

최근 장대도로터널의 건설사례 소개



김진하
(주)에스코컨설턴트
지하시설본부 상무



김용규
(주)에스코컨설턴트
지하시설본부 차장



안태경
(주)에스코컨설턴트
지하시설본부 차장



김상호
대림산업(주)
토목사업부 차장

1. 서론

경제성장과 더불어 터널기술의 발전은 국내외적으로 장대터널의 건설을 활성화시키고 있다. 2000년 노르웨이에서 세계 최장대 도로터널인 24.5km의 Laerdal 터널이 개통된 이후 10km 이상의 장대터널건설이 증가되고 있다. 우리나라도 연장 11km의 인제터널이 올해 착공되어 2016년 개통예정이다. 인제터널이 준공되면 세계 11번째 초장대 도로터널이 될 것이다.

최근 건설되고 있는 장대터널은 환기 및 방재 시설, 유지관리시설 및 안전시설 이외에도 지역적인 특성과 상징성 등을 반영하여 저마다 특색있는 터널로 탄생하고 있다. 특히, 장대터널은 폐쇄된 공간을 장시간 주행을 요하므로 운전자 주의력 저하를 방지하기 위한 다양한 시설물이 설치되고 있다.

본고는 최근 건설되고 있는 국내외 장대도로터널에서 운전자의 주행 안전성과 방재성능 향상을 위해 설치되고 있는 최신 시설물을 소개하고자 한다.

2. 주행안전성 향상을 위한 시설계획

2.1 주행 시뮬레이터를 이용한 운전자 심리특성 분석

터널은 공간이 협소하므로 터널내부로 진입하는 운전자는 심리적으로 불안감을 느끼게 된다. 특히, 장대 터널의 단조로운 내부 환경은 운전자로 하여금 졸음과 지루함 등 집중력 저하를 초래하여 교통사고 유발의 원인이 되기도 한다. 이러한 요인을 완화시키기 위하여 장대터널에서는 최근 주행시뮬레이터를 이용한 운전자 거동특성을 분석하여 터널내의 환경변화, 즉 일부 구간에 특수 조명시설을 설치하거나 터널 벽면의 내부를 디자인하는 등 운전자의 시인성을 개선하는 다양한 시설물을 계획하고 있다.

주행시뮬레이터는 실제 터널과 유사한 환경하에서 주행할 수 있도록 3차원 데이터베이스를 구축한 가상 주행장치로 운전자의 주행 중 시각상태의 변화를 정량적으로 분석하여 주행안전성을 향상시키는데 활용하고 있다.

