

터널 화재시나리오에 따른 콘크리트 PC패널라이닝의 열적손상에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Thermal Damage under Tunnel Fire Scenario to Concrete PC Pannel Lining

김흥열* 박경훈** 김형준***
Kim, Heung Youl Park, Kyung Hun Kim, Hyung Jun

ABSTRACT

In tunnel, though the frequency of fire occurrence is relatively lower than other structures, the characteristics of sealed space tends to cause the temperature to rapidly rise to more than 1000°C within 5 minutes after fire, which might eventually lead to a large fire that usually results in a loss of lives and the damage to the properties, not to mention a huge cost necessary for repair and maintenance after fire. Referring to foreign tunnel fire scenarios, it clarified the heat transfer characteristics of concrete PC panel lining depending on fire intensity (ISO, MHC, RWS), and to identify the range of thermal damage, the evaluation was carried out using ITA standard. As a result, 39mm under ISO fire condition, 50mm under MHC and 100mm under RWS were measured. And when it comes to spalling, 30mm was measured under RWS. When PC panel was designed to serve the support, a fire resistance to the minimum depth of 100mm of the concrete that might be damaged under the fire shall be maintained, and in case of a non-support structure, PC lining shall have at least 100mm thickness.

요 약

터널의 경우 타구조물에 비해 화재빈도가 상대적으로 높지는 않으나, 밀폐된 공간이라는 특성상 5분 이내 1000도 이상으로 급격한 온도상승이 발생할 수 있으므로, 화재발생시 대형인명피해 및 화재 후 막대한 보수/보강비용이 과생된다. 이에 본 연구에서는 선진외국의 터널화재 시나리오를 준용하여 화재강도(ISO, MHC, RWS)에 따른 콘크리트 PC패널라이닝의 내부 전열특성 규명하였으며, 열손상 범위를 도출하기 위해서 ITA 기준을 적용하여 평가하였다. 연구결과 ISO화재조건에서는 30mm, MHC에서는 50mm, RWS에서는 100mm의 화재손상범위가 도출되었으며, 폭렬깊이는 RWS에서 30mm가 발생하는 것으로 나타났다. PC패널이 지보재의 역할을 할 경우엔 최소100mm깊이의 콘크리트 화재손상범위에 대한 내화성능확보방안이 적용되어야 하며, 비 지보재일 경우 PC패널라이닝의 두께를 100mm이상 확보하여야 한다.

* 정회원, 한국건설기술연구원, 화재및설비연구센터, 선임연구원
** 정회원, 한국건설기술연구원, 화재및설비연구센터, 연구원
*** 정회원, (주)종합건축사사무소 광일건축, 기술연구소, 연구원

1. 서 론

우리나라의 경우 산지가 국토의 70%를 차지하고 있으며 도로선형을 직선화하고 절개지를 최소화하는 등 환경 친화적인 터널의 건설이 증가하고 있다. 이러한 터널의 증가는 최근 더 현격한 증가추세를 보이고 있다. 국토해양부에 따르면 2007년 말을 기준으로 전국 터널은 132개가 증가하여 1064개소(연장 754km)인 것으로 조사되었다. 이와 같이 터널개소가 증가하고 터널연장이 길어짐에 따라 터널내의 사고 및 화재로 인해 대형인명피해 및 막대한 보수·보강 비용이 발생할수 있는 가능성이 높아지고 있는 실정이다. 특히 터널의 구조적 특성상 타 구조물에 비해 화재의 빈도가 높지는 않지만, 밀폐된 공간이라는 특성상 5분내 1000℃이상으로 온도가 급상승할 수 있으며, 소화 및 구조활동이 곤란하여 화재 발생 시 인명 및 구조물의 피해가 극대화될 수 있는 가능성이 상존하고 있다. 이에 본 연구에서는 다양한 터널화재조건(120분)에서의 콘크리트 구조물의 손상범위를 제공하여, 터널 설계시 사전에 방지할 수 있는 기술자료를 제공하여 터널화재안전을 위한 초석을 마련하고자 한다.

2. 연구범위 및 사용재료

2.1 실험대상

본 연구의 대상이 되는 콘크리트 PC패널 라이닝은 현재 국내에서 적용되는 NATM공법의 현장타설 라이닝을 대체하는 공장생산형 PC패널 라이닝으로 선정하였으며, 이에 대한 화재영향성평가를 수행하여 화재손상범위를 도출하였다.

