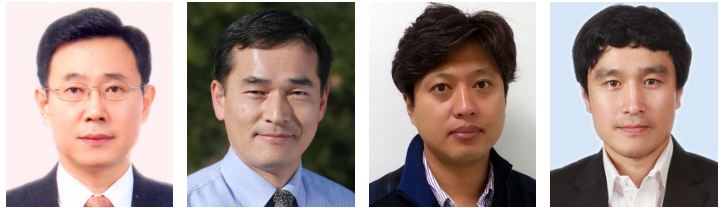


경부고속도로 지하차도 내화설계 기준 적용사례

- 경부고속도로 직선화공사 구간(동탄2 신도시) -



이 춘 주 | 한국도로공사 기술심사처 처장
 신 교 성 | 한국도로공사 기술심사처 팀장
 최 광 수 | 한국도로공사 기술심사처 과장
 박 철 우 | 강원대학교 사회기반시스템공학과 교수

1. 서론

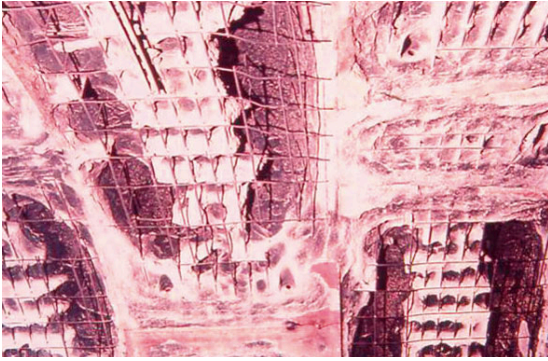
지난 수십 년간 지하도로 기술은 비약적으로 발전하였다. 2000년대 중·후반 A86(프랑스), 수도고속 중앙환상선(일본), M30(스페인), Big Dig(미국) 등 해외 주요 지하도로가 개통되었고, 국내에서는 서울시의 U-Smartway, 부산시의 만덕-센텀 지하도로 등의 지하도로 추진이 활발하게 진행되었으며, 일부 노선은 현재 민간투자사업으로 추진되고 있다.

도심지를 통과하는 지하도로는 포화된 간선도로망의 교통수요를 분산할 수 있고 노선 인근지역의 소음피해 등 환경피해를 최소화 할 수 있다. 또한 지상 공간 활용이 용이한 이점이 있으므로 수요는 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 특히 최근 개발되는 신도시는 계획단계에서 도심부를 관통하는 주요도로를 지하화하여 상부공간을 녹지로 활용하거나 상업지구로 활용하고 있다.

한편 지하도로의 수요증가와 더불어 위험물을 적재한 대형차량의 통행량도 급증하고 있는 추세로 화

표 1. 주요 지하도로 현황

노선명	개요	비고
거가대교 (침매터널구간)	L=3.7km/4차로/U-type+ Box-type	공용
세종지하차도	L=2.8km/6차로/U-type+ Box-type	공용
방화지하차도	L=3.5km/4차로/U-type+ Box-type	계획
서부간선지하도로	L=10.3km/4차로/U-type+ Box-type+NATM	계획
제물포터널	L=7.5km/4차로/U-type+ Box-type+NATM	계획
만덕센텀지하도로	L=8.9km/4차로/U-type+ Box-type+NATM	계획
경부고속도로 직선화공사	L=1.2km/10차로/Box-type	계획



(a) Channel Tunnel



(b) Mont-Blanc Tunnel



(c) Gotthard Tunnel



(d) 대구지하철 중앙로역

그림 1. 화재로 인한 구조물 손상 사례

재의 위험성 또한 증대되고 있다. 터널에서 화재가 발생하는 경우 폐쇄적인 공간 특성에 따른 다수의 인명피해 및 구조물 손상 복구에 따른 교통차단 등 많은 사회적비용 손실을 유발한다. 이러한 이유로 해외에서는 터널의 화재로부터 인명과 시설물을 보호하기 위해 다양한 연구가 진행되어 왔으며, 최근 유럽, 미국 등의 주요국가에서는 방재 및 내화 성능을 확보하기 위하여 설계기준을 보다 강화하고 있다.