24.5km의 노르웨이 Laerdal터널과 18km의 중국 중남

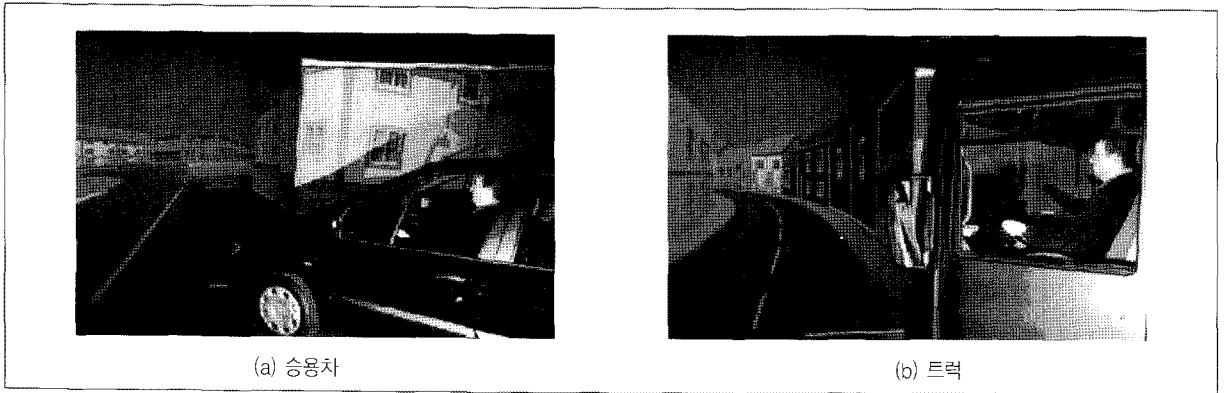


그림 1. 노르웨이 NTNU/SINTEF 주행 시뮬레이터

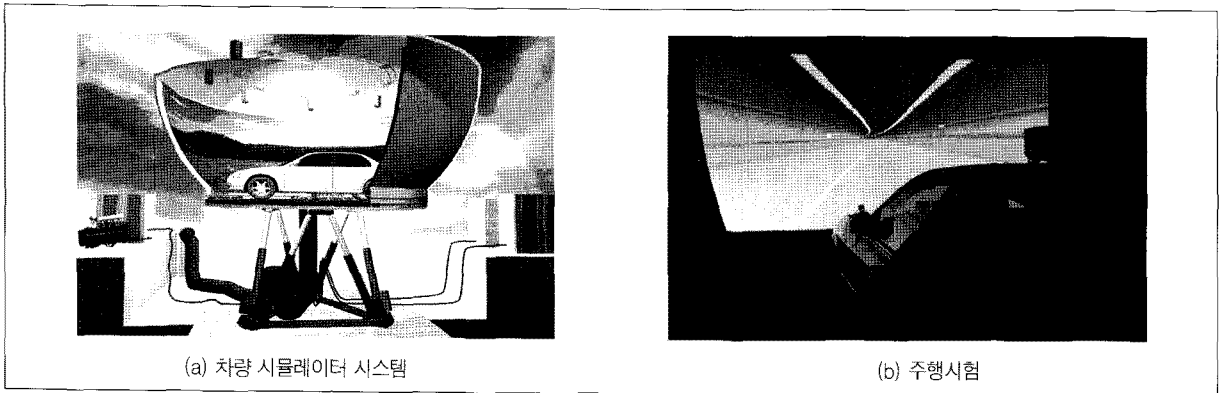


그림 2. 국내 자동차부품연구원내 차량 시뮬레이터(KAAS)

산터널에서 이러한 주행시뮬레이터를 이용하여 운전자의 주의력을 향상시키는 특수경관조명을 터널내부에 설치하였으며, 우리나라의 인제터널에서도 이러한 시설을 터널 내부디자인 설계에 활용하였다.

2.2 특수 경관조명

노르웨이의 Laerdal 터널은 설계시 주행 시뮬레이터 실험을 수행하여 운전자의 주의력을 향상시키기 위해 6km 간격으로 총 3개소에 단면이 확대된 대형회차로와 암반원석의 질감을 낼 수 있는 특수경관조명을 설치하였다. 조명색상은 그림 3과 같이 상하를 다르게 구분하여 업라이

트 방식으로 적용하였다.

중국의 종남산 터널도 주행시뮬레이션 실험을 실시하여 4km 간격으로 총 3개소에 그림 4와 같이 푸른 하늘과 구름을 형상화한 특수 경관조명으로 터널 외부의 경관을 연출하고, 차도 양측에 인공식재를 배치하여 기존 터널에서 경험할 수 없었던 이벤트적인 요소를 추가함으로써 운전자에게 색다른 환경을 제공하였다.

Laerdal 터널 및 종남산 터널과 같이 터널 단면을 확대하거나 조형물을 설치하는 등 적극적인 연출이 아닌 간접 조명 및 액센트 조명등으로 단조로움을 개선한 사례도 있다. 그림 5와 같이 프랑스의 A86 East터널(10.0km)과 일본의 히다터널(Hida, 10.7km)의 경우 기존의 조명방식과