2.2 사용재료

콘크리트의 시공연도를 고려하여 당해 PC패널 시편의 물/시멘트비를 조정하여 40MPa 강도로 배합설계를 실시하여 연구를 진행하였다. 재료실험에 사용한 시멘트는 KS L 5201 포틀랜드 시멘트 규정에 적합한 국내산 조강 포틀랜드 시멘트 3종을 사용하였으며, 그에 따른 사용골재특성은 <표 1>과 같으며, 배합설계 및 재료실험결과는 <표 2>와 <표 3>과 같다.

표1. 사용골재 재료적 특성

구분	단위용적질량 (t/cm ³)	표견밀도 (g/cm ³)	흡수율 (%)	0.08mm체 통과량(%)	안정성(%) Na ₂ SO ₄	조립율 (%)	염화물 (%)	경량편 (%)	
잔 골재	1.57	2.58	1.62	1.9	4.1	2.89	0.01	0.1	
구분	단위용적질량 (t/cm ³)	표견밀도 (g/cm ³)	흡수율 (%)	0.08mm체 통과량(%)	안정성(%) Na ₂ SO ₄	조립율 (%)	실적률 (%)	마모율 (%)	압축강도 (MPa)
굵은골재	1.56	2.62	0.65	0.2	4.7	6.59	59.7	23.0	181

표2. PC패널라이닝 배합설계

물시멘트비 W/C (%)	조 골재율 (s/a)	증량배합 (kg/m ³)					
		시 멘 트	천연 잔골재	굵은골재 (19mm)	단위수량	AE감수제 (시멘트1.6%)	총질량
39.4	39.2	405.7	676.5	1066.1	159.8	6.5	2308.2

표3. PC패널라이닝 재료실험결과

배합표	슬럼프(cm)			배합표	공기량(%)			압축 강도(MPa)				염화물량 (kg/m ³)
	측정				측정			1회	2회	3회	평균	
	1	2	평균		1	2	평균					
8	5	5.5	5.3	4	4	4.1	4.1	41.3	41.6	40.5	41.1	0.021

3. 결과 및 고찰

3.1 실험결과 분석조건

터널에서의 화재는 밀폐된 공간이기 때문에 화재온도의 상승률이 높다는 특성과 화재 시 터널 안의 차량정체 등으로 화재시 진압이 어렵다는 특성이 있다. 이에 ITA(International Tunneling Association)에서는 화재로 인해 인명피해와 구조물의 붕괴로 인한 재정적인 영향 등을 고려하여 구조물을 화재로부터 보호하기 위하여 화재 열 방출 및 화재 시간에 따른 도로터널 기준(콘크리트 구조체 한계온도 380℃)을 제시하였으므로 본 연구에서는 이 기준을 준용하여 화재손상범위를 도출하였다.

3.2 실험결과

3.2.1 화재시나리오에 따른 실물실험결과

터널화재강도(ISO,MHC,RWS)에 따른 다양한 화재조건에서 PC패널라이닝의 전열 특성을 분석한 결과 온도는 가열 면으로부터의 깊이에 따라 순차적으로 증가 하였으며, 가열면 깊이 5~20mm부위에서 가열초기인 10~20분 사이에 급격한 온도 상승이 <그림 1~4>와 같이 발생하였다. 가열시에 관측장에서 측정된 폭발발생시점과 거의 유사하였으며, 온도분포에 의해 분석한 결과 이 시점에서 콘크리트 폭발현상이 발생한 것으로 판단된다. 가열면 깊이 100mm이상에서는 노내 온도에 거의 영향을 받지 않았으며, 가장 급격한 온도상승이 발생하는 화재곡선은 RWS로 분석되었다.

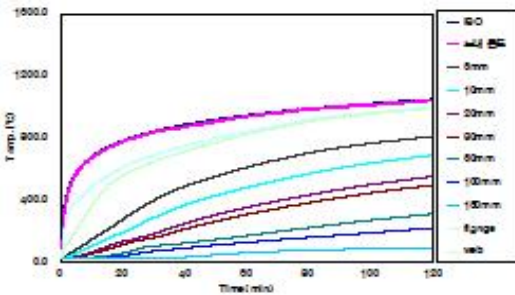


그림1. PC패널라이닝 전열특성(ISO)

