

터널의 내화성능 향상 및 내화모르타르 현장적용을 위한 기초 연구

Fundamental Study on Improvement of Fire-Resistance and Field Application of Refractory Mortar of Tunnel Structures

김민정* 김동진** 이상호***

Kim, Min Jeong Kim, Dong Jin Lee, Sang Ho

ABSTRACT

Tunnel structures are constructed even longer and more extensive these days than they were in the past. Because of this reason, breaking out a large scale of fire in tunnel structures is frequently. Recently, a noticeable event is reported that the temperature of inside of tunnel rises significantly when an oil car detonated in the tunnel and it reached 1,350°C. It did damage to people who used the tunnel at that time and caused many damaged parts of tunnel to recover. To improve a fire resistance of tunnel, many methods are studied focused refractory concrete and mortar. This study deals with refractory mortar and is a part of initial basic step. In this study mechanical properties are considered before fire resistance test. As result of test for examination of mechanical properties, it is considered that a consistency and strength of refractory mortar in this study are suitable to construct.

요약

터널이 장대화됨에 따라 국내외 대규모 터널 화재 발생 빈도가 점차 증가하고 있다. 최근 터널 내 유조차의 폭발로 터널 내부의 최고 온도가 1,350°C까지 상승한 것이 보고된 바 있고 이로 인해 인명 피해 뿐 아니라 심각한 구조적 손상을 입기도 하였다. 이에 내화콘크리트 및 내화모르타르를 사용하여 터널의 대규모 화재 시 콘크리트 구조물의 내화성능을 향상시키기 위한 연구가 진행되고 있다. 본 연구는 내화모르타르를 사용함으로써 터널의 내화성능 향상을 도모하고 이를 현장에서 적용하기 위한 기초연구로서, 현 연구단계에서는 내화시험에 앞서 강도 시험 및 작업성 시험 등 기본적 물성시험을 실시하여 내화모르타르의 기초적인 역학 특성을 고찰하였다. 시험결과를 통하여 내화모르타르의 기본적인 역학 특성을 파악하였으며 또한 굳지 않은 모르타르의 Flow시험을 실시함으로써 현장 적용성 및 양호한 작업성을 확인하였다.

* 정회원, 대림산업(주), 기술연구소, 주임연구원
** 정회원, 대림산업(주), 기술연구소, 주임연구원
*** 정회원, 대림산업(주), 기술연구소, 책임연구원

1. 서론

수송량이 증대되고 터널이 장대화됨에 따라 국내의 대규모 터널 화재 발생 빈도는 점차 증가하는 추세이다. 최근 터널 내 유조차의 폭발로 터널 내부의 최고 온도가 1,350℃까지 상승한 것이 보고된 바 있고 이로 인해 인명피해 뿐 아니라 심각한 구조적 손상이 발생하기도 하였다. 이에 국내외에서는 터널구조물의 내화성능을 향상시키기 위한 다양한 방안이 모색되고 있으며 그 중 내화모르타르를 사용한 방법에 대하여 활발한 연구가 진행되고 있다. 내화모르타르를 사용할 경우 콘크리트 라이닝 표면에 내화모르타르를 분사함으로써 저비용으로 고효율의 내화성능을 확보할 수 있다.

본 연구는 내화모르타르를 사용함으로써 터널의 내화성능 향상을 도모하고 이를 현장에서 적용하기 위한 기초연구로서, 현 연구단계에서는 내화시험에 앞서 강도 시험 및 작업성 판단을 위한 Flow시험 등 기본적 물성시험을 실시하여 내화모르타르의 기초적인 역학 특성을 고찰하고자 한다.

2. 국내외 터널 화재 발생 사례 및 내화설계 현황

2.1 국내외 터널 화재 발생 사례

터널은 지하공간이라는 폐쇄적 구조상의 특징으로 화재 시 터널 라이닝콘크리트 면의 온도는 단시간에 1,000℃ 이상까지 급상승하게 되며 그 후 시간이 경과함에 따라 서서히 온도가 하강하는 특성을 보인다. (최 옥, 2006) 고온에 노출됨으로써 라이닝 콘크리트가 손상을 입게 되면 터널 안전은 심각한 영향을 받게 되는데 표 1은 대표적인 국내외 터널의 이러한 화재 발생 사례를 정리한 것이다.