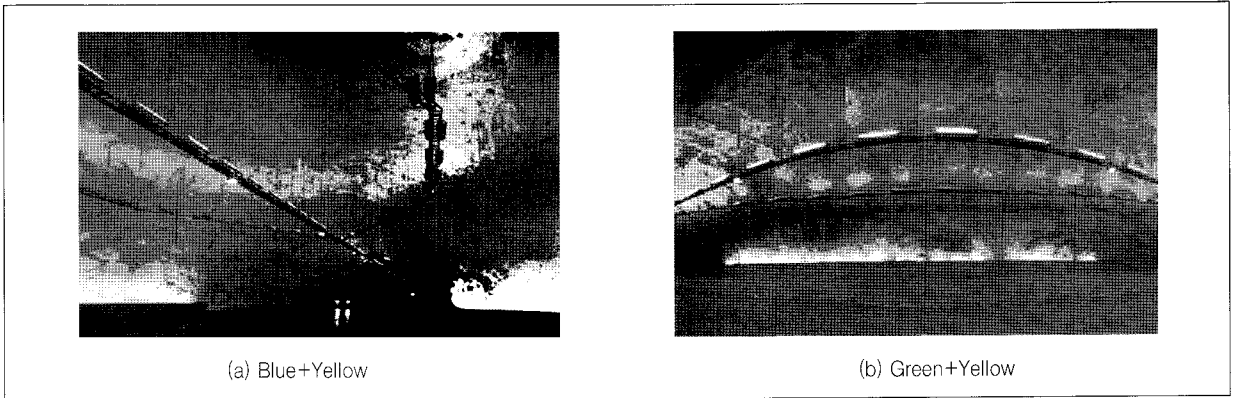


그림 3. Laerdal 터널 특수 경관조명

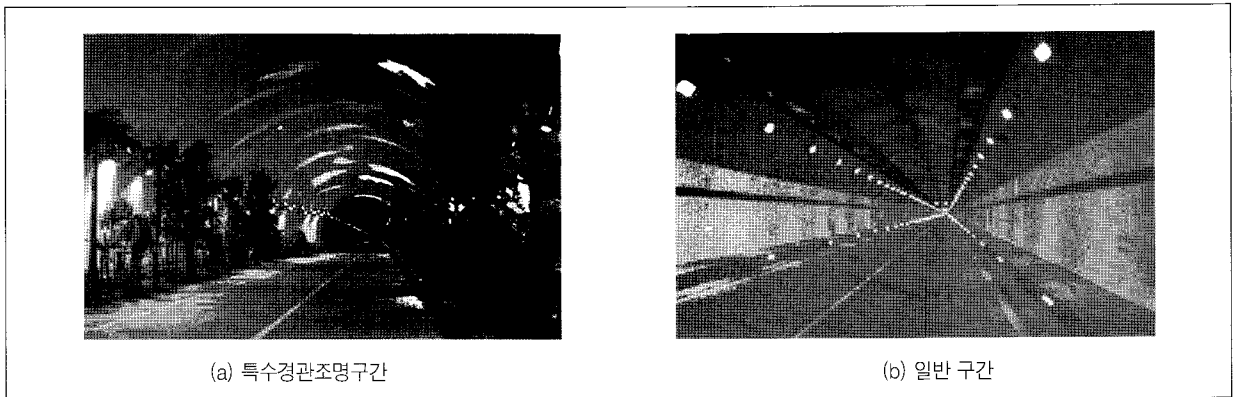


그림 4. 중남산터널 특수 경관조명

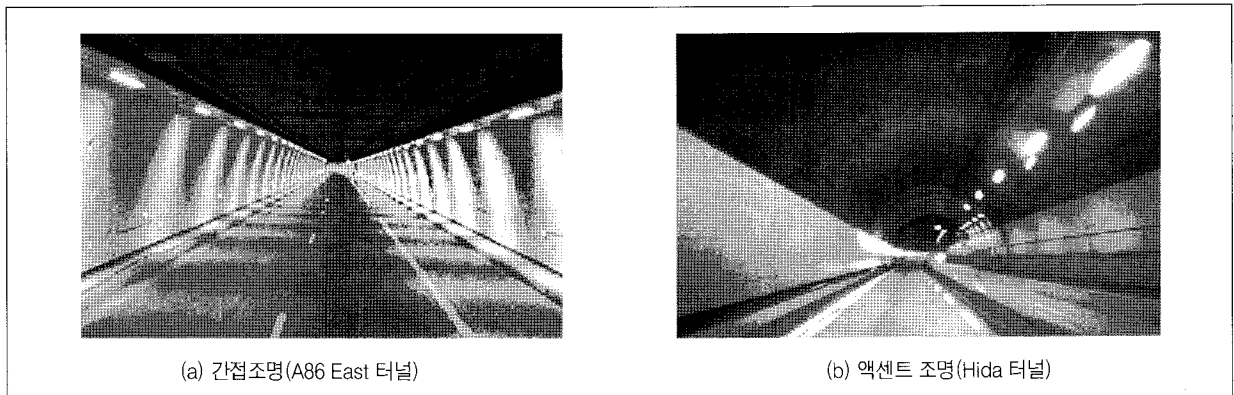


그림 5. 터널 간접 조명 및 액센트 조명

달리 기본조명을 측벽 상부 모서리에 배치하거나 측벽 일렬배열로 설치하여 부분적인 색상변화로 액센트 조명을 연출하였다.

