에서는 강제환기방식 중에서 가장 경제적이고 환경친화적인 전기집진기 부설 환기시스템을 실용화하여 가동하고 있는 실정이다.

따라서, 본 고에서는 차도터널용 강제환기 시스템에 사용하고자 하는 전기집진장치에 대한 국내 공기청정 산업계의 현 위치를 진단하기 위한 기초자료로서 터널내의 환경기준 및 공기오염도 실태, 차도터널 환기방식 및 설치현황, 국내외의 차도터널용 전기집진기 현황을 기술하고자 한다.

2. 환경기준 및 터널내 공기오염도

2.1 환경기준 및 권고치

국내의 환경관리기준은 표 2.1에 나타낸 바와 같이 대기환경과 실내공기환경으로 구분되어 있다. 대기환경은 환경보전법에 규정되

어 있고 실내공기환경은 공중위생보건법, 건축법에 규정되어 있어 3000m² 이상의 공중이용시설에 대한 위생기준을 표 2.1과 같이 정하고 있다. 그리고 표 2.1에는 차도터널, 지하공간, 지하주차장에서의 환경기준 권고치가 수록되어 있는데, 이는 환경부가 국내 실정과 외국의 사례를 감안하여 제시한 것으로서 강제기준이 아닌 권장치를 나타낸다. 표에서 보다시피 차도터널내의 권고치는 다른 모든 환경기준들보다 상당히 완화되어 있고 특히 총부유분진(TSP, Total Suspended Particles)의 경우 환경보전법상의 대기환경 기준치의 약 7배에 해당하는 하루평균 2,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 임을 알 수 있다.

2.2 터널내 공기오염도

대기중의 오염물질은 입자상 및 가스상으로 나눌 수 있다. 전기집진기와 관련된 총부유분진(TSP)에 대한 발생원인별 배출량은 아래 표 2.2와 같다.

표 2.2. 발생원별 총부유분진 배출량

연 도	TSP (톤/년)	발생원별 배출량 (%)			
		난 방	산 업	발 전	수 송
1990	420,318	24.1	41.3	16.0	18.4
1991	431,375	19.5	37.6	24.6	18.4
1992	392,243	4.2	42.7	27.4	25.7

표 2.2에서 보다시피 전체 배출량은 감소 추세이나 발전 및 수송부문에서 증가추세에 있으며 이는 표 2.3의 차량의 연료별 구성비율과 표 2.4의 외국에 비한 경유차량비율에서 경유차량의 비율이 높음에 주목해야 한다.

표 2.1. 환경기준 및 권고치

항 목	환경 기준			권 고 치(환경부)			
	대 기 (환경보전법)	한 국 (공중위생보전법, 건축법)	미 국 (ASHEAE, 62-1989)	일 본 (별당위생관리법)	지하공간	터 널	지하주차장
온도, 습도, 기류		17~28°C, 40~70% 0.5m/s					
총부유분진(TSP) [μg/m³]	150(1년) 300(24시간)	150	50(1년) 150(24시간)	150(24시간)	300(24시간)	2000(24시간)	
CO [ppm]	8(1개월) 20(8시간)	10	9(8시간) 35(1시간)	20	20(8시간)	100(15분) 50(8시간)	
CO₂ [ppm]		1000	1000	1000	1000(8시간)	2500(15분)	
NO₂ [ppm]	0.05(1년) 0.15(24시간)		0.055(1년)		0.15(24시간)	0.5(15분)	
SO₂ [ppm]	0.05(1년) 0.15(24시간)		0.03(1년) 0.14(24시간)		0.15(24시간)	0.5(15분)	
O₃ [ppm]	0.02(1년) 0.1(1시간)		0.12(1시간) 0.05(연속)				
탄화수소화물 (THC)[ppm]	3(1년) 10(1시간)				0.1(24시간)		
납 [μg/m³]			1.5(3개월)				
라돈[pCi/l] Chlordane[ppm]			4(1년) 0.0003(연속)				

표 2.3. 차량대수의 증가추세 및 연료별 구성비

연도	차량대수		구성비 (%)
1980	50만		
1992	500만	휘발유	55
1994.4	700만	경유	40
1997	1,000만	LPG	5

터널의 공기환경 권고치는 전술한 바와 같이 총부유분진(TSP)의 경우 하루평균 2,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며 표 2.5에 수록된 서울시의 여러

표 2.4. 화물차량중 경유차량의 비율(%)

	한국	일본	미국
경유	94	30	29.3
휘발유	4.9	70	70.7
LPG	1.1		

터널에서 측정된 결과 표 2.6과 같이 권고치를 초과하지는 않지만 점차 증가 추세에 있는 것으로 조사, 보고되었다.

