

도로터널 내 화재에 따른 시간-온도 가열곡선 도출

Time-Temperature Curve of road tunnel for fire

최민정^{*} 장창일^{**} 이상우^{**} 김준모^{*} 원종필^{***}
Choi, Min jung Jang, Chang Il Lee, Sang Woo Kim, Joon Mo Won, Jong Pil

Abstract

This study is performed to propose a standard to evaluate fire protection assessment for concrete structures during a fire on road tunnel. Recently, a number of road tunnels have been rapidly increased and fire risk also multiplied according to extend tunnel length, due to natural features and environmentally-friendly road construction in domestic. But we have not yet been prescribed appropriate time-temperature curve for tunnel fire. Therefore we presented fire design model and investigated time-temperature curve proposed by a foreign country considering traffic, a kinds of vehicles which are a basis of heat rate.

요 약

본 연구는 도로터널 내 화재시 콘크리트 구조체의 내화성능을 평가하기 위한 기준을 제시하고자 실시하였다. 현재 국내에서는 지형특성 및 환경친화적인 도로건설로 도로 터널의 수가 빠른 속도로 증가하며, 터널연장이 길어짐에 따라 터널 내 화재사고가 갈수록 높아지고 있는 상황이다. 하지만 우리나라에서는 터널 화재에 대한 적합한 시간-온도 곡선을 규정하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국내 도로의 통행량, 차량 종류등을 고려한 열방출율을 기초로 외국에서 제시된 시간-온도 곡선을 검토해 보았으며 설계화재 모델을 제시하였다.

*정회원 · 건국대학교 대학원 석사과정

**정회원 · 건국대학교 대학원 박사과정

***정회원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 교수 · E-mail: jpwon@konkuk.ac.kr

1. 서론

몽블랑 터널 화재, 타우에른 터널 화재, 고타드 터널 화재, 등 대형 터널의 화재로 인하여 이제까지 경험하지 못했던 참혹한 사고를 겪게 되었다.⁽²⁾ 더욱이 트럭, 유조차, 폭발물 탑재 차량 등 운반물의 다양화와 터널 통과 차량의 대형화, 터널내 차량충돌 사고 빈발 등 터널 내부에서의 대형화재 위험성이 급증되고 있다.⁽³⁾ 터널화재가 발생할 경우 터널내부는 외부와의 통로가 한정되고 고립된 공간특성을 가지기 때문에 화재로부터 발생하는 열과 연기 등의 다양한 연소생성물은 터널 사용자와 구조대의 안전에 심각한 문제를 야기하고 있음을 알 수 있다. 이런 재해로부터 인간과 재산을 보호하기 위해 많은 연구들이 유럽등지에서 많이 실시되고 있다. 아직까지 우리나라는 터널 콘크리트 구조체의 안정성 검토를 위하여 실물크기의 자동차, 열차, 지하철에 대한 종합적인 화재시험이 실시되지 않고 있다.⁽³⁾ 특히 터널 콘크리트 구조체의 안정성 확보를 위하여 실제 화재가 일어났을 경우를 모사하기 위한 연구가 진행되고 있지 않다. 세계 여러 나라에서는 구조물 내에서 실제 차량을 연소시켜 시간에 따른 열방출율을 측정하였고, 이러한 연구결과 RABT, RWS, ISO834 등의 표준시간-온도 곡선을 제정하여 사용하고 있다.⁽²⁾ 본 연구는 국내 도로의 통행량, 차량 종류 등을 고려한 열방출율을 기초로 하여 외국에서 제시된 시간-온도 곡선을 검토하고 측정된 최고온도와 화재지속시간에 기초해서 그에 따른 국내 도로터널 설계화재 제안 모델을 제시하였다.

2. 터널 화재의 특성

터널에서 발생하는 화재의 최고온도와 최고온도 도달시간, 지속시간 등은 화재의 상황에 따라 크게 달라지지만 Fig. 1과 같이 터널화재시 시간-온도와의 관계를 나타내는 기준으로 나눌 수 있다.㉓는 ISO 표준 시간-온도곡선이며, ㉔는 주로 건축구조물의 내화기준에 적용된다. ㉕의 탄화수소(HC시간-온도곡선은 유류에 의한 화재를 가정한 것이며, ㉖의 RABT 시간-온도곡선은 독일의 도로터널 설비 및 운용에 관한 지침에 적용되고 있는 것으로 화재 발생 후 5분만에 1,200℃까지 온도가 급상승하여 60분간 지속된다. ㉗의 HCM은 탄화수소 시간-온도 곡선의 최고온도를 1280℃로 수정한 것이며 ㉘의 RWS(Rijkswaterstaat)는 터널 화재 시간-온도곡선으로서 45,000ℓ급 대형 탱크로리의 유류화재시를 상정한 것으로서 화재 발생 후 60분만에 최고온도가 1,350℃에 달하는 가장 엄격한 규정이다.⁽²⁾

2.1. 도로터널 설계화재에 대한 각국 기준 비교

각국의 터널화재에 관련된 안전지침을 국가기준으로 제정하고 운영하고 있는데 그 중 터널화재의 화재강도에 대하여 살펴보면 다음과 같다.