지하도로는 국내에 일반적으로 적용된 산악지 NATM 터널과 달리 철근콘크리트 구조부재가 상부 토피하중을 지지하는 구조용 터널의 비율이 높다. 따라서 화재에 의한 콘크리트 폭발, 철근의 강도저하가 발생할 경우 구조물의 안정성에 직접적으로 영향을 미치므로 내화성능을 확보하기 위해 보다 적극적인 대책이 필요하나, 현행 국내 터널 및 지하도로는 제연(Smoke Control) 및 배연(Smoke Exhaust)

중심의 방재시스템 위주로 설계가 수행되고 있으며, 주요 구조부재에 대한 내화성능 확보를 위한 설계는 거의 시행되고 있지 않다.

본 고에서는 도로터널 내화설계와 관련한 국내·외 규정을 소개하고 현재 추진중인 동탄2신도시 경부고속도로 직선화구간 지하차도의 내화설계 기준개발 및 적용사례를 소개하고자 한다.

2. 국내·외 내화설계 관련 규정 소개

2.1 국내 규정

터널의 화재와 관련한 설계는 방재와 내화로 구분할 수 있다. 방재의 경우 화재 시나리오별 정량적인 위험도를 평가하고, 제연시스템 규모를 결정하기 위

하여 차량 종류에 따른 열방출률(HRR)¹⁾을 정의하고, 이에 상응하여 발생하는 연기량을 처리할 수 있는 제연시스템을 구축하도록 하고 있다. 반면 내화설계는 화재에 노출된 구조부재가 시간에 따른 온도 변화에 대하여 구조체의 안정성을 확보하도록 하는 것으로 화염원의 열방출률(HRR)에 따른 최대온도가 얼마나 지속되는가에 대한 고려가 필요하다.

국내의 각종 규정들을 살펴보면, 고강도 콘크리트 기둥, 보의 내화성능 관리기준(2008, 국토교통부)에서는 표준 시간온도 곡선과 한계온도를 제시하고 있으나, 빌딩 등 건축구조물에 적용되는 기준으로 도로터널에 적용하기에는 다소 무리가 있다. 기타 규정에서는 화재강도와 시간-온도 곡선에 관한 상관관계와 내화성능 확보를 위한 한계온도 개념 등은 제시되어 있지 않다.

표 2. 국내 터널화재 관련규정

규 정	연도	기 관
고강도 콘크리트 기둥, 보의 내화성능 관리기준	2008	국토교통부
도로터널 방재시설 설치 및 관리지침	2009	국토교통부
고속도로 터널환기 및 방재기준 개정	2012	한국도로공사
콘크리트구조기준	2012	국토교통부
도로터널의 화재안전기준	2013	소방방재청

콘크리트구조기준(2012)에서는 최소피복두께에 대한 기준을 적용함에 있어 장기간 화재에 노출된 특수한 환경 하에 있는 콘크리트 부재에 대하여 피복두께 증대 또는 적절한 내화대책을 강구하도록 규정하고 있으나 세부적인 절차와 방법에 대한 제시가 없어 실무에 적용하기에는 다소 어려움이 있다.

도로터널 방재시설 설치 및 관리지침(2009, 국토교통부)은 제연 및 방재 중심의 규정으로 설계화재강도 값은 해외 주요국가에서 적용하는 기준에 비해 상대적으로 낮은 수준의 값을 가지고 있다. 특히 도로의 기하구조, 교통특성, 위험물 수송차량 혼입정

도, 구조물의 중요도 등을 고려한 적정 화원규모를 산정할 수 있는 방법이 정립되어 있지 않다. 지침에 의하면 위험도 등을 고려하여 화재강도를 상향 조정할 수 있도록 규정하고 있음에도 실무에서는 지침에서 제시하는 최소값인 20MW를 적용하고, 그 이상의 화재강도를 적용한 사례는 거의 없다.