표 2.5. 측정된 서울시 TUNNEL

조사기간	1989.9.8 ~ 1989.10.6 (28일간)							
터널	남산1호	남산2호	남산3호	북악	자하문	금화	구기	상도
터널길이(m)	1500	1600	1300	800	330	580	630	580

표 2.6. 서울시 TUNNEL 내 공기오염도 현황

오염물질	권고치	오염 현황	비고
SO ₂	0.5ppm	MAX 북악 0.209 ± 0.07ppm MIN 구기 0.028 ± 0.00ppm	출구쪽으로 갈수록, 디젤차가 많을수록, Single 터널일수록 증가함
NO		MAX 남산1호 2.428 ± 0.60ppm MIN 구기 0.300 ± 0.05ppm	출구쪽일수록 낮아짐
NO ₂	0.5ppm	MAX 북악 0.402 ± 0.15ppm MIN 구기 0.073 ± 0.01ppm	출구쪽일수록 낮아짐
CO	100ppm	MAX 남산1호 33.6 ± 3.57ppm MIN 구기 3.50 ± 0.36ppm	연료의 불완전연소시 발생(출발시 다량발생, 감속및가속시 감소, 정속시 최소발생), 승용차에서 많이 발생
THC		MAX 남산1호 6.72 ± 0.00ppm MIN 자하문 2.68 ± 0.18ppm	불완전연소, 미연소 연료에서 생성, 출발시, 감속시 다량발생
TSP	2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	MAX 북악 1929 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MIN 구기 416 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	매연, 먼지, 재, 회분 등의 대기부유 고상및액상 미립자

3. 차도터널 환기방식과 설치현황

차도터널의 환기설비는 차량배출가스를 터널밖으로 배출시켜 터널내 오염물질의 농도를 표 2.1의 권고치 이하로 유지시켜 쾌적한 교통환경을 확보하기 위한 것이며 터널연장과 교통량에 적합한 환기설비를 계획하여 충분한 기능이 유지되도록 관리해야 한다.




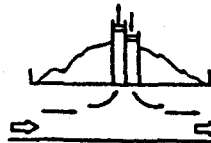
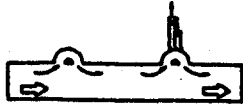
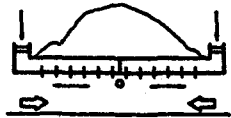
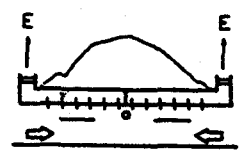
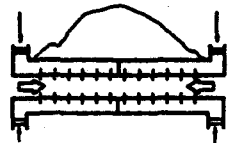
차도터널의 환기방식은 자연환기와 강제환기로 구분된다. 자연환기는 기계설비를 사용하지 않고 환기의 목적을 달성하는 것으로 환기의 원동력은 자동차 주행에 의한 피스톤 작용과 터널 내외부의 온도 및 압력차에 의한 자연환기력이다. 자연환기의 가능 터널길이는 대략 1km 이내 정도로 간주되고 있다.

강제환기 방식에는 차도내의 공기흐름 방향에 따라 표 3.1에 수록된 바와 같이 종류(縱流)식, 반횡류(半橫流)식, 횡류(橫流)식이 있으며 도로상황(일반도로, 도시고속도로, 도시간 고속도로)과 교통량, 대형차 혼입율, 입지조건, 터널길이 등을 고려하여 교통환기력을 유효하게 이용할 수 있고 공사비 및 유지비를 절감할 수 있는 종류 환기방식이 주류를 이루고 있다. 이러한 종류 환기방식으로써 제트 팬(jet fan)식, 집중배기식, 수직송배기식, 집진식이 있으며 이것들을 단독 혹은 조합해서 사용함으로써 터널의 제조건(지형, 교통, 환경, 기상 등)에 적합하고 경제적인 환기를 하도록 해야한다.

