



도로터널, 교량, 기타 접근이 제한된 구조의 고속도로 방재 표준 (2001년도 판)

NFPA 502 : Standard for Road Tunnel, Bridges, and Other Limited Access Highways

도로상의 터널, 교량, 고가구조, 그리고 인터체인지 등 특별히 제한된 형식으로만 접근만이 허용되는 고속도로에 대한 방재표준중에서 주요내용을 소개한다.

김진수

벽산엔지니어링 (kimjs@bseng.co.kr)

국내의 방재 기준에는 터널에 대한 소방법상의 일부 규정과 도로공사의「고속도로터널 환기시설 설계 기준」 외에 도로에 대한 기술적 표준은 거의 없는 상태이다. 국내의 도로, 터널, 교량 등에 대한 방재 표준 확립에 도움이 되고자 하여, 최근 개정 보완된 NFPA 502 Code를 요점만 발췌, 소개한다.

이 표준은 1972년 5월 16일 최초 제정된 이래 여러 차례 개정하였으며, 1992년 판인 [Recommended Practice on Fire Protection for Limited Access Highways, Tunnel, Bridges, Elevated Roadway, and Air Right Structure]가 화재보험협회에 의해 우리말로 번역 소개되었다. 그러나 1992~1993년 West Virginia의 Memorial Tunnel에서 이루어진 실물크기 터널화재 시험에 따라 완전히 개정하면서 지금의 이름으로 바뀌었다.

부록 G 「메모리얼터널 환기시험 프로그램」은 흥미 있는 항목이지만 축약하기 곤란하여 지면관계상 생략한다.

목차는 다음과 같다.

- Chapter 1 개요
- Chapter 2 참고문헌
- Chapter 3 용어의 정의
- Chapter 4 일반적 요구사항
- Chapter 5 접속이 제한된 구조의 고속도로
- Chapter 6 교량과 고가도로
- Chapter 7 도로터널
- Chapter 8 고가(Air-right) 구조물 아래의 도로
- Chapter 9 연결송수관 및 급수
- Chapter 10 화재시의 터널환기
- Chapter 11 전력시스템

- Chapter 12 비상대처
 - Chapter 13 위험물질의 통제
 - 부록 A 보충설명
 - 부록 B 온도와 속도 기준
 - 부록 C 임계속도 계산
 - 부록 D 도로터널의 스프링클러
 - 부록 E 비상대처계획의 개요
 - 부록 F 대체 연료
 - 부록 G 메모리얼터널 환기시험 프로그램
 - 부록 H 터널환기시스템의 개념
 - 부록 I 소방차량
 - 부록 J 참고자료
- 부록은 NFPA의 요구사항이 아니며, 정보제공의 목적으로만 수록되었다.

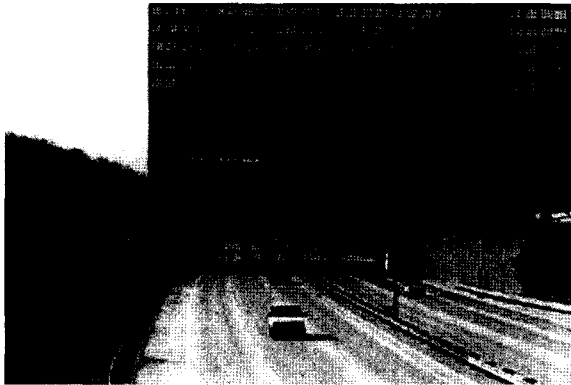
Chapter 4 일반적 요구사항

교량 및 고가도로

특정구조물의 경우는 위험하게 약화되거나 붕괴하지 않도록 충돌이나 고온 노출로부터 방호하여야 한다. 거주공간의 위를 지나는 도로나 교량의 화재는 그 아래나 인근에 거주하는 사람들에게 심각한 노출에 직면하게 하며, 역으로 그 아래 거주공간이나 인근의 화재는 그 위의 교량이나 도로에 심각한 위험을 줄 수 있다.