2.2 해외 규정

2.2.1 NFPA²⁾502 (2011, 미국)

NFPA 502는 도로터널을 연장에 따라 5가지로 분류하고 화재감지 장치 등 방재시설을 선택적으로 적용토록 하고 있다. 이는 국내의 도로터널 방재시설 설치 및 관리지침에서 제시하는 도로 연장에 따른 등급별 방재시설물 설치 규정과 유사하다. 그러나 내화설계 규정은 연장에 관계없이 모든 터널에 대하여 RWS 곡선을 적용하여 설계하도록 규정하고 있으며, 화재노출시간은 120분을 적용하도록 하고 있다. 또한 관할기관의 승인을 통하여 터널의 기하형상, 통행차량 종류, 교통통행 특성 등을 고려하여 시설물에 적합한 별도의 시간-온도 곡선을 적용할 수 있도록 하고 있다.

구조 부재를 보호하기 위한 세부규정으로 콘크리트 부재는 폭렬을 방지하도록 설계되어야 하고, 강재나 주철라이닝의 경우 300℃를 초과할 수 없도록 규정하고 있으며, 내화재료를 적용한 경우 콘크리트 표면온도는 380℃, 보강철근은 250℃(피복두께 25mm 가정 시)를 초과할 수 없도록 규정하고 있다.

NFPA 502(2011)에서는 이전 규정에 비해 보다 강화된 화재강도를 제안하였는데, EU의 UPTUN 프로젝트의 일환으로 노르웨이 Runehamar tunnel의 화재 실험시험에서 측정된 데이터를 기반으로 하여 HGV³⁾의 경우 약 70~200MW급 규모의 화재강도를 적용하도록 규정하였으며, 유조차의 경우 200~300MW급으로 상향조정 하였다.

1) HRR : Heat Release Rate, 단위시간당 방출되는 에너지로 단위는 MW를 사용함

2) National Fire Protection Association

3) Heavy Goods Vehicle

표 3. 차량 종류에 따른 화재강도 및 최대 화재강도 도달시간 (NFPA 502)

차량종류	화재강도 (MW)	최대 화재강도 도달시간(min)
승용차	5~10	0~30
승용차(2~4대)	10~20	13~55
버스	20~30	7~10
대형화물차	70~200	10~18
가솔린탱크	200~300	-

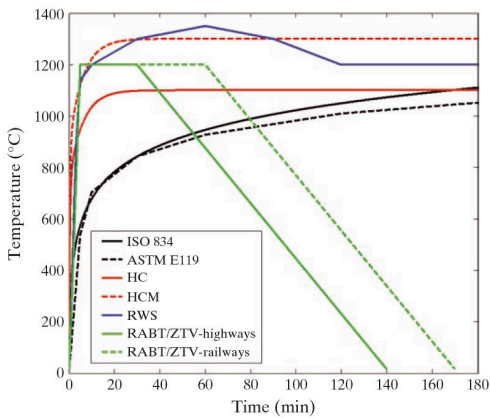


그림 2. 시간-온도 곡선 특성

2.2.2 PIARC - Fire and Smoke Control in Road Tunnels

PIARC⁴⁾의 Fire and Smoke Control in Road Tunnels 보고서에서는 노르웨이와 핀란드에서 수행한 EUREKA 화재실험을 통하여 측정된 2.5~30MW의 화재강도를 제안하였고, 가연성 물질 또는 위험물을 적재한 대형화물차의 경우 약 100~120MW 규모의 최대 열방출률(HRR)을 나타낸다고 하였다. 이때 발생하는 내부온도는 약 1,000℃까지 상승한다고 보고 하였다. 또한 유조차의 경우 일반적으로 터널 내부 온도 상승을 1,200℃ 정도로 제한하고 있으나, 침매터널 등 특수한 구조물이나 배수시스템이 갖춰져 있지 않는 구조물 등에서는 200~300MW 규모를 제안하

4) Permanent International Association of Road Congress, (현재 World Road Association)

였으며 약 1,400℃까지 온도가 상승하는 것을 고려 하도록 권장하고 있다.