표 3.2. 집진기식 종류환기방식 시공예정터널

터널명	노선명	길이 (km)	비 고
죽령터널	중앙고속도로	4.1228	상행 : 집진기 280 CMS 1대 제트팬 #1000 10대
수리터널	서울외곽순환 고속도로	1.866	하행 : 집진기 225 CMS 1대 제트팬 #1500 4대
용평터널	영동고속도로	2.095	상행 : 집진기 285 CMS 1대 제트팬 #1000 6대
수정산터널	부산광역시	2.33	상행 : 집진기 240 CMS 2대 제트팬 #1000 6대
와촌터널	대구-포항간 고속도로	2.555	상행 : 집진기 260 CMS 1대 제트팬 #1000 14대 하행 : 집진기 300 CMS 2대 제트팬 #1000 12대
기계터널	대구-포항간 고속도로	상행 : 2.56 하행 : 2.585	상행 : 집진기 500 CMS 2대 제트팬 #1250 8대 하행 : 집진기 240 CMS 1대 제트팬 #1250 12대
양미재터널	남해고속도로	상행 : 2.596 하행 : 2.581	상행 : 집진기 270 CMS 1대 제트팬 #1000 6대 하행 : 집진기 300 CMS 1대 제트팬 #1000 16대

표 3.1. 차도터널 환기방식의 종류

방 식		개 념 도	특 징
종 류 식	제트팬식		<ol style="list-style-type: none"> 1. 설비비가 적다. 2. 중설이 용이. 3. 적용 터널길이 제한적(1.5km 이내). 4. 송풍기 소음 크다. 5. 교통환기력 유효이용가능.
	집중배기식		<ol style="list-style-type: none"> 1. 갱구부근의 환경 양호. 2. 교통흐름과 공기흐름이 상반되는 곳 발생. 3. 터널단면을 작게 할 수 있음.
	집진기식		<ol style="list-style-type: none"> 1. 교통환기력 유효이용가능. 2. 디젤자동차 구성비를 높고 CO환기량이 적은 경우 유효. 3. 외부환경 오염관리가 요구되는 터널에 유효.
	수직송배기식		<ol style="list-style-type: none"> 1. 교통의 피스톤작용을 유효하게 이용 가능. 2. 수직갱의 수 증가는 터널길이의 제한을 받지 않음. 3. 터널단면을 작게 할 수 있음.
	집진기식 + 수직송배기식		<ol style="list-style-type: none"> 1. 집진기식과 수직송배기식의 특징 혼합.
반 횡 류 식	송기 반횡류식		<ol style="list-style-type: none"> 1. 자연풍의 영향 적음. 2. 덕트면적을 필요로 함. 3. 터널내 농도분포가 비교적 균일. 4. 환기실 및 진입로 설치.
	배기 반횡류식		<ol style="list-style-type: none"> 1. 차도내 농도분포가 부분적으로 상승. 2. 갱구부근의 환경 양호. 3. 환기실 및 진입로 설치.
횡 류 식	횡류식		<ol style="list-style-type: none"> 1. 2 계통의 덕트면적이 요구되어 시설비 및 유지비 고가. 2. 화재시 배연효율 양호. 3. 환기실 및 진입로 설치.

국내에 기시공 또는 시공예정인 고속도로와 국도(시도)의 터널들을 살펴보면 고속도로 터널의 경우 길이의 장단에 관계없이 모두가 종류환기방식을 채택하고 있으며 국도의 경우는 1.5km 이하의 터널을 제외하면 횡류 및 반횡류식 환기방식을 채택하고 있다. 본 고와 관련된 집진기식 종류환기방식을 채택하도록 예정된 차도터널은 아래의 표 3.2와 같고 여기서 모든 집진기식의 경우에 있어 공기청정 장치로는 전기집진기를 채택하고 있으며 제트 팬을 조합한 형태로 설계되고 있다.