표 1 대표적인 국내외 터널의 화재 발생 사례

터널명	장소	연장(m)	발생년도	차종·적재재료	원인	사상자	피해차량	구조체 및 설비피해
Caldecott	미국	1,028	1982	승용차 1대, 33,000 L 적재트럭	추돌	사상7/사망2	트럭 3대, 버스 1대, 승용차 4대	천장 및 부손상 100MW급 대규모화재
Isola delle Femmin	이탈리아	148	1996	액화가스적재트럭, 소형버스	추돌	사상20/사망5	탱커 1대, 버스 1대, 승용차 18대	2.5일간 터널 폐쇄
영·불 해협터널	영국-프랑스	50,000	1996	대형화물트럭	화물 발화	사상6/사망0	화물차 1대, 운반차 1대	터널연장 2km간 라이닝 콘크리트 박리
Mont-blanc	프랑스-이탈리아	11,600	1999	소백분, 마가린 적재트럭	엔진오일누출	사상39/사망0	트럭 23대, 승용차 10대	900m 천장손상, 철근노출
Tauern	오스트리아	6,401	1999	행키 탑재트럭	추돌	사상59/사망12	트럭 16대, 승용차 24대	2차 라이닝 콘크리트의 대량박락
Gotthard	스위스	16,900	2001	타이어 탑재트럭	추돌	사상20/사망0	트럭 15대, 승용차 2대	250m 구간 천장부 콘크리트 붕괴
홍지문 터널	한국	1,890	2003	25인승 미니버스, 승용차	추돌	사상48/사망0	승용차 2대	전력공급차단
달성2터널	한국	1,300	2005	미사일추진체 탑재트럭	화물 발화	사상0/사망0	트럭 2대, 승용차 24대	콘크리트 슬래브바닥, 라이닝 콘크리트 손상

2.2 터널 구조물의 내화설계 현황

국외에서는 이미 터널 대형 화재의 위험성을 감지하고 내화성능 향상에 많은 관심을 쏟고 있다. 유럽의 경우 터널 라이닝콘크리트 내화 처리를 고품질화하고 UPTUN (Upgrade Tunnel) European을 통한 터널 안전 규제를 추진하고 있다. 또한 일본과 미국의 경우 관련 법률을 통해 위험물 규정 및 위험물 적재차량 터널 통행을 엄격히 규제하고 있다. 국내의 터널 내화 설계는 그 적용 사례가 많지 않으나 최근 내화설계에 대한 관심과 중요성에 대한 인식이 증대되고 있어 이와 관련한 많은 연구가 진행 중이며 관계기관을 통한 내화기준 제정 및 적용이 검토 중에 있다.

터널의 내화성능 향상을 위하여 구조물 자체의 내화성능을 증가시키거나 구조물 표면에 코팅재료를 적용하여 열전달을 지연시키는 방법 등의 다양한 접근이 시도되고 있는데, 그 중 내화용 뿔칠재료로 2차 라이닝을 실시하는 방법은 국내외에서 가장 널리 실시되는 것으로 (ITA, 2004) 본 연구에서는 내화용 뿔칠재료로서 내화모르타르를 사용하여 터널 구조물의 내화성능 향상을 검토하고자 하였다.

3. 배합설계 및 시험계획

국내 A사 및 국외 B사의 내화모르타르, 물성 비교를 위한 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용한 슛크리트 배합이 실시되었다. 혼화제를 사용하여 국외 B사 내화모르타르 배합을 1과 2로 나누어 배합비를 도출하였으며 배합설계는 표2와 같다.

굳지 않은 콘크리트의 물성시험으로는 Flow시험이 실시되었으며 KS규격에 따라 시험체의 압축강도, 쪼갬인장강도, 휨강도 시험이 실시되었다. 압축강도시험은 1일, 7일, 28일, 쪼갬인장강도시험과 휨강도시험은 각각 28일 재령에서의 강도를 측정하였다..

표 2 배합설계

구 분	단위중량 (kg/m ³)					AD(kg)	AFA	
	W/C (%)	S/a (%)	W	내화모르타르				G
내화모르타르 (A사)	-	100	320	1667		0	0	
내화모르타르 (B사_1)		100	278	870			20.01kg	
내화모르타르 (B사_2)		100	218	870			20.01kg	
슛크리트 (1종)	45.1	60	203	C: 450	S:978	667	3.15	7975ml

4. 시험결과

굳지 않은 콘크리트의 물성시험으로는 Flow시험 (그림 1)을 실시하였으며 그 결과 내화 모르타르 시험체의 Flow는 타격 전 156, 147mm, 타격 후 290, 300mm로 본 연구에서 제시한 내화모르타르 배합의 현장 적용성 및 작업성이 적합함을 확인하였다.