고가구조물 아래의 도로

고가구조물이 도로의 양쪽을 뒤덮는 경우에는 방재 목적상 터널로 간주되어야 하며, 도로의 양쪽을 뒤덮지 않을 경우에는 공학적 분석을 거친 후 관계기관이



[그림 1] 고가구조물 아래의 도로

터널 간주여부를 결정한다(그림 1).

Chapter 6 교량 및 고가 고속도로

연결송수관과 급수

사용 가능한 급수원으로부터 120 m 이상 떨어진 부분의 교량상에는 연결송수관을 설치하여야 한다.

배수

해롭거나 인화성 있는 누설액체를 모아서 유도할 수 있는 배수시스템을 설치하여야 하며, 교량이나 고가도로 아래로 새지 않도록 팽창 조인트를 설계하여야 한다.

Chapter 7 도로 터널

도로터널의 길이

- 도로터널의 길이가 90 m 미만일 경우, 이 표준을 적용하지 않는다.
- 도로터널의 길이가 90 m 이상일 경우, 연결송수관과 교통통제시스템을 설치한다.
- 도로터널의 길이가 240 m 이상이고 터널의 각 부분으로부터 안전지점까지의 거리가 120 m를 초과할 경우, 이 표준의 모든 항목을 적용한다.
- 도로터널의 길이가 300 m 이상일 경우, 이 표준의 모든 항목을 적용한다.

화재탐지

하나의 수동식을 포함하여 최소한 두 개의 화재탐지시스템을 설치하여야 한다.

- Double-action 수동발신기

Double-action 수동발신기는 터널내부에 90 m 이내의 간격으로, 그리고 교차로와 피난구에 설치하여야 한다. 경보는 수신반에 그 작동위치를 표시하여야 한다.

- CCTV
터널내부 화재를 확인하기 위하여 24시간 감시용 CCTV 시스템의 설치를 허용하여야 한다. 터널내의 부속공간에는 자동화재경보설비를 설치하여야 한다.
- 자동화재탐지설비
24시간 감시설비가 없는 터널에는 화재탐지만을 목적으로 한 자동화재탐지설비를 설치하여야 하며, 자동화재탐지설비는 화재위치를 15m 이내에서 확인할 수 있어야 한다.

교통통제

90 m를 초과하는 길이의 터널에는 터널 화재경보 작동시 접근하는 교통의 진입을 막는 수단이 설치되어야 한다.

240 m를 초과하는 길이의 터널에는 터널 화재경보 작동시 접근하는 교통의 진입을 막고, 화재지점 하류의 교통을 소개하는 수단이 설치되어야 한다.

소화기

터널 내 90 m 이내 마다 소화기 수납장을 설치하고 A급 2단위, B급 20단위, C급 적용 소화기를 비치하며, 각 소화기의 무게는 9 kg 이하이어야 한다.

터널 배수시스템

- 터널의 길이방향으로 유해 또는 인화성의 액체가 전파하지 않도록 포집장치가 설계되어야 한다.
- 포집장치의 구성요소는 불연성으로 한다.
- 포집장치는 최소한 두 개의 소방호스로부터 동시에 방사되는 물을 처리하기에 충분한 용량의 탱크 또는 배수펌프장으로 연결하여야 한다.
- 포집탱크와 펌프장에는 탄화수소 감지설비를 하고, 터널 배수로부터 탄화수소가 감지되었을 때에는 경보를 발하여야 한다.

비상 피난

- 피난출구의 보행표면은 미끄럼방지가 되어야 한다.
- 피난출구로 향하는 문은 피난방향으로, 교차통행 도로로 향하는 문은 양방향으로 열리도록 되어야 하

고, 최소 1시간 내화성능을 가진 적합한 방화문이어야 한다. 피난문을 여는데 필요한 힘은 가능한 한 낮아야 하고, 222N을 넘지 않아야 하며, 문은 차량통행으로 인하여 야기되는 정압 또는 부압에 견디어 열리지 않도록 설계되어야 한다.