4. 차도터널용 전기집진기 현황

4.1 전기집진기식 종류환기방식

전기집진기(Electrostatic Precipitator)는 코로나방전(Corona Discharge)에 의해 발생된 공기이온을 입자에 부착시켜 입자들을 전기적으로 하전(Particle Charging)시키고 이후 정전기력인 쿨롱력(Coulomb Force)을 이용하여 기체로부터 부유미립자들을 분리시키

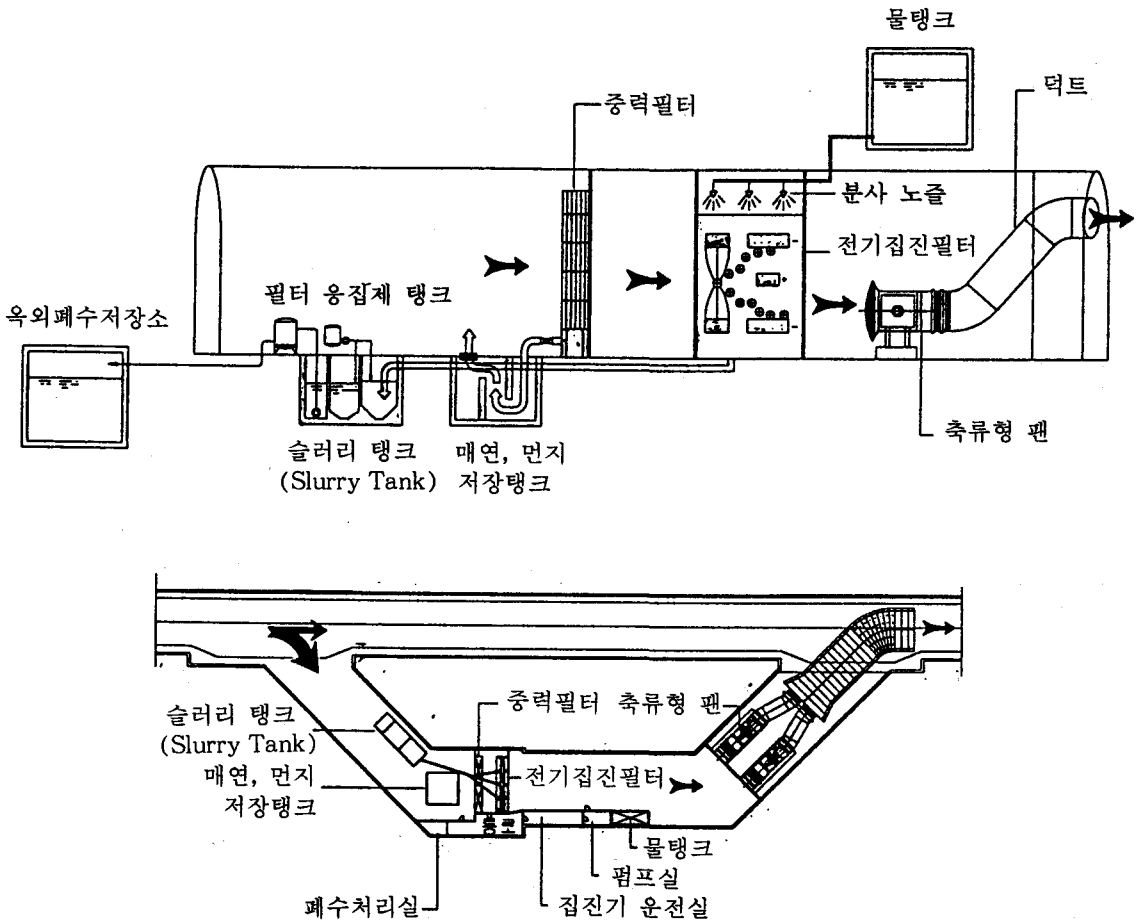


그림 4.1 전기집진식 종류환기시스템

는 청정장치이다. 이러한 전기집진기가 차도 터널에 사용될 경우 터널내의 매연, 분진등의 입자상 물질을 집진, 제거시켜서 가시거리를 개선하고 유해미립자를 제거시키는 역할을 하게된다.

일본의 경우 1973년부터 연구개발되어 1980년 돈하터널 시행이후 신기술로서 인정 받아 다수의 장대터널에 시공되고 있고 유럽의 경우 노르웨이가 1990년 오슬로터널에 적용한 이후 집진성능 및 유지관리의 측면에서 상당한 기술발전을 이루고 있다. 전기집진식 종류환기시스템(차도터널용 전기집진시스템)의 구성도가 그림 4.1에 도시되어 있다. 본 방식은 최장터널의 환기에 가장 적합하며 차도내의 오염공기를 터널 측벽부로부터 전기 집진부로 유도하여 매연을 높은 효율로 제거

하고 청정화된 공기를 축류 송풍기에 의해 차도공간으로 급기하게 된다. 종래의 터널환기방식에 비해 터널내의 공기를 재이용하기 때문에 환기에 의한 운전동력비의 절감 효과가 커서 가장 효율적인 것으로 알려져 있다. 또한, 횡류 및 반횡류 방식에 비해 토목공사비와 설비공사비를 크게 절감할 수 있다.