그림 1 Flow 시험

각 배합에 따른 내화모르타르의 재령 1일 압축강도는 10.1~12.5MPa로 내화모르타르의 재령 1일 압축강도는 모두 10MPa를 상회하였고 7일 압축강도는 22.9~23.5MPa로 모든 내화모르타르 배합에서 22MPa 이상을

나타내었다. 재령 28일 압축강도는 30.6~32.5MPa로 모든 내화모르타르 배합에서 30MPa를 상회하였다.

재령 28일에서의 조깅인장강도와 휨강도는 모든 내화모르타르 배합에서 각각 3MPa 및 9MPa 이상을 나타내었으며 이는 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용한 숏크리트 조깅인장강도 및 휨강도와 약 10% 차이를 보이는 값으로 압축강도 발현 대비 매우 우수한 성능을 보인 것으로 판단된다.

일반적으로 도로터널의 경우 약 25Pa, 철도터널에서는 약 600Pa 정도의 표면 압력을 가지고 있는 것으로 알려져 있으며 이러한 표면 압력은 다양한 변수로 인해 크게 증가될 수 있으므로 최소한 상기의 압력에 견딜 수 있는 역학적 특성을 보유하는 것이 내구적으로 유리하다. (ITA, 2004) 또한 본 연구에서의 강도 시험결과는 터널 내화 성능향상을 목적으로 적용되고 있는 시멘트계 상용제품들과 비교하였을 때 매우 우수한 역학적 성능을 발휘하였음을 확인하였다.

재령 28일 시험체의 강도시험 결과는 그림 2와 같다.

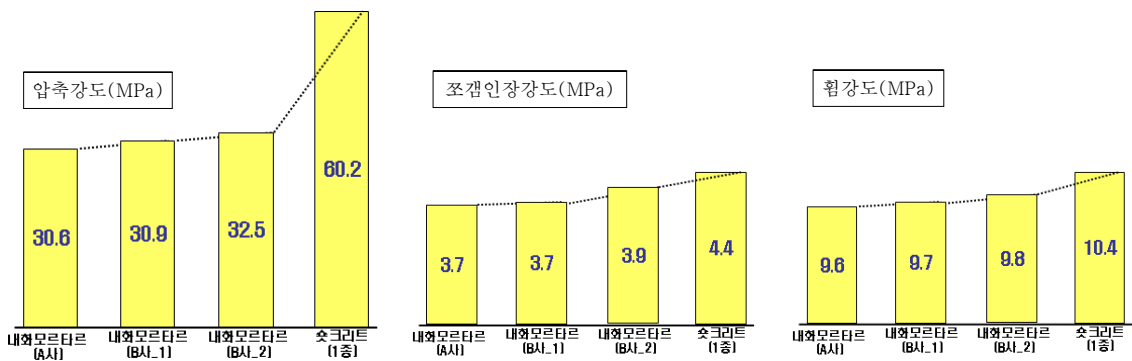


그림 2 강도시험 결과 (재령 28일 기준)

4. 결론

본 연구는 내화모르타르를 사용하여 터널의 내화성능을 향상시키기 위한 연구의 기초단계로서 내화모르타르의 역학 특성을 고찰하고자 강도 등의 물성 시험을 실시하였으며 이를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 굳지 않은 콘크리트의 Flow시험을 통해 본 연구에서 제시한 내화모르타르 배합의 현장 적용성 및 양호한 작업성을 확인하였다.
2. 압축강도, 조깅인장강도, 휨강도 시험을 통해 본 연구의 내화모르타르가 기존 터널 내화용 시멘트계 상용제품과 비교하여 매우 우수한 역학적 성능을 발휘함을 확인하였다.
3. 추후 부착강도 등의 추가적 물성 시험과 내화 성능평가를 위한 관련 시험을 실시할 계획이다.

참고문헌

1. 최 옥, 윤태국, 안상로, 최연왕, 김경환, “터널 화재사례 중심으로 본 내화 처리 기술”, 콘크리트학회지 제18권 6호, 2006.
2. ITA Working group, “No.6 Maintenance and repair”, Guidelines for structural fire resistance for road tunnels, 2004.