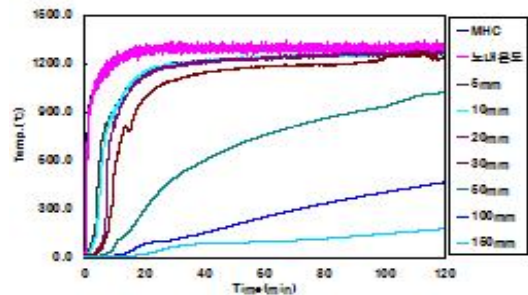


그림2. PC패널라이닝 전열특성(MHC)

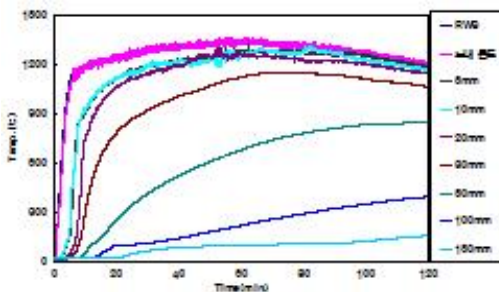


그림3. PC패널라이닝 전열특성(RWS)



그림4. PC패널라이닝 화재손상 실험결과(RWS)

3.2.2 PC패널라이닝 화재손상범위 도출

ITA지침의 콘크리트 한계온도를 기준으로 화재강도(시나리오)에 따른 PC패널 라이닝의 화재손상깊

이를 <표 1>과 같이 도출하였으며, 화재조건에 따라 PC패널 라이닝의 화재손상범위를 분석한 결과 RWS 화재조건에서 가장 광범위한 화재손상범위가 도출되었다. 그러므로 터널 지반조건이 불안전하거나 통행량이 많은 도로터널의 경우엔 최대 100mm이상의 화재손상범위를 고려하여 터널 하중을 분담하는 구조체에의 열전달을 제어할 수 있는 내화성능확보방안을 적용해야 할 것으로 판단된다.

표 1. 화재조건별 콘크리트 라이닝의 화재손상범위 분석결과(ITA, 380℃)

PC패널	화재조건 (2시간)	폭렬깊이 (mm)	화재손상부위 (380℃,mm)
40MPA D-200mm	ISO	10	0~30
	Modified Hydrocarbon	30	0~50
	RWS	30	0~100

4. 결 론

터널화재시나리오에 따른 화재강도별 PC패널라이닝의 화재손상범위를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) ISO 화재조건에 노출된 PC패널라이닝의 화재손상(폭렬)정도는 10mm로 도출되었다. ITA기준으로 화재손상부위를 분석한 결과 화염노출표면에서 30mm가 초과하였다.
- 2) MHC 화재조건에 노출된 PC패널라이닝의 화재손상(폭렬)정도는 30mm로 도출되었다. ITA기준으로 화재손상부위를 분석한 결과 화염노출표면에서 50mm가 초과하는 것으로 나타났다.
- 3) RWS 화재조건에 노출된 PC패널라이닝의 화재손상(폭렬)정도는 30mm로 도출되었다. ITA기준으로 화재손상부위를 분석한 결과 화염노출표면에서 100mm가 초과하는 것으로 나타났으며, 모든 터널화재시나리오 중 가장 화재손상범위가 높은 것으로 분석되었다.

그러므로, 터널화재에 대한 PC패널라이닝의 경우 지보재의 역할을 하는 구조체의 경우엔 최대 100mm깊이의 콘크리트 화재손상범위에 대한 내화성능확보방안이 적용되어야 하며, 비 지보재일 경우 PC패널라이닝의 두께를 100mm이상 확보하여야 화재안전이 확보될 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 국가 R&D과제인 “산학연 C03-03과제”와 관련하여 국토해양부와 한국건설교통기술평가원의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김홍열. “고온가열시 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적연구” 대한건축학회논문집, 2002.
2. 김형준, 한상훈, 최승관, “화재시 콘크리트요소 폭렬영향성 고찰”, 화재소방학회 논문지, 2007.
3. A,Leithner, "The Fire catastrophe in the tauern tunnel : Experience and conclusions for the Austrian guidelines ", Tunnelling and Underground Space Technology 16 217-223, 2001.
4. Anderberg Y., "Spalling phenomena of HPC and OC", NIST Workshop on Fire Performance of High Strength Concrete in Gaithersburg, 1997.
5. Hertz K.D., "Limits of spalling of fire-exposed concrete", Fire Safety Journal pp103-116, 2003.
6. Jumpannen U.M., "Effect of strength on fire behaviour of concrete", Nordic Concrete Research, 1989.