표 4. 화원 종류별 최대온도(PIARC)

화원 차량 종류	온도(℃)
승용차	400
버스, 소형화물차	700
대형화물차(위험물 적재 않은 경우)	1,000
유조차(일반적인 경우)	1,200
유조차(극단적인 상황)	1,400

또한 내화설계 터널 형식에 따른 고려사항을 제시 하고 있는데, 화재에 의한 주요 구조부재의 국부적인 손상이 발생할 경우 인명피해를 발생시키는 정도, 보수보강의 용이성, 소요비용 등을 종합적으로 고려하도록 하고 있다. 예컨대, 침매터널의 경우 구조물의 국부적인 붕괴나 조인트부의 손상이 발생하면 침수로 이어지므로 다량의 인명피해를 야기하고 복구가 거의 불가능하다는 점에서 매우 높은 수준의 내화능능이 요구되어야 하며, 일반적으로 침매터널보다는 그 붕괴에 의한 위험도가 낮지만 연약지반에 설치되거나 지하수 유출이 심한 지역의 지중에 설치되는 터널의 경우 침매터널과 유사한 조건으로 내화에 대한 구조물의 안정성을 확보하도록 제시하고 있다.

2.2.3. ITA⁵⁾ - Guidelines for Structural Fire Resistance of Road Tunnels(2004)

ITA의 도로터널 내화설계 지침은 PIARC의 Fire and Smoke Control in Road Tunnels 보고서를 근간으로 수정된 설계기준을 제시하고 있다. 표 5를 참고하면 ITA 규정에서는 차량종류, 사고 차량의 대수, 터널 구조의 형식 및 보조시설물의 종류 등을 고려하여 시간-온도곡선의 적용을 제시하고 있다는 것을 알 수 있다.

NFPA 502와 같이 ITA 규정에서도 주요 부재에

5) International Tunnel Association

대한 한계온도를 규정하고 있는데 일반적인 강도의 콘크리트의 경우 380℃를 초과하는 경우 콘크리트 강도가 저하되고 폭렬이 발생할 수 있으며, 보강철근은 250℃ 초과 시 강도 저하가 발생한다고 하였다. 따라서 폭렬 등에 의한 강도저하 및 붕괴를 방지하기 위해 내화코팅 등의 대책을 마련하여야 한다고 규정하고 있다.

2.2.4 유럽 주요 국가의 규정

터널 화재에 대한 내화성을 확보하기 위해 유럽의 주요 국가에서는 내화설계 규정을 명시하고 있다.

네덜란드의 경우 화재 규모별 3단계의 화재시나리오를 구성하여 제시하고 있다. Small Size의 경우 소형승용차가 전소되는 것으로 6.1MW의 화재강도와 25분의 지속시간을 제시하고 있으며, 온도는 150℃ 이하로 제시하였고, Medium Size인 경우 임목을 적재한 HGV가 전소되는 조건으로 화재강도 100MW 온도는 800℃를 제시하고 있으며 적용 가능한 도로터널의 조건으로 도심지에 위치한 터널 또는 위험물 운반이 금지된 보조도로 등에 적용하도록 제시하였다. 최고 수준에 해당하는 Large Size는 50m³ 규모의 유조차가 전소되는 조건으로 300MW의 화재강도로 화재가 2시간 지속되는 것을 고려하

고, 이때 온도는 1,400℃를 제안하고 있으며, 위험물 수송이 가능한 터널에 해당된다.

프랑스는 터널 내공단면의 시설한계와 위험물 수송 차량 운행을 고려하여 화재강도를 설정하도록 하고 있다. 8~200MW 범위의 화재강도를 제시하고 있으며, 유조차의 화재지속시간은 60분을 제안하고 있다.

3. 경부고속도로 직선화공사 지하차도구간 내화설계기준 개발 사례

3.1 추진배경

경부고속도로 직선화공사는 동탄 제2신도시 개발 계획에 따라 기존 경부고속도로 동탄IC~동탄분기점 약 3.64km의 선형을 개량하는 사업이다.

대상구간은 연평균일교통량(AADT)이 약 16만대 이상으로 매우 높은 구간이며, 인근개발지역과의 연계성 등을 고려할 때 경부고속도로는 국내 고속도로 중에서도 가장 핵심적인 구간의 일부라고 할 수 있다.