- 피난출구
피난출구는 터널 전체에 걸쳐 피난출구까지의 보행거리가 300 m 이내가 되도록 한다. 피난출구는 최소 2시간 내화구조로 구획되어야 한다.
- 교차통행로
터널이 최소 2시간 내화구조의 구조물로 구획되거나 쌍굴일 경우 터널 사이에 피난출구 대신에 사용할 수 있는 교차통행로를 허용하여야 한다. 교차통행로 사이의 거리는 200 m 이내로 하며, 개구부는 최소 1시간 내화성능의 자폐식 방화문을 설치한다. 교차통행로의 양쪽에는 최소 1 m 너비의 피난보행로가 있어야 하며, 피난보행로는 터널전구간에 걸쳐 연속되어 터널 밖에서 끝나도록 한다.

Chapter 8 고가구조물 아래의 도로

구조물의 방호

- 고가구조물을 지지하는 모든 구조요소, 그리고 고가구조물과 도로를 분리하는 모든 구성요소들은 최소한 4시간 내화성능을 가져야 한다.
- 설계 열 방출률이 20 MW 이하이고 인화성 액체의 벌크수송이 금지된 도로에는 최소 2시간 내화구조가 허용되어야 한다.
- 도로 위의 건물은 그 아래의 도로가 열, 연기, 차량 배기가스의 잠재적 공급원임을 고려하여 설계되어야 한다.

화재시의 환기

열, 연기, 독성가스 등이 고가구조물과 그곳의 거주자들에게 미치는 영향을 예방하거나 최소화하도록 환기설비를 설계하여야 한다.

Chapter 9 연결송수관과 급수

연결송수관

- 연결송수관의 소요수량은 1920 lpm 을 초과하여 요구하여서는 아니 된다.

- 동결가능 지역의 습식 연결송수관은 가열하거나 순환시키고 보온하여야 한다.
- 건식 연결송수관은 모든 호스접결구까지 10분 이내에 물이 도달하도록 한다.

급수

수원은 최소 1시간 이상 급수 가능한 용량이어야 한다.

연결 송수구

연결송수구는 서로 떨어진 곳에 구경 100 mm의 쌍구형이나 삼구형 나사식 또는 하나의 퀵커플링을 최소한 두 개소 이상 설치하여야 한다.

방수구

방호대상 도로의 모든 부분이 방수구로부터 45 m 이내가 되도록 하며, 방수구 사이의 거리는 85 m 이내가 되도록 한다.

Chapter 10 화재시의 터널 환기

개요

터널 환기는 운전자의 피난과 구조에 도움이 되도록 하여야 하며, 길이 240 m를 초과하는 터널에 있어서 공학적분석 결과 피난성능에 지장이 없는 경우에는 터널환기를 요구하여서는 아니된다.

제언

- 양방향 터널의 환기목표
 - 연기의 층류화를 교란하지 않아야 한다.
 - 길이방향의 유속은 낮아야 한다.
 - 천장상부의 개구부를 통한 배출이 효과적이다.
- 일방향 터널의 환기목표
 - 종류식 시스템
교통방향으로 임계속도 이상의 기류를 형성하여 연기의 역류방지
연기층의 교란을 예방하기 위하여 화재지점에서부터 가장 먼 곳의 팬부터 작동
 - 횡류식 또는 반횡류식 시스템
환기구역으로부터 배출속도 최대화, 외부공기유입 최소화
화재지점 상류의 급기 최대화, 하류의 배기 최대화로 교통방향의 기류 형성



팬(Fan)

- 화재시 열기류에 노출되는 팬과 그 부품들은 250℃의 열기류에서 최소 1시간의 가동상태를 유지할 수 있도록 설계해야 한다.
- 화재에 직접 노출되는 팬들은 팽창하는 것으로 간주하여야 한다.
- 화재에 직접 노출되는 팬을 설계할 때에는 여분의 팬을 두어야 한다.
- 급배기구는 재순환하지 않도록 조치하여야 한다.

제어

현장제어모드와 원격제어모드 두 가지로 비상운전 가능한 경우, 현장제어모드는 원격제어모드에 우선하여야 한다.