그림 4.1에 도시된 바와 같이 전기집진기와 축류형 송풍기 사이에 공간을 만들어 향후 CO나 NO_x 등의 가스상 오염물의 처리를 위한 필터를 설치할 수 있다.

차도터널용 전기집진시스템은 전기집진유니트, 수처리장치, 송풍장치, 통합 Control 장치로 구성되어지게 되며 세정방식에 따라 다음과 같이 공기세정방식, 수세정방식, 점액도포 수세정방식으로 분류될 수 있다.

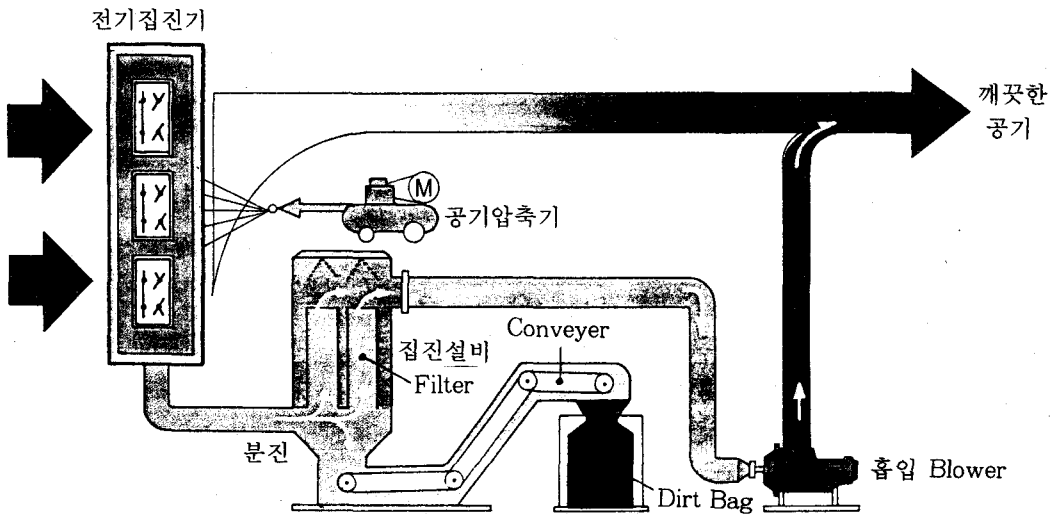


그림 4.2 공기세정방식 터널용 전기집진기

(1) 공기세정방식

공기세정은 그림 4.2와 같이 기본유니트 처리용량단위(보통 30 CMS)로 구성된 전기

집진기상에 포집된 입자상 물질을 제거하기 위하여 고출력 압축공기의 분사에 의해 집진 전극판으로부터 입자를 이탈시켜 집진기 하

부로부터 풍로까지 이송시킨 다음 풍로입구 댐퍼를 개방하여 집진유닛에 부착된 Bag Filter에서 포집, 제거한다. Bag Filter는 재생가능하며 Bag Filter를 통과한 청정공기는 집진기의 2차측 천정풍로를 경유하여 터널 내부로 다시 유입된다.

2~3kg/cm²을 가진 물을 특수노즐을 사용하여 집진전극판에 포집된 매연을 이탈시켜 오염물질이 함유된 오수를 집진기 하부로 배출하여 오수처리시설(오니, 케익 방식)을 거쳐 매연 등의 이물질질을 분리시켜 처리한 후 방류시키고 청정공기는 집진기의 2차측 천정풍로를 경유하여 터널 내부로 다시 유입시킨다.