경부고속도로 직선화공사 구간의 지하차도는 동탄 제2신도시 하부를 연장 1.2km, 왕복 10차로로 통과하도록 계획하였으며, 지하차도 하부에는 수서-평

표 5. 도로터널 내화설계 가이드라인(ITA)

Category	Number Vehicles Involved	Immersed Tunnel	Tunnel in Unstable Ground	Tunnel in Stable Ground	Cut & Cover	Air Ducts	Exit to Open	Exit to Other Tube	Shelters
1	1-2	ISO 60min.	ISO 60min.	(2)	(2)	ISO 60min.	ISO 30min.	ISO 60min.	ISO 60min.
1	> 3	ISO 60min.	ISO 60min.	(2)	(2)	ISO 60min.	ISO 30min.	ISO 60min.	ISO 60min.
2	1-2	RWS/HCInc 2 hrs.	RWS/HCInc 2 hrs.	(3)	(3)	ISO 2 hrs.	ISO 30min.	RWS/HCInc 2 hrs.	RWS/HCInc 2 hrs.
2	> 3	RWS/HCInc 3 hrs.	RWS/HCInc 3 hrs.	(3)	(3)	ISO 2 hrs.	ISO 30min.	RWS/HCInc 2 hrs.	RWS/HCInc 2 hrs.

- Category 1 : Cars only no HGV.
- Category 2 : HGV, Petrol Tanker and other flammable hazardous materials
- (2) ISO 60min를 대부분 적용
- (3) 중요도로망의 경우 RWS 120min 적용, 대부분 ISO 120min 적용

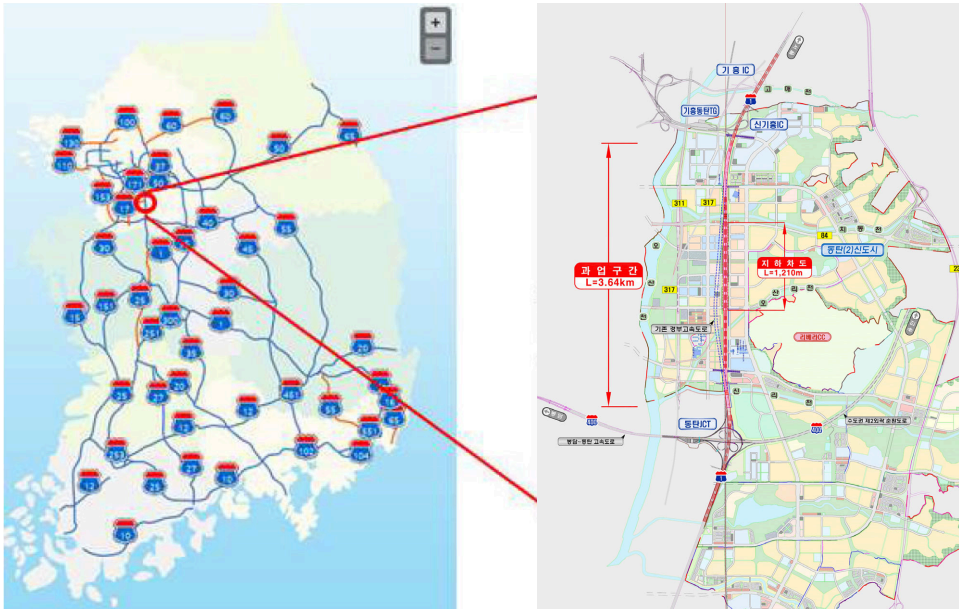


그림 3. 대상구간의 위치도

택간 고속철도 동탄역사가 위치할 예정이다.

그간의 고속도로 터널은 대부분 산악지역을 통과하는 NATM 터널로 인제터널과 같은 장대터널의 풍도슬래브 등 일부 부재에 내화공법이 적용된 사례가 있으나, 라이닝을 포함한 주요 구조부재 전반에 대한 내화설계가 적용된 사례는 거의 없다.

본 사업구간의 지하차도는 도심지를 통과하는 철근콘크리트 지하박스 구조물이라는 특성과 경부고속도로 구간 중에서도 그 중요도가 가장 높다는 점을 고려하여 화재 시에도 구조물의 안정성을 확보할 수 있도록 내화성능을 확보하는 방안을 검토하였다.

3.2 지하차도의 제원

한국도로공사에서는 2009년 개정된 도로터널 방재시설 설치 및 관리지침(국토교통부)을 보다 강화하여 고속도로 터널 환기 및 방재기준을 수립하였다. 동 지침에 따른 지하차도 구간의 터널 등급은 2 등급에 해당하나, 시설물의 중요도 등을 감안하여 1 등급에 준하여 설계하였다.