(1)미국

미국의 도로터널 기준은 PIARC 1995 보고서에 기초하고 있다. 이 기준에서 요구하고 있는 화재강도와 연기발생량은 Table 1과 같다.⁽³⁾

Table 1 Design fire strength of Vehicles ⁽³⁾

Vehicles	Gasoline pool size(m ²)	Heat rate (MW)	Smoke emissions (m ³ /s)	Peak temperature
승용차	2	5	20	400
Bus/Truck	8	20	60	700
가솔린탱커	30	100	100	1,000

(2)프랑스

프랑스 도로터널의 설계기준은 기본적으로 CETU 2002에 언급되어 있다. Table 2는 도로터널 설계 화재강도를 나타낸다. 이 기준의 사용은 교통량이 적은 터널, 도심터널로 사용된다. 또한 경제적으로 합리적인 설계를 위한 특수 규정을 제정해야 한다고 명시하고 있다.⁽⁴⁾

Table 2 Design fire strength of road tunnel in France ⁽⁴⁾

Freight(km/day&tube)	Fire capacity(MW)	Ventilation gas volume at 300℃(m ³ /s)
~4000	30	80
>4,000	50	120
>6,000	100	200

(3)한국

건설교통부 도로터널 방재설비 설치지침에서는 설계화재에 대한 규정을 제정하였다. 우리나라 도로터널 설계화재강도는 Table 3과 같다. 이 지침에서는 설계화재강도를 20MW로 하고, 또한 화재강도가 설계화재강도보다 증가할 것으로 예상하여 설계화재 강도를 높게 설정하고자 하는 경우에는 위험도분석을 수행하여 시행하도록 요구하고 있다.⁽²⁾

Table 3 Design fire strength of Road tunnel in Korea ⁽²⁾

Application vehicles	A passenger car	Bus	Truck	Freight
Fire strength[MW]	5	20	30	100
Smoke consumption(m ³ /s)	20	60~80	80	200

3. 국내 도로터널의 시간-화재곡선 설계제안모델

Table 4는 국내 고속도로와 국도의 차종별 구성비를 나타내고 있다. 이 결과를 보면 터널을 통과하는 차량의 평균혼입비율들을 예상할 수 있다. 고속도로에서는 버스와 화물차의 비율이 높고, 국도에서는 화물차의 구성비율이 높은 것을 보여준다. 이를 바탕으로 Fig. 2와 같이 화물차의 구성비율과 위험차량을 토대로 화재 설계곡선을 제안하여 보았다. 화물차의 실험결과를 토대로 5분안에 100MW의 최고 열방출율에 도달하고, 이후 정상상태를 120분 동안 유지하는 것으로 나타났다.

Table 4 The component ratio by Vehicle composition

Section	Express way		Section	Road	
	mileage (thousand·km)	Component ratio(%)		Distance covered (thousand·km)	Component ratio(%)
A passenger car	88,125	64.7	A passenger car	99,402	67.7
Bus	6,187	4.5	Bus	3,891	2.6
Freight	41,953	30.8	Freight	43,587	29.7
Total	136,265	100.0	Total	146,880	100.0

(출처 ; 건설교통부, 2006 도로 교통 통계 연보)

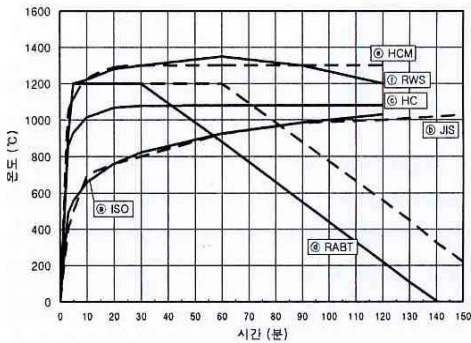


Fig. 1 Time-Temperature model

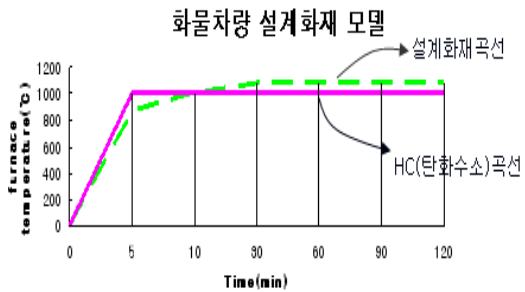


Fig. 2 Proposed time-temperature curve

4. 요약 및 결론

터널의 화재는 발생 후 약 5분만에 최고온도 부근까지 급격히 온도가 상승하며, 화재의 지속시간은 대부분 120분 이상으로 간주된다. 또한, 대형 트레일러 혹은 화물차의 경우 최고온도가 1,000°C를 넘어 화재물질에 따라 그 이상으로 도달 할 수 있다. 그러나, 현실적으로 터널에서 발생하는 화재의 규모를 정확히 산정해내기는 많은 어려움이 따른다. 이에 본 연구에서는 국내 도로의 통행량, 차량 종류 등을 고려한 열방출율, 최고온도도달시간, 지속시간 등을 기초로 HC(탄화수소)곡선이 가장 적합하다고 할 수 있다.

참 고 문 헌

1. 원종필, 박경훈, 김황희 김정훈, 이수진, 이시원, “시멘트 복합체의 내화성능 향상을 위한 폴리프로 필렌 섬유와의 형상과 혼입량 결정”, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, Vol.18 No.1, 2006
2. 최준석, 최병일, 이유환, 황낙순, “실물터널 화재실험을 통한 터널화재 위험도 평가”, 한국화재·소방 학회 제16권 제 3호, 2002
3. Anders Lönnemark, Haukur Ingason, "Gas Temperature in heavy goods vehicle fires in tunnels, Fire safety journal 40, 2005, 506-527
4. Richer, E., "Fire tests in tunnel with realistic fire loads." In Proceedings of the International Symposium on Underground Openings for public Use, 14-17 June, 2004