

터널 환기시설 단계건설 연구와 터널 방재설비의 설계 경향

장대터널내 환기설비의 단계적인 건설방안에 관하여 한국도로공사와 한국건설기술연구원이 함께 수행한 연구내용을 소개하고, 또한 현재 적용되고 있는 방재설비의 설계흐름과 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 제연설비의 설계경향에 대하여 간단히 소개하고자 한다.

윤 철 옥, 이 상 표, 김 남 석

터널 환기설비 단계건설 연구 소개

연구배경

현재 터널환기설비는 목표년도(개통후 20년)의 일평균 추정교통량의 차종별 혼입율과 도로용량을 기본자료로 하여 소요환기량을 산정하고 있다.

그러나, 도로용량(2,200pcu/h·lane)과 연도별 고속도로 일평균추정교통량(AADT)은 차이가 있어 건설초기에 과대 환기가 될 우려가 있고, 환경오염물질 규제 강화와 자동차 성능개선에 의한 오염물질 배출량 축소등으로 인하여 설계된 터널의 환기시설이 20년후의 용량을 정확히 반영한다고 단정하기는 어렵다. 그러므로 위 제요소들의 변화를 계속적으로 관찰·분석하면서 단계적으로 환기시설의 용량을 증가시키는 것이 바람직하다고 판단된다.

단계건설시 고려할 조건

환기시설의 단계건설은 일단은 환기시설이 설치되는 모든 터널에 대하여 검토할 수 있지만 몇 가지 요인을 분석해 본다면 다음과 같은 조건을 가진 터널이 단계건설이 적용될 수 있을 것이다.

• 통행방식의 변화가 예상될 경우

예들 들자면 대면교통방식에서 일방향 교통방식으로 변경이 예상되는 터널은 환기시설의 용량도 쉽게 변할 수 있을 것이라고 예상된다. 이 경우에는 대면교통방

식과 일방향교통방식의 환기시설용량을 계산한 후 변경이 예상되는 시기와 경제성을 검토한 후 단계건설을 하는 것이 바람직하다.

• 목표년도의 환기기 대수가 상당히 많을 경우

연장이 1,000m 이상인 터널에는 소방법에 의하여 제연설비를 갖추도록 되어있다. 제연설비란 종류식 환기방식에서는 보통 제트팬을 말하며 환기와 제연의 역할을 동시에 할 수 있도록 되어있다. 제연의 목적을 가진 제트팬은 건설초기에 설치되어야 하지만, 환기목적만을 위하여 설치되는 제트팬이 상당히 많을 경우에는 단계건설을 고려하여 설치할 수 있다. 목표연도의 용량을 초기에 설치할 경우 유희제트팬의 유지관리와 초기건설비에 대한 부담이 생기기 때문이다.

다만 단계건설 검토시 환기시설 차이가 1~2대일 경우에는 오히려 초기에 설치하는 것이 경제적으로 이득이다.

• 자동차 오염물질 배출량의 규제가 강화될 경우

현재 세계적인 추세로 볼 때 추후로도 계속 자동차 오염물질 배출량의 규제가 강화될 전망이다. 우리나라도 이러한 추세를 따르고 있고, 자동차의 성능개량이 계속적으로 이루어지고 있어 앞으로는 터널내 환기용량이 점차 줄어들 것으로 예상하고 있다. 현재 터널 환기용량의 설계가 20년 이후를 목표로 하여 설계한다는 것을 고려할 때, 추후 환기기 절감용량을 감안하여 단

〈표 1〉 터널 제원

구 분	연 장	구 배	차 로 수	표 고	단 면 적
상 행 선	3,171.22m	-0.8 %	2	500m	75.259m ²
하 행 선	3,170m	+0.8 %	2	500m	75.259m ²

〈표 2〉 장계-서상간 추정교통량

년 도	승 용 차	버 스		트 력			합 계
		소 형	대 형	소 형	중 형	대 형	
2001	15,952	2,026	2,050	3,568	4,150	3,092	30,888
2011	33,130	3,758	3,516	6,038	7,320	5,132	58,894
2021	44,378	4,348	4,068	6,988	8,468	5,878	4,128

〈표 3〉 단계건설방식에 의한 육십령터널 환기장치용량

구 분	2001 ~ 2011년(현재 건설중인 용량)	2012 ~ 2022년(총 용량)
상 행 선	제트팬 φ1250 x 8대	제트팬 φ1250 x 15대
하 행 선	제트팬 φ1250 x 13대, 수직갱158m ² /s x 1개소	제트팬 φ1250 x 24대, 수직갱158m ² /s x 1개소

계건설을 하는 것이 바람직하다고 판단한다.