지하차도 단면은 총 폭원 53m의 철근콘크리트 개선행 아치구조로 계획되었으며, 혼합방식의 제연시스템을 구축하여 상시에는 자연환기 시스템을 적용하고, 화재 시에는 풍도슬래브의 덕트를 활용하여 집중배연 하는 형식을 적용하였다.

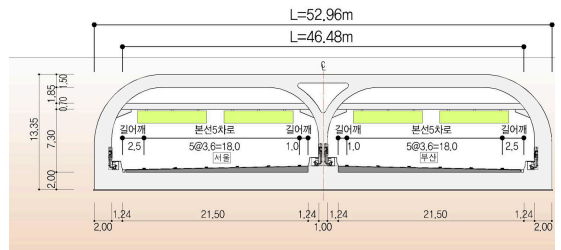


그림 4. 지하차도 단면 제원

3.3 화재 시뮬레이션 및 설계기준 제언

유럽 각국의 규정 등은 화재 실험 실험을 통하여 화재강도, 시간-온도 곡선 등을 제시하고 있으나, 실험 실험에는 많은 비용이 소요되고 연구가 필요하다. 따라서 본 과업에서는 다양한 화재조건을 고려한 화

재 시뮬레이션을 통하여 화재강도 및 시간-온도 곡선을 산출하고 해외규정 등을 참고하여 타당성을 검증하는 방법을 채택하였다.

3.3.1 화재 시뮬레이션

수치해석의 단순화를 위하여 단면형상은 화원의 영향을 직접적으로 받는 풍도슬래브 하부 공간으로 한정하였고 화재로부터 온도 영향을 받지 않는 길이를 고려하여 초기모델은 45m로 가정하였다.

화재 시뮬레이션은 다양한 조건을 고려하기 위하여 화재사고 차량의 크기, 화재사고 연계 차량 대수, 화재해석 대상 공간의 크기 및 화재 연소물질의 종류 등을 변수로 하여 해석을 수행하였다.

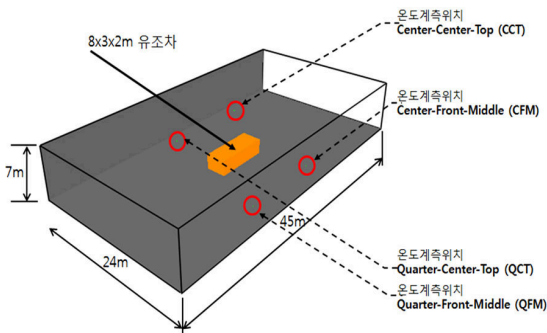


그림 5. 화재 수치해석을 위한 모델링

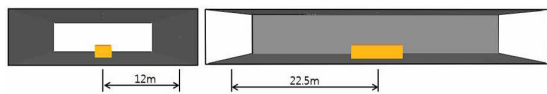


그림 6. 화재 차량의 위치

- 화재사고 차량 크기
탱크로리 5,000/7,500/10,000 및 27,000L
- 화재사고 연계 차량 대수
27,000 liter 1, 2, 3대
- 화재 해석 대상 공간의 크기
터널길이 45m, 90m
- 화재 연소물질의 종류
Decane(C₁₀H₂₂) 및 Octane (C₈H₁₈)

3.3.2 해석결과 및 분석

화재사고 차량 크기에 따른 해석결과는 표 6과 같다. 5,000L 용량의 탱크로리 화재 시 최대 화재강도는 약 130MW, 27,000L 규모의 탱크로리 화재 시 약 220MW로 예측되었다.

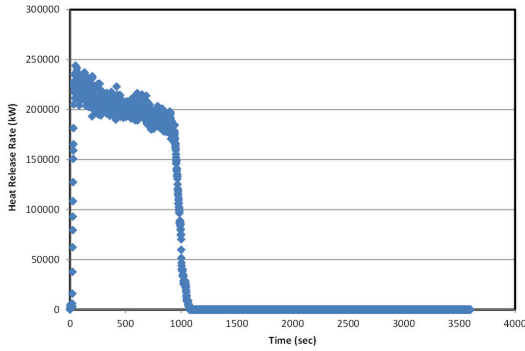
5000L~10,000L 용량까지는 용량이 증가함에 따라 화재강도는 130MW~210MW로 급격히 증가하였으나 10,000L~27,000L는 약 210~220MW 규모로 수렴하는 것으로 나타났다. 구조물 내부의 온도는 용량이 증가함에 따라 미세하게 증가하기는 하였으나 특별히 고려할 만한 수준은 아니었으며 약 1,200℃ 정도에 수렴하는 것을 알 수 있었다. 다만 용량이 증가함에 따라 화재 지속시간은 증가하였다.