(2) 수세정방식

수세정은 그림 4.3과 같이 강한 수압(보통

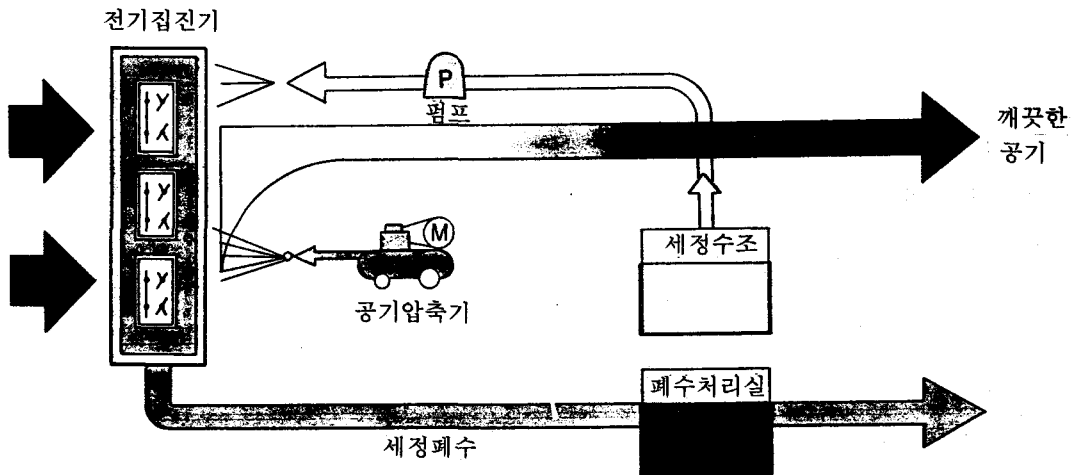


그림 4.3 수세정방식 터널용 전기집진기

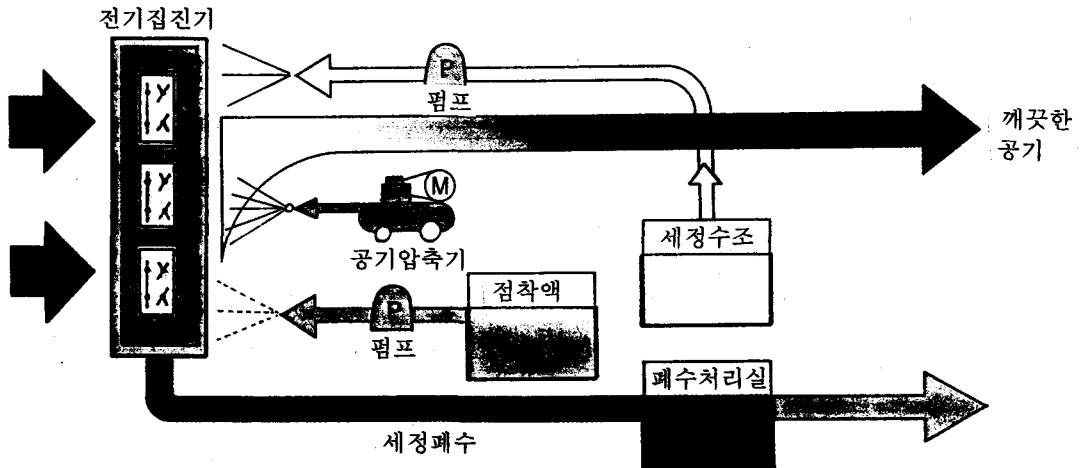


그림 4.4 점액도포 수세정방식 터널용 전기집진기

(3) 점액도포 수세정방식

그림 4.4와 같이 기존의 습식과는 달리 입자상 물질이 집진전극판에 직접적으로 부착되지 않고 극판표면에 도포된 수용성 점액위에 포집됨으로써 물로 세정시에 효과적으로 매연이 제거되도록 하는 방식이다.

현재 일본에서 시공중인 동경만 횡단 해저도로터널(연장 9.6km)은 수직갱(인공섬), 제트팬, 전기집진기를 조합한 종류환기방식을 채택하고 있으며 이 해저터널이 연약지반에 위치하기 때문에 여건상 전기집진기를 설치하기 위한 바이패스 터널을 차도의 천정부에 설치하도록 하고 있다. 이러한 천정형 전기집진시스템은 유럽의 노르웨이 Hell 터널(연장 3.9km)에 적용된 바 있으며 일본은 동경만횡단 해저터널의 천정형 전기집진기 설치를 위하여 노르웨이측의 기술협조를 요청하고 있다.