• 교통지체상태가 매우 적은 경우

교통지체상태가 많을 경우에는 최대용량을 고려하여 환기시설을 설치하여야 하나, 고속도로의 경우에는 교통지체상태가 매우 적기 때문에 단계건설을 하더라도 용량에 대하여 큰 영향을 받지 않는다고 판단된다. 하지만, 노선별로 지체가 예상되는 구간에 대해서는 특별히 고려를 해야 한다.

• 기운영중인 터널의 환기운전실적 분석결과에 의한 경우
 현재 운영중인 터널의 환기시설에 대한 운영결과를 분석해보면 교통량에 비해서 매연농도가 낮아 실제로 환기기의 운영은 저조한 편이다. 이러한 부분에 대해서는 추후 연구가 되어야 하겠지만, 자동차의 오염물질 배출량이 점차 줄어들어야 한다고 판단된다.

위의 경우뿐만 아니라 다른 요인(터널 입·출구 부근의 환경오염 저감 필요성, 산악터널과 달리 상사

지·정체가 이루어지는 도심 및 근교터널등의 교통여건)들도 검토되어야 하며, 충분한 분석과 검토 후 단계건설을 추진해야 한다.

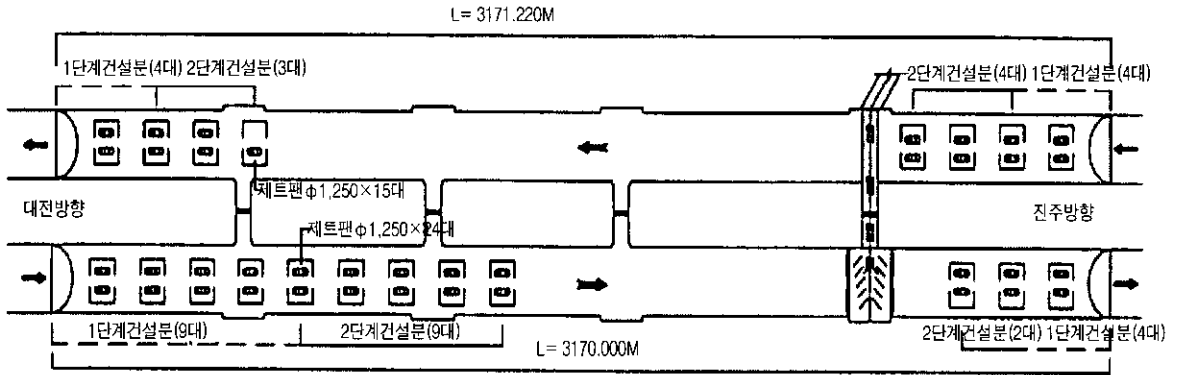
단계건설 적용터널 사례(육십령터널)

육십령터널은 대전-함양간 고속도로내 건설되고 있는 연장 3,170m의 장터널로서 수직송배기 방식과 제트팬 방식의 환기시설을 혼용하여 공사가 진행되고 있으며, 2001. 12월 개통예정이다. 터널제원은 표 1, 2, 3과 같다.

육십령터널은 단계건설연구가 시작되기 이전에 단계건설을 고려하여 설계된 터널로서, 현재 연구중인 단계건설방안에 대한 실무적인 연구가 육십령터널을 이용하여 연구되고 있으며, 단계건설을 함으로써 초기투자비에 대한 이차비용 및 감가상각비, 유지관리비 등에 경제적인 효과가 기대되고 있다.

육십령터널의 단계건설에 따른 경제적인 효과 검토

• 단계건설에 따른 투자계획



[그림 1] 육십령터널 환기시설 개략도

- 2001년 1단계(제트팬 21대 6.51억원)
- 2012년 2단계(제트팬 18대 5.58억원)

• 경제적인 기대효과 추정(전기시설을 제외한 순수 환기시설)

- 초기투자축소에 의한 이자비용 절감액 : 6.47억
 - 감가상각비 절감액(제트팬 내구연한을 15년으로 본 경우) : 3.72억원
 - 유지관리비 절감액(장비비의 5%) : 0.28억원
- 소 계 : 10.47억원

또한, 전기시설을 감안할 경우 더욱 큰 경제적인 효과가 있을 것으로 판단된다.