2.3 터널 내부디자인

터널 내부의 방위 및 거리표시는 운전자에게 필요한 정보를 제공해줄 뿐 아니라 주의력까지 환기시켜준다. 이러한 이유로 최근에는 운전자가 식별할 수 있도록 터널벽면에 대형으로 위치정보를 표기해주고 시인성을 확보할 수 있는 내부디자인을 설계하기도 한다. 대표적으로 대만의 설산터널(Hsuehshan, 12.9km)은 1km 간격으로 대만 전

통의상을 테마로 내부벽면을 디자인하여 운전자의 주의력을 향상시키고 있다.

3. 방재성능 향상을 위한 시설계획

3.1 화재강도

터널은 공간이 제한되어 있어 일반도로보다 위험요인이 많다고 할 수 있다. 특히 장대터널은 폐쇄적 공간특성으로 인해 이용자들이 터널내부에 체류하는 시간이 길어짐에 따라 인명피해가 발생할 확률도 커지게 된다. 또한,

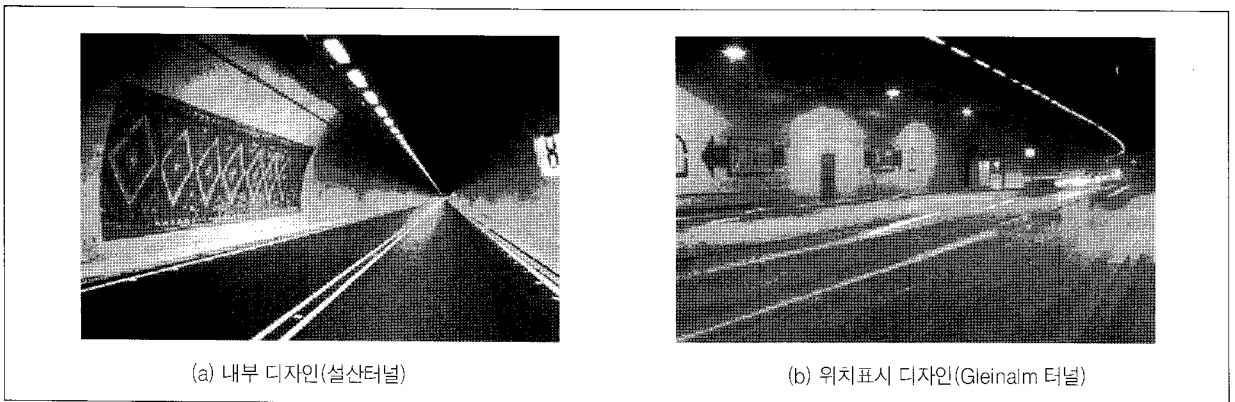


그림 6. 터널 내부 디자인

표 1. 국가별 설계화재강도

국 가	화재강도	특 징	통행규제
스위스	30MW	• New Swiss Directive	• 위험물 수송차 규제 있음 - 탱크로리 - 목재 화물 - 플라스틱 화물 - 가구 화물
독일	50MW	• RABT Guideline	
프랑스	50MW	• CETU Recommendation	
미국	50MW	• Boston Central Artery Tunnels	
스웨덴	100MW	• Stockholm Ring Road	• 위험물 수송차 규제 없음
대만	100MW	• East Coast Free Way(Intercity Express Way)	
일본	100MW	• 수도고속(신주쿠선) : 탱크로리(26kl) 반영	
네델란드	200MW	• Petrol Tanker Fire	

화재로 인해 도로기능을 상실하게 되면 터널보수비용 등 사회간접비용 손실에 따른 막대한 경제적 피해도 초래하게 된다. 따라서 장대 도로터널은 사고예방 뿐만 아니라 사고 발생시에도 초기에 대응이 가능하도록 보다 적극적인 방재계획이 필요하다.