4.2 국내외 터널용 전기집진기 비교

표 4.1. 터널용 전기집진유니트 비교

항 목	일본 PANASONIC	노르웨이 CTA	한국 동서기술(주)
처리평균풍속	7m/s	7.3m/s	7m/s
집진효율	중량법 80%	비색법* 92%	비색법* 90% 이상
집진기 유형	2단 평행판형	2단 평행판형	2단 평행판형
전처리필터 유무	무	유 (중력필터)	유 (관성분리기)
단위집진셀 규격(CMS)	7.5, 15, 22.5, 30	2.5	7.5, 15, 22.5, 30
집진셀 재질	STS 304	Aluminium alloy	STS / Al
세정수	냉수	25~30℃	대기온도
세정주기	22hr	160hr	자동

* 비색법은 미국 ASHRAE Standard 52.1-1992의 규정에 따른 대기분진반점효율(Atmospheric Dust Spot Efficiency) 측정법을 의미한다.

한국생산기술연구원과 동서기술주식회사는 약 3년에 걸쳐 한국형 터널용 전기집진시스템의 국산화 개발을 진행해 왔고 현재 전체 시스템중에서 핵심장치인 전기집진유니트를 개발완료한 상태이다. 국산화 개발된 전기집진유니트와 일본 및 유럽의 것들과 비교하기 위하여 표 4.1에 중요 특성들을 수록하였다. 표에서 보듯이 집진효율면에 있어 손색이 없음을 알 수 있다. 한편, 일본 PANASONIC의 경우는 전처리필터의 부재로 인하여 일반적인 2단 평행판 전기집진기의 정격 처리대상 입자영역인 서브마이크론 입경 뿐만 아니라 1 μ m 이상의 대형입자들도 다량 포집하게 됨으로써 집진표면의 손상 및 먼지층의 빠른 성장 등으로 인해 세정주기가 노르웨이 CTA보다 상당히 짧은 것으로 판단된다.

그림 4.5에는 유경훈(1996)의 집진효율 이론 모델을 통하여 계산한 표 4.1의 국산 전기집진유니트의 입경별 포집효율이 도시되어 있다.

표 4.1의 비색법 실험효율은 다분산 효과가 고려된 얼룩의 광학적인 상대적 포집효율인데 반해 그림 4.5의 이론예측효율은 입경별 단분산 효율을 의미하고 개수농도에 근거한 절대적인 값이다. 그림 4.5를 살펴보면 고려입경영역인 $0.01\mu\text{m}$ 에서 $10\mu\text{m}$ 에서 'V'자형 집진효율 특성곡선을 보여주고 있음을 알 수 있고 대략 $0.2\mu\text{m}$ 에서 $0.3\mu\text{m}$ 사이에서 집진효율 최소정점을 이루고 있음을 알 수 있다. 한편, $0.03\mu\text{m}$ 이하 입경영역에서 입경이 감소함에 따라 집진효율이 급격

히 감소하고 있는 것을 발견할 수 있는데 이는 전기집진기로 유입되는 입자들중에서 일부가 전혀 전기적으로 하전되지 않아 중성으로 존재하여 정전기력의 영향을 받지 않는 부분하전효과(Partial Charging Effect)에 기인한 것이다. 한편 그림에는 TN-1과 TN-2라는 모델이 구분되어 있는데 TN-1 모델이 TN-2 모델보다 판간간격이 더 넓은 경우이다. 예상대로 TN-2 모델이 더 높은 집진효율을 보여주고 있음을 알 수 있다.

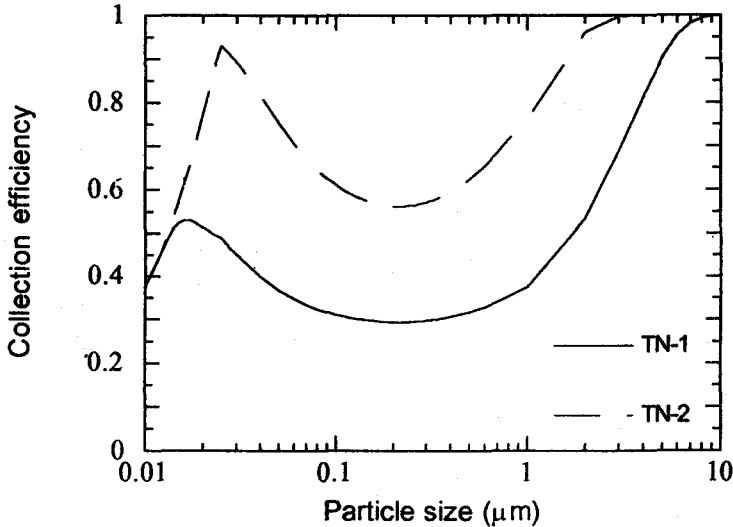


그림 4.5 차도터널 전기집진유니트의 입경별 단분산 포집효율
(코로나전압=20kV, 집진셀전압=10kV, 공기속도=7m/s)