표 6. 차량크기에 따른 화재강도 및 최대온도

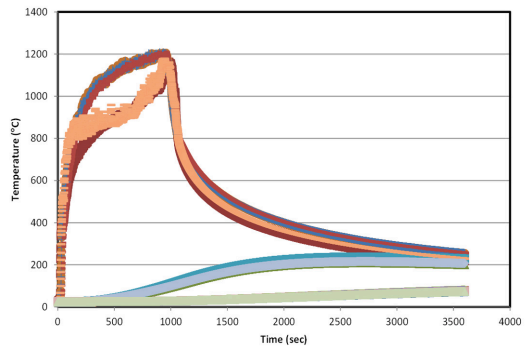
구 분 (L)	화재강도 (MW)	최대온도 (℃)
5,000	130	1,150 ~ 1,250
7,500	150	
10,000	210	
27,000	220	

화재사고 연계 차량대수를 변수로 하여 해석한 결과, 최대 화재강도는 약 200~220MW로 예측되었으며 대수 증가의 영향은 미미한 것으로 나타났다. 그러나 차량 크기에 따른 해석결과와 동일하게 화재 지속시간은 증가되었다. 이는 본 과업구간의 공간 특성에서는 적정수준 이상의 차량대수 증가나 용량 증가가 화재강도 증가에 미치는 영향은 미미하다는 것을 의미한다.

해석의 경계조건 중 대상공간의 크기에 따른 민감도를 확인하기 위해 대상구간의 연장을 45m에서 90m로 증가시켜 10,000L 용량으로 해석한 결과, 최대 화재강도는 연장 45m인 경우와 거의 유사한 약 210MW로 예측되었다. 따라서 과업에서 적용한 45m의 해석모델은 적용의 문제점은 없는 것으로 확인되었다.



(a) 화재강도(kW)



(b) 최대온도(°C)

그림 7. 27,000L 유조차 화재 시 예상되는 화재강도 및 최대온도

연소물질의 종류 변화에 따른 화재강도 변화를 확인하기 위해 연소물질에 따른 해석을 시행하였다. 상기 해석에서 적용된 연료는 일반적인 가솔린 종류인 Octane(C_8H_{18})으로 연소열은 44.56MJ/kg이며, 비교 해석을 위해 적용하는 Decane($C_{10}H_{22}$)은 연소열이 55.5MJ/kg으로 Octane에 비해 연소열이 약 24% 증가된다. 해석결과 5,000L~7,500L까지는 화재강도가 약 10~30MW가 증가된 140~180MW 규모의 화재강도를 나타내었으나, 10,000L, 27,000L 용량의 경우 최대 화재강도는 약 220MW 수준으로 주어진 단면 내에서는 더 이상 증가가 없는 것으로 분석되었다.

3.3.3 설계기준 제언

이상의 해석결과를 종합할 때, 본 과업의 대상구간인 경부고속도로 지하차도의 주어진 단면조건 하에서 여러 가지 경우의 위험물 종류와 용량에 대하여 발생할 수 있는 화재강도는 약 220MW로 예측되었으며, 이때 발생하는 최대 온도는 약 1,200°C 정도임을 알 수 있었다.

상기 해석결과는 미국과 유럽의 주요국가에서 제시하는 설계화재강도 및 최대온도와도 유사한 수준임을 알 수 있었다. 따라서 국내·외 내화설계 관련규정 등을 종합적으로 고려할 때 200MW의 설계화재강도와 1,200°C 최대온도를 적용하도록 제시하였다.