단계별 건설방안의 정립기준에 대한 검토

터널 환기설비 계획을 수립할 경우 단계별 건설방안을 검토하여 경제성과 효율적인 유지관리방안을 확보해야 할 것이며, 통행방식의 변경가능성과 도로망정비에 의한 교통유발 가능성을 분석하여 적절한 방안을 수립해야 할 것이다. 또한 교통상황이 상시 지·정체가 이루어지는 도심 및 도심근교터널이 아니고, 추정교통량이 도로용량보다 현저하게 작을 때에는 년도별 추정교통량에 대한 환기기 용량을 검토하고 반드시 단계건설계획을 수립해야 할 것이다. 추정교통량의 신장율이 커서 20년후 설비와 초기 설비와의 차이가 현격할 때에는 5년 또는 10년 후 교통량을 기본으로 단계

건설방안을 검토해야 할 것이다. 한국도로공사에서는 단계건설에 관한 연구를 한국건설기술연구원과 진행하였고, 2001년 말에 기준이 정립될 예정으로 있다.

터널방재설비의 설계 경향

터널내 차량 화재사고의 발생빈도는 매우 낮으나, 최근의 도로터널이나 철도터널의 화재사례에서처럼 화재가 발생하면 중대한 사고로 발전될 가능성이 높아 많은 인명 및 경제적 손실이 발생하므로 초기 화재 진압 및 인명대피가 가능한 방재설비 설계에 대한 많은 검토가 이루어지고 있는 경향이 있다.

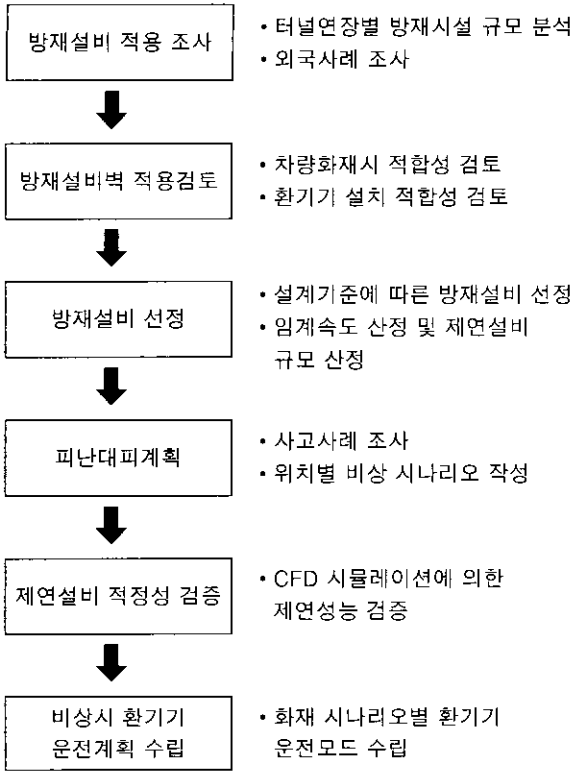
본 절에서는 현재 터널방재설비부분중 제연설비의 설계경향에 대하여 간단하게 소개하고자 한다.

방재설비 설계의 흐름

터널 방재설비의 설계는 그림 2와 같은 절차에 의하여 설계가 되어야 바람직할 것이라고 판단된다. 그러나, 터널내 화재시 임계속도나 화재시험방법 및 규모에 대한 뚜렷한 기준이 현재 우리나라에는 없는 상태이므로 현재는 외국의 설계사례를 참조하여 설계가 되고 있다.

제연설비 설계시 적용화재 규모와 임계속도의 적용 경향

현재 한국도로공사에서 적용하고 있는 터널 화재시 목표풍속은 2m/s인데, 이는 화재규모가 약 5MW(대



[그림 2] 방재설비 설계의 흐름

형승용차 1대 연소시 화재규모)정도일 때의 역기류(backlayering)를 막는 공기속도라 할 수 있다. 그러나, 기존의 터널화재실험을 조사해 보면 대부분 20MW이상(버스1대의 화재규모)의 화재규모를 가지고 있으며, 최근의 터널제연설비 설계에서는 터널화재 규모를 20MW정도로 적용하고 있다. 그러나, 각종 화재시험 및 터널화재사고의 인명피해가 늘어남에 따라 화재규모에 대한 설계기준이 높아지고 있다.

외국의 사례를 살펴보면 독일 도로터널의 설비 및 운용지침인 RABT의 경우 화재에 대한 결과를 분석하여 표 4와 같이 만들어 설계기준에 적용하고 있다.