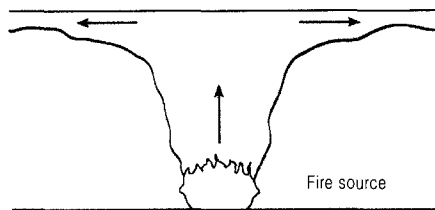
Chapter 11 전력 시스템

재질

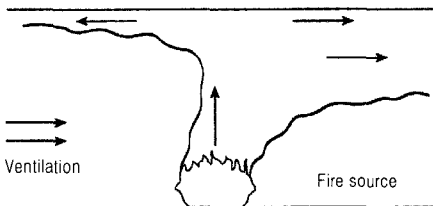
배관, 레이스웨이, 덕트, 캐비닛, 함, 표면 마감재 등 모든 시스템은 316℃에서 최소 1시간 이상 구조적 손실 없이 견디어야 하고, 화재에 노출시 독성 부산물을 생성하지 않아야 한다.

전원

조명, 출구표지, 통신, 배수펌프, 소화펌프, 비상환기설비용 전원은 비상시에도 공급되어야 한다.



[그림 2] 자연환기상태에서의 터널화재



[그림 3] 환기부족으로 역류발생

사고나 화재로부터의 영향을 최소화하도록 예비전원을 연결하여야 한다.

비상조명

조명은 0.5초 이상 차단되지 않도록 하고, 터널 도로, 보행로의 표면 조도는 3 lx 이상이어야 한다. 조명은 중요한 비상설비 즉, 발신기, 소화기, 전화, 특별한 표지 등을 반드시 비춰야 한다.

부록 B. 온도와 속도 기준

공기온도 기준

운전자는 화재비상시 60℃를 초과하는 공기 중에 노출되지 않아야 한다.

공기속도 기준

비상시 환기류의 속도 하한은 연기의 역류를 방지할 수 있는 속도이며, 초속 11 m를 초과하면 보행에 지장을 받는다.

부록 C. 임계속도 계산

연기의 역류를 방지하기 위한 최소한의 정상유동속도인 임계속도는 다음의 두 식을 동시에 반복 계산하여 구한다.

$$V_c = K_1 K_2 \left[\frac{gHQ}{\rho C_p A T_i} \right]^{1/3}, \quad T_i = \left[\frac{Q}{\rho C_p A V_c} \right] + T$$

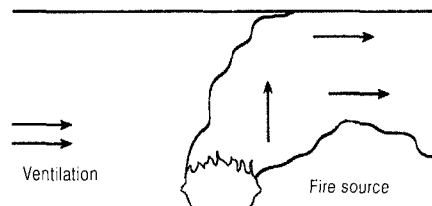
여기서 A : 흐름에 수직인 단면적(m²),

C_p : 공기의 비열(kJ/kg K),

g : 중력가속도(m/s²),

H : 화점에서의 터널 높이(m),

K_F : 구배계수(그림 5 참조),



[그림 4] 충분한 환기로 역류방지

- K_1 : 상수(0.606)
- Q : 발생 열량(MW),
- T : 인입공기의 온도(K)
- T_f : 화점의 연소가스 평균온도(K),
- V_f : 입계속도(m/s)
- ρ : 인입(상류)공기의 평균밀도(kg/m³)

부록 D. 도로터널의 스프링클러

배경

The World Road Association(PIARC)은 Sydney(1983), Brussels(1987), Montreal(1995)에서 열린 총회에 제출된 보고서에서 도로터널의 스프링클러를 언급하였다.

유럽에서는 일반적으로 터널에 스프링클러를 적용하지 않으며, 일본에서는 10,000 m 이상의 터널 또는 3,000 m 이상의 통행량 많은 도로에 적용한다. 노르웨이에서는 두 개의 터널에 라이닝 재료(polyurethane and ethaphome)를 보호할 목적으로 건식 스프링클러를 채용하였고, 스웨덴에서는 한 개의 터널에만 적용하였으며, 미국에는 세 개의 터널만이 스프링클러가 설치되었다.