유럽은 몽블랑 터널(프랑스, 1999. 03)과 고타드 터널(스위스, 2001.10) 등의 화재사고 후 인명과 구조물 보호를 위한 방재기준을 강화하고 있다.

화재강도는 임계풍속 및 배연용량에 영향을 미치게 되므로 방재설비 용량, 특히 제연설비 용량을 결정하는데 주요 요인이 된다. 국내의 경우 화재강도는 20MW를 권장하고 있으나, 해외에서는 표 1에서 보는 바와 같이 위험물 수송차 규제 유무에 따라 각기 다르게 규정하고 있다. 즉 위험물 수송차 관리에 대한 규정이 있는 나라에서는 30~50MW를 적용하고 있으며, 위험물 수송차 통행규제가 없는 나라는 대형화재시 막대한 사회적 손실을 감안하여 설계 화재강도를 100MW까지 상향 조정하고 있다.

3.2 환기소

장대터널에는 환기설비인 축류팬 등 다양한 시설물이 설치되는 환기소가 필요하다. 이러한 환기소는 환기소 위

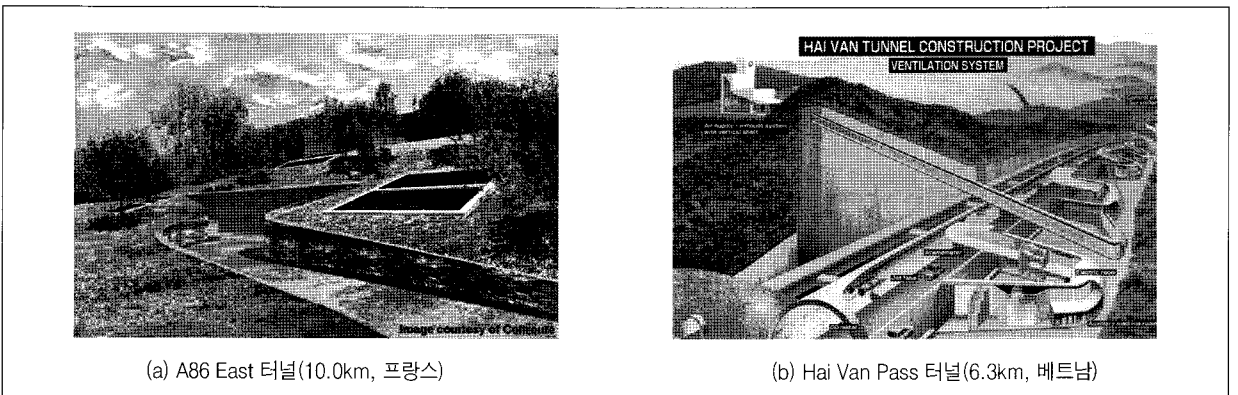
치의 부지특성 등을 감안하여 지상 또는 지하에 설치한다.

지상 환기소는 터널내 교통상황과 무관하게 시설물의 점검 및 유지관리가 가능하다. 따라서 지상환기소는 유지관리시 터널내 교통차단을 근본적으로 배제할 수 있고 유지관리 환경도 양호하다. 또한 대형 화재시에도 공기중 열기완화로 인한 축류팬 정상가동이 가능하므로 화재연기를 터널 외부로 원활하게 배출 할 수 있다.

이러한 이유로 프랑스의 A86 East 터널, 베트남의 Hai Van Pass터널 등 최근 건설되는 장대터널의 경우 지상에 부지확보가 가능하다면 환기소를 지상에 설치하는 사례가 많다.

3.3 물분무설비

물분무설비에는 저압(3.5kg/cm²)과 고압(80kg/cm²) 물분무설비로 구분할 수 있다. 저압의 경우 화재시 이용자의 대피가 완료된 후 화원의 냉각을 목적으로 터널의 천정이나 벽면에 설치하도록 되어 있어 화재 초기진압이 어렵다. 또한 유류화재의 경우 유독가스 확산을 촉진시키고 증발가스에 의한 재발화 가능성 등의 문제점을 내포하고 있다. 고압미세 물분무 설비(80kg/cm²)는 작은 물입자(0.05~0.1mm)를 다량 생산하여 화재원 주변 공기를