또한 미국 연방도로청에서 실시한 Memorial 터널 환기시험 보고서에는 이론적인 임계속도와 비교된 시험결과를 비교하고 있는데 결론적으로 화재규모 25MW이하의 화재강도에서는 풍속이 2.24m/s~

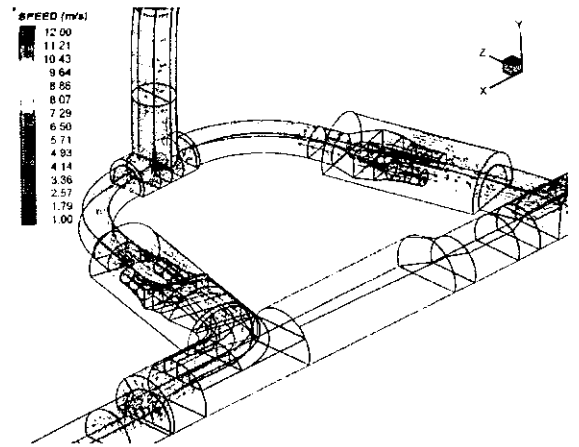
<표 4> 독일 RABT 화재결과 표

연소집중도	재료 고유 투과율	터널에서의 등가연소
승용차 1~2	5-10MW	2 - 4m'
화물차 / 버스	20-30MW	8 - 12m'
유조차	50-100MW	30 - 60m'
매연량	20 - 40m³/s	300℃에서 연기 가스온도와 관련
승용차 1~2	60 - 90m³/s	
화물차 / 버스	150 - 300m³/s	
유조차		

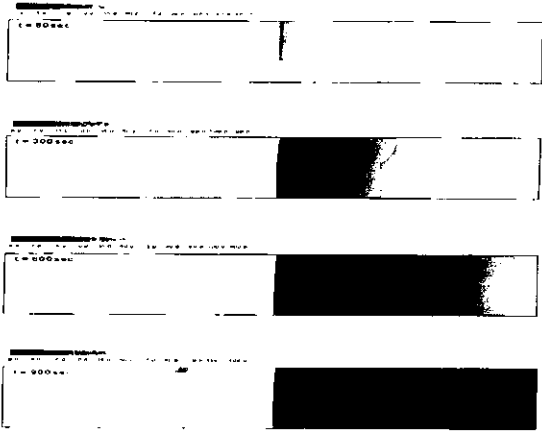
2.34m/s에서 역기류가 방지되었다. 그리고, 44MW의 화재 열발산 정도에서는 2.74m/s로 계산되었다. 하지만 터널의 단면과 경사도에 따라 이러한 임계속도는 다르게 된다는 결론을 얻게 되었다.

화재 시뮬레이션의 실례

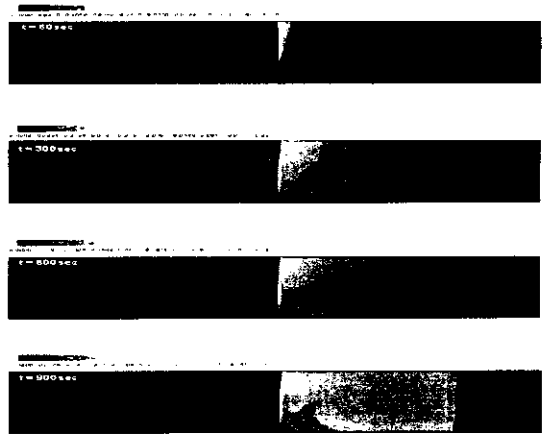
최근에 설계되고 있는 도로터널의 경우 그림 3~5와 같이 CFD(전산유체역학)를 응용한 3D 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 설계된 환기 및 방재시설의 타당성 여부를 검토하고 있다. 본 절에서는 실제 터널설계에서 적용한 시뮬레이션을 소개하도록 한다.



[그림 3] 둔내터널 수직갱설비 풍속 시뮬레이션



[그림 4] 장성터널 화재시 시간별 가시거리 분포



[그림 5] 장성터널 화재시 시간별 연기확산 분포

분석

앞으로도 컴퓨터의 발달로 인하여 더욱 우수한 시뮬레이션 프로그램이 개발될 것으로 기대된다. 추후 이러한 시뮬레이션의 이용으로 실제 실험을 하지 않고도 여러 가지 상황에 따른 화재피난경로 선정 및 대응방안에 대한 연구가 발전될 것으로 기대하며, 발주처에서도 이러한 시뮬레이션을 이용하여 보다 효율적인 설계기준을 정립할 수 있을 것으로 판단된다.

맺음말

향후 많은 장대터널이 건설되어질 전망이다. 장대터널

건설시 단계건설기준을 적용하여 건설하게 된다면 초기투자비 및 유지관리비의 절약으로 보다 경제적인 터널 환기시설이 설치될 것이라고 기대한다. 최근 장대터널에 있어서 환기량 및 환기시설보다는 안전시설에 중점을 두는 설계·시공방향이 설정되고 있는 현실에서 터널내 화재시 화재발생구간의 목표풍속은 점점 상향되는 추세에 있어 이에 대비한 터널연구와 설계가 필요하다. 또한 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션의 활용은 여러 가지 케이스에 대한 시험을 가능케 하여 실제 실험에 소요되는 인력과 자금을 절약할 수 있을 것이다. ㉞