스프링클러를 설치하지 않는 이유는 화재가 차량에서 발생하므로 화염이 노출되기 전에는 쓸모가 없다는 것인데, 차량을 냉각하여 다른 차량으로의 전파를 막고, 라이닝 재료에 대한 2차 화재를 막아 소화활동을 돕는 효과가 있다.

- 현재 스프링클러의 효용은 일반적으로 수용되지 않고 있다. 스프링클러가 화재의 제어에 효과적이지 않고 실제적으로 화재를 확산한다는 것을 암시하는 증거가 많기 때문이다.
- 세계적으로 터널 설계자나 엔지니어들은 다음과 같은 이유를 든다
 - 차량은 위쪽에 대해 방수구조로 되어 있으므로 스프링클러는 효과가 없다.
 - 화재발생 한참 후에 스프링클러가 작동하면 불은 끄지 못하고 뜨거운 화염 위의 얇은 수막이 다량의 과열 증기를 발생시켜 연기보다 오히려 위험할 수 있다.
 - 터널은 좁고 길며, 때로는 경사가 있어 환기량도 많기 때문에 열이 화원 위에 모이지 않는다.
 - 터널 천장의 고온가스 성층화 때문에 화원으로

부터 먼 곳의 헤드까지 작동하게 되며, 이로 인한 냉각효과가 성층화된 연기를 하강시켜 구조 및 소화활동에 부담을 준다.

- 수면하 터널의 천장에서 살수되는 물은 운전자들에게 터널붕괴를 암시하여 패닉을 유발한다.
- 스프링클러의 사용은 연기의 성층화를 교란하여 공기와 혼합시키므로 터널 내 인원의 안전을 위협한다.
- 주기적인 스프링클러 설비의 점검이 불가능하다.

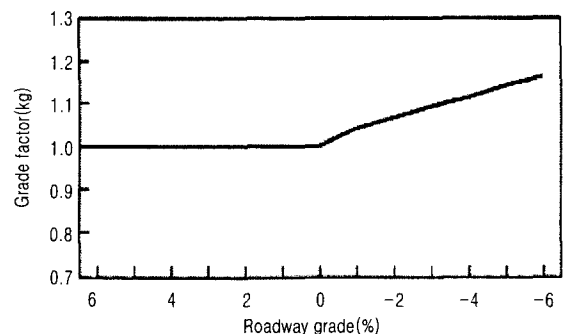
권고

- 적용: 스프링클러의 설치에 위험물질의 대량수송이 예상되는 터널에 대해 관할기관이 그 타당성을 신중히 검토한 후 적용하여야 한다.
- 소화약제: 터널 내 스프링클러 시스템에는 AFFF를 고려하여야 한다.
- 스프링클러 시스템: 사고지점에만 방출할 수 있도록 수동기동형 Deluge valve를 적당한 간격으로 설치하고, 방호범위는 갓길까지 미치도록 한다.

부록 F. 대체 연료

개요

차량연료로서 휘발유, 경유 이외에 여러 가지 대체연료의 사용이 증가하고 있으며, 터널내 차량연료는 화재관련 인명안전에 대한 설계 사양에 영향을 미친다. 잠재적 대체연료로는 메탄올, 수소, 에탄올, 석탄-유도 액체, 프로판, 생물학적 물질, 천연가스, 개질개솔린, 전력, 청정경유 등이 있으며 가까운 장래에 가장 많이 쓰일 것은 CNG, LPG, LNG 그리고 메탄올이다.



[그림 5] 구배계수



압축천연가스(CNG)

CNG의 연소범위는 다른 연료에 비해 상대적으로 좁다. 일반 공기조건에서 연소의 지속을 위해서는 LPG 2%, 휘발유 증기 1%에 비해 CNG는 최소 5%가 필요하다. 그러므로 CNG가 포함된 화재는 소화가 쉽고, 천연가스는 공기보다 가벼워 잘 흩어져 바닥에 고이지 않으나 천장에 정체할 수 있다.