(a) A86 East 터널(10.0km, 프랑스)

(b) Hai Van Pass 터널(6.3km, 베트남)

그림 7. 지상 환기소 사례

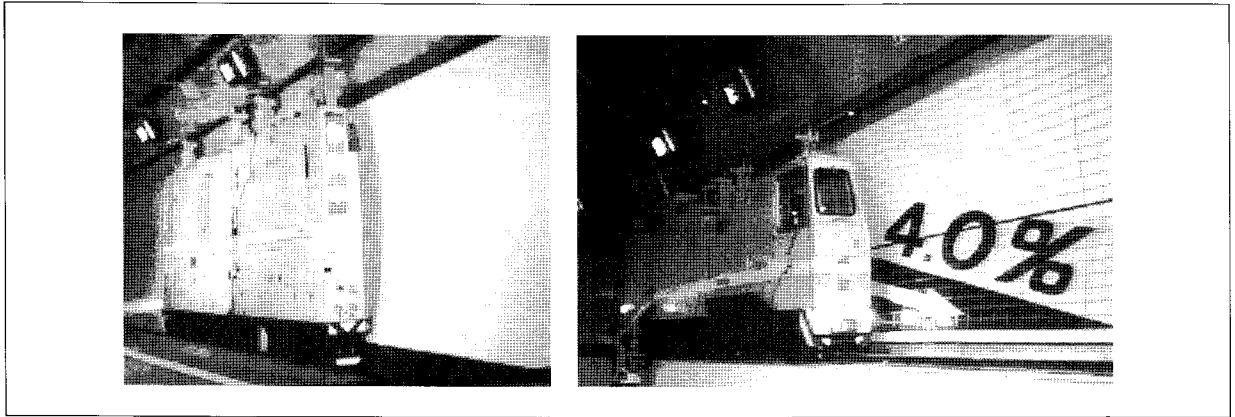


그림 8. 동경만 터널 비상차량

타고 화염에 직접 접근하므로 열흡수 및 증발이 용이한 설비이다. 증발에 의해 발생된 수증기는 부피가 팽창되어 열기차단 효과를 증대함으로써 초기 화재 대응성이 우수하다.

유럽에서는 몽블랑 터널 화재 이후 열을 감지하여 자동으로 분사함으로써 초기에 화재를 제압할 수 있는 최첨단 설비인 고압미세물 분무설비를 적용하는 사례가 증가하고 있다. 최근 프랑스에서 개통한 소형차 전용도로인 A86 터널에서도 고압미세 물분무설비를 설치하였다.

3.4 비상차량

최근 건설되는 장대터널은 유지관리를 인력에만 의존하지 않고 특수전용차량을 제작하여 활용하고 있다. 일본의 관월터널과 동경만터널의 경우 그림 8과 같이 점검원 통로 상부에 이러한 특수전용차량이 통행할 수 있도록 시설이 설치되어 있다. 우리나라의 경우 인제터널에서 이러한 특수차량을 계획하여 비상시 접근성을 향상시켰으며, 평상시에는 유지관리용으로 활용하도록 계획하였다.

4. 결론

본 기술기사는 최근 건설되고 있는 국내의 장대도로터널에서 운전자의 주행 안전성과 방재성능 향상을 위해 설치되고 있는 최신 시설물을 소개하였다. 장대터널에서의 주행 안전성 향상을 목적으로 주행시뮬레이터를 이용한 운전자 심리특성분석, 특수경관조명, 터널 내부디자인 등을 설치하여 폐쇄된 공간을 장시간 주행하게 되는 장대터널에서 운전자의 주의력 저하를 방지함으로써 사고위험성을 줄이는 노력을 기울이고 있다.

장대터널은 화재 등 사고시 이용자가 터널내부에 체류하는 시간이 장기화되기 때문에 인명피해가 발생할 확률도 커진다. 또한 화재로 인해 도로기능을 상실하게 되면 터널보수비용 뿐만아니라 사회간접비용 손실에 따른 막대한 경제적 피해도 초래하게 된다. 따라서 사고예방 뿐만아니라 사고 발생시 초기에 대응이 가능하도록 영상유고감지설비, 고압미세 물분무설비 등의 적극적인 방재시설물을 계획하고 있다.