5. 맺음말

1996년도의 경상수지적자가 200억불을 훨씬 상회하고 근간 국가산업이 반도체, 철강, 자동차 등의 수출전략적 품목에만 집중투자되어 자본재산업 기술낙후 등으로 인하여 향

후 우리나라의 무역수지적자는 더욱 심화될 것이 명약관화하다. 세계무역기구(WTO)의 출범과 맞물려 미국을 중심으로한 경제협력 개발기구(OECD)는 무역과 환경을 연계시키는 이른바 그린라운드(Green Round)를 국제통상문제의 주요쟁점으로 대두시키고 있다.

이러한 시기에 있어 환경설비산업이야말로 한국경제의 이러한 필요성에 부응하는 매우 시의적절한 산업이라고 판단된다. 통상산업부는 2000년대 환경설비 산업을 수출주력 산업으로 육성, 오는 2005년까지 50억달러를 수출할 수 있도록 국가 환경산업을 육성하여 환경선진국 진입을 목표로 하겠다고 밝힌바 있다. 따라서 무역역조를 개선하고 무역과 환경이 연계되어 진행될 수 밖에 없는 국제적 산업환경 속에서 생존하기 위하여 환경설비 산업의 중요성이 증대되고 있는 현시점에서 한국형 차도터널용 전기집진시스템의 국산화 개발은 매우 의미있는 일이며 개발된 국산품의 적극적인 수요를 통한 정부 및 기업의 다각적인 협력이 그 어느 때보다도 절실하다고 본다.

후 기

본 원고의 작성에 있어 많은 협조와 지원을 아끼지 않은 동서기술주식회사의 태경웅 부장께 심심한 감사를 드리며 아울러 통상산업부 생산기술연구사업 기업일부화과제 “차도터널용 전기집진유니트 개발”(과제번호 96-G-J-0012)과 수탁과제 “차도터널 전기집진시스템 개발 및 개선연구”(과제번호 96-R-1-0038)를 통하여 한국형 차도터널 전기집진시스템의 국산화 개발에 적극적인 의지와 지원을 아끼지 않고 공동참여한 동서기술주식회사의 임직원께 감사를 드립니다.

- 참고 문 헌 -

1. 윤철옥, 1996, “도로터널 환기 현황 및 문제점”, 공기조화냉동공학회 공조부문강연회, pp. 19~37.
2. 유경훈, 태경웅, 조경구, 신시철, 정창식, 1996, “지하공간의 입자 및 가스상 제거용 공기청정유니트 성능평가”, 공기조화냉동공학회 하계학술발표회 논문집, pp. 387~394.
3. 태경웅, 유경훈, 임장순, 김광수, 1996, “터널용 전기식 집진설비 성능분석”, 공기조화냉동공학회 동계학술발표회 논문집, pp. 374~380.
4. 유경훈, 1996, 2단 평행판 정전식 집진기의 입자 하전 및 포집에 관한 연구, 공학박사 학위논문, 서울대학교.
5. 김민영, 이종현, 임귀철, 신도철, 이광식, 김두래, 1989, “서울시 Tunnel내 공기오염도 조사연구(제6보)”, 서울특별시 보건환경연구원보, 제25권, pp. 238~252.
6. 양방철, 1996, “대기보전정책 방향”, 대기기계학회 열 및 유체공학부문 학술강연 및 논문집, pp. 3~14.
7. 동서기술주식회사, 1996, Electronic Filter (Pure-Tron) Brochure.
8. 태경웅, 1997, 차도터널용 전기집진 유니트 성능에 관한 연구, 공학석사 학위논문, 인하대학교.
9. ASHRAE, 1992, ANSI/ASHRAE 52.1-1992 Gravimetric and Dust-Spot Procedures for Testing Air-Cleaning Devices Used in General Ventilation for Removing Particulate Matter.