LPG

엔진과 부품의 수명, 배기가스의 청정도 등 많은 이점 때문에 LPG의 사용이 증가하고 있다. 그러나 가스 용기가 화재환경에 놓였을 때 압력이 급격히 증가

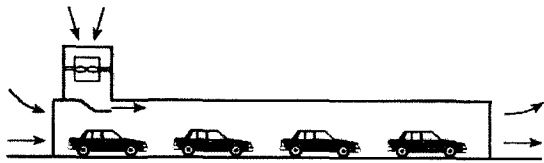
하는 문제가 있는데, 이 압력은 릴리프 밸브를 통하여 배출하여야한다.

메탄올

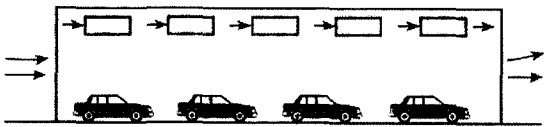
연료탱크 속의 메탄올 증기는 폭발성이 있다. 탱크 속의 희석되지 않은 메탄올 표면의 포화 증기는 10℃~43℃ 사이에서 폭발성이 있고, 메탄올의 화염은 눈에 보이지 않으므로 탐지하기 위해 채색하거나 휘발유를 섞는 것이 필요하다.

위험 완화 방법

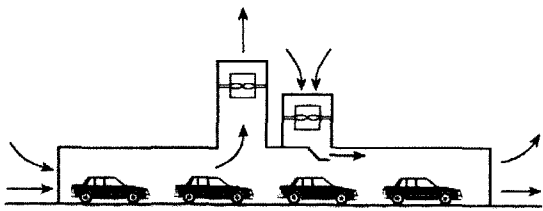
대체 연료의 사용증가는 터널에 위험을 가중시키는 요인이 된다. 위험 완화 방법으로 가장 우선적인 것은 환기설비로 충분한 공기를 공급하여 누설 연료를 위험범위 이하로 희석하는 것이다. 이를 위한 최소환기량을 확립하여야 하며, 또 다른 방법은 터널 천장의 고르지 못한 부분을 없애거나 줄여서 가스가 정체하지 않도록 하는 것이다.



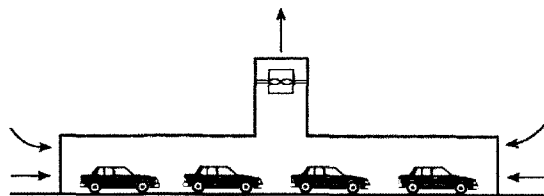
[그림 6] 종류식 환기(중앙팬과 노즐)



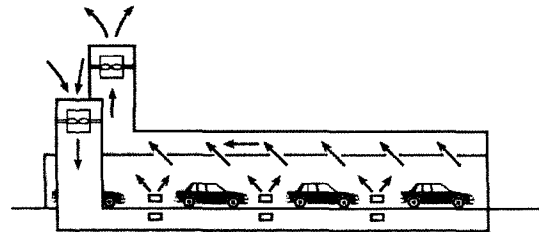
[그림 7] 종류식 환기(제트팬)



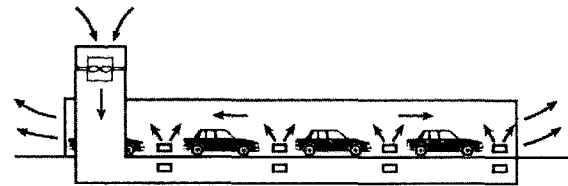
[그림 8] 종류식 환기(Saccardo 노즐과 샤프트)



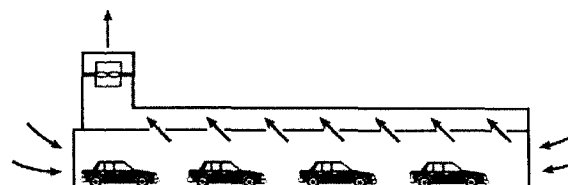
[그림 9] 종류식 환기(중앙팬과 샤프트)



[그림 10] 전 횡류식 환기



[그림 11] 반 횡류식 환기(급기방식)



[그림 12] 반 횡류식 환기(배기방식)

부록 H. 터널환기시스템의 개념(그림 6~12) ㉔