한계온도 기준은 해외규정에서 제시하는 값들이 유사하므로 NFPA 502, ITA 규정 등을 참고하여 직접적으로 가열되는 경우 콘크리트 단면에는 폭발이 발생되지 않도록 하고, 적극적인 내화대책을 강구하여 콘크리트 표면온도는 380°C, 보강철근의 온도는 250°C 이하가 되도록 제시하였다.

특히 동 구간의 경우 경부고속도로의 핵심구간이므로 화재로 인하여 구조물 본체가 손상되는 경우 복구에 따른 교통통제로 발생하는 사회적 손실비용이 막대할 것으로 예상된다. 따라서 보수보강의 편의성 및 신속성, 그리고 터널 청소 등 일상의 유지관리 조건 등을 종합적으로 고려하여 내화보드 또는 내화스프레이 등의 별도의 내화대책을 수립하도록 제시하였다.

표 7. 지하차도 구간 내화설계 기준(안)

구분	적용값
화재강도	200MW
최대온도	1,200°C
지속시간	120분
한계온도	콘크리트 : 380°C 보강철근 : 250°C

4. 맺음말

최근 정부 및 지자체 등의 도로정책은 도심지 구간의 지하공간을 적극적으로 활용하는 방향으로 추진되고 있으므로 향후 장대지하도로 및 터널의 수요는 지속적으로 증가할 것이며 이와 더불어 위험물 수송차량 이용률 역시 증가할 것으로 예상된다.

그러나 현재 국내 도로터널 내화설계 관련규정은 미흡한 상황으로 터널의 방재 및 내화설계 기준을 강화하고 있는 세계적 추세와는 다소 차이가 있다.

특히 경부고속도로 직선화공사 지하차도 구간내화설계 기준개발을 위한 연구결과에서도 알 수 있듯 국내에서도 보다 강화된 내화설계 기준을 수립할 필요가 있다. 최근 일련의 국가적 재난발생에 따라 재난과 안전에 대한 국민의 눈높이가 높아진 만큼 내화설계 기준개발을 위한 조속한 사회적 논의가 필요한 시점이라 판단된다.

향후 내화설계를 위한 기준 등을 개발할 때에는 고속도로, 대심도 지하도로 및 도심지 통과구간 지하차도의 특성 등을 면밀히 분석하여 대상시설물의 단면제원, 기하구조, 교통량 및 위험차량 혼입률 등을 정량적으로 고려할 수 있는 화재위험도 분석 알고리즘 개발에 대한 보다 심도있는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

특히, 대상시설물에 적합한 화재강도 및 화재에 따른 시간-온도 곡선 등 설계에 적용되는 명시적인 가이드라인을 제시하여 실무적용성을 보다 향상시킬 수 있도록 하는 것이 필요하다.

참고문헌

1. 한국도로공사 (2015), “경부고속도로 직선화공사 지하차도 내화설계 기준개발 연구용역 최종보고서”.
2. 국토교통부 (2009), “도로터널 방재시설 설치 및 관리 지침”.
3. 국토교통부 고시 제2012-625호 (2012), “내화구조의 인정 및 관리기준”.
4. 국토교통부 (2008), “고강도 콘크리트 기둥, 보의 내화성능 관리기준”.
5. 한국도로공사 (2009), “터널 내화설계 기준(안)”.
6. 한국도로공사 (2012), “고속도로 터널환기 및 방재기준 개정”.
7. 한국도로공사 (2011), “장대 지하도로 설계와 시공”.
8. 심재원, 김낙영, 유병옥, 박영호 (2011), “콘크리트 터널 및 지하구조물의 화재 피해사례 및 손상평가”, 한국콘크리트학회지 제23권, 제3호.
9. Fathi Tarada (2011), “Fires in tunnels can the risks be designed out?”, Eurotransport magazine Vol 9.
10. National Fire Protection Association (NFPA) 502 (2011), “Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways”.
11. Chrysanthos Maraveas (2014), “Design of Concrete Tunnel Linings for Fire Safety”, Structural Engineering International.
12. European Thematic Network FIT-Fire in Tunnels (2005), “Fire Safe Design-Road Tunnels”, Fire in tunnels technical Report Part 2.
13. World Road Association(PIARC) (1999), “Fire And Smoke Control In Road Tunnels”.
14. International Tunnel Association(ITA) (2004), “Guidelines For Structural Fire Resistance for Road Tunnels”.