

건축구조물에 적용하기 위한 신개발 시멘트계 내화재료의 내화성능에 관한 연구

Study of fire protection performance of newly developed cementitious fire protection material for application to architectural building

김장호· 박해군· 이명섭** 원종필*** 임윤목**** 이경민*****

Kim, Jang Ho Park, Hae Geun Lee, Myeong Sub

Won, Jong Pil Yun, Mook Lim Lee, Kyong Min

ABSTRACT

High-rise and large size buildings require high strength concrete and steel structure as a necessity. However, high strength concrete and steel structure are strong material but have a weakness to high temperature. Therefore, fire protection is a matter that must be considered very importantly in design for structure of high strength concrete and steel. Fire proof board that is existing method for fire proof has relatively low performance in fire protection emphasizes the need of new fire protection material due to the using of innumerable inflammables like plastics. The objective of this study is to understand the fire-resisting performance of newly developed fire protection material for building. This paper describes the results of fire tests using ISO curve that is fire protection regulation for buildings of the newly developed cementitious fire protection coating material applied concrete tunnel lining specimens.

1. 서론

시대의 변천에 따라 건축 재료는 특수 환경에 대한 적용 요구가 점점 커지고 있다. 이는 건축 구조 재료로 광범위하게 사용되는 콘크리트에도 요구되는 사항으로 이러한 요구를 맞추기 위한 연구가 진행되어왔다. 특히 화재로 인한 고온은 건축물의 구조적 안전성에 있어 근대 발전의 관점에서 풍하중, 설하중 등과 같은 다른 요소와 함께 위험 요소로서 간주되고 있다. 인간의 생활에 있어 빈번하게 발생하는 화재에 대한 내화 특성은 구조물이 확보해야 하는 매우 중요한 성능들 중 하나이다. 일반적으로 콘크리트는 다른 구조재료에 비해서 열전도율 또는 열확산계수가 현저히 낮아서 구조체의 내화구조 또는 방화구조 재료로 널리 사용된다. 그러나 500~600℃에서는 콘크리트 강도가 상온에서의 콘크리트 강도의 50%수준으로 감소한다. 특히 고층건물에 쓰이는 고강도 콘크리트는 보통강도 콘크리트와는 다른 급격한 성능저하를 나타낸다. 화재시 고온으로 콘크리트 구조물 전체에 걸친 열영력과 열변형에 의한 손상뿐 아니라 폭열현상과 같은 국부적인 파괴가 생기게 된다.

건축물의 고층 및 대형화로 인하여 고성능 콘크리트의 사용이 늘어나고 더 많은 사람들을 수용하고 있다. 기존의 내화방법인 방화석고 보드와 보강 시멘트 보드등 내화 보드류의 적용과 스프링클러의 설

* 정희원, 세종대학교 토목환경공학과 부교수

**** 정희원, 연세대학교 토목환경공학과 교수

** 삼성물산(주) 토목사업본부

***** 정희원, 세종대학교 토목환경공학과 석사 과정

*** 정희원, 건국대학교 사회환경시스템공학과 교수

치등은 대형 화재의 경우 부족한 내화성능을 보이며 고온상태에서 폭열이 발생하기 쉬운 고성능 콘크리트의 특성으로 인하여 구조물의 붕괴를 초래할 수 있기 때문에 건축물의 내화에 대한 중요성은 날로 커지고 있다. 본 내화 재료는 RC 콘크리트 라이닝의 뿔칠 방식의 내화 코팅제로 개발이 되었으나, 손타설 역시 가능하기 때문에 건물의 내화 재료로도 적용할 수가 있다.

1.1 새로 개발된 내화재료의 특성

주재료는 시멘트, 내화골재, PP(polypropylene) fiber로 구성 되어있다. 혼합된 PP fiber는 고온으로 인한 폭열 현상을 효과적으로 방지하며, 내화골재로 사용된 다공성의 bottom ash는 단열성능과 강도가 우수하며, 특히 화력발전소의 폐기물로 나오는 재활용 재료로 환경보호 차원에서 매우 유용한 재료이다. 본 재료의 재료비는 시멘트:골재비=1:1.5, 섬유 혼입률은 0.25%이며, 부착성능 강화를 위하여 1%의 급결제를 첨가하였다. 비빔시 물/내화용 재료의 비는 0.395이다. 현장에서 간편하게 배합·시공이 가능한 프리믹스 타입으로 spray방식 및 손타설이 가능하도록 개발되었다. 현재 유럽에서 사용되고 있는 내화재료와의 강도비교 결과, 유럽 제품은 28일 재령에서 압축강도 7.44MPa, 휨강도 2.22MPa, 부착강도 1.34MPa인 반면 새로 개발된 내화재료는 압축강도 20.89MPa, 휨강도 4.30MPa, 부착강도 1.83MPa의 좋은 성능을 보였다. 다공성의 bottom ash와 PP fiber의 사용으로 내화성능의 측면에서도 좋은 성능을 기대할 수 있다고 판단된다.

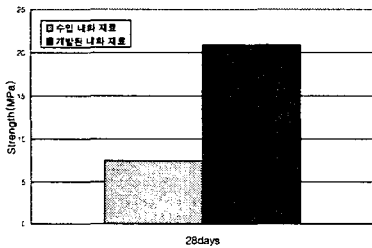


그림 1 압축강도 비교

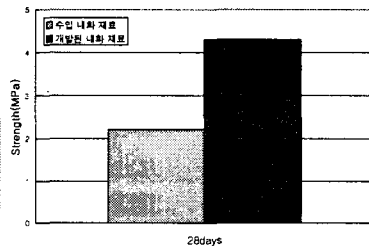


그림 2 휨강도 비교

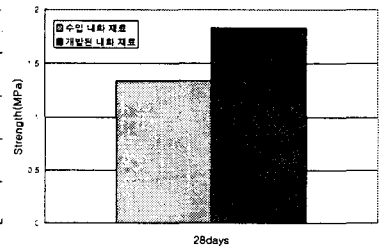


그림 3 부착강도 비교

2. 화재실험

화재실험을 위해 제작된 RC 콘크리트 터널 라이닝 시편은 표 1의 한국도로공사 도로터널용 콘크리트 라이닝 배합표를 사용하였다.

표 1 콘크리트 터널 라이닝 배합표

G _{max} (mm)	Slump (cm)	W/C (%)	Air (%)	Unit Weight (kg/m ³)					
				물	시멘트	잔골재(S)	굵은골재(G)	유동화재(%)	AE재(%)
25	14	0.5	4.5	167	334	728.33	1025.13	0.2	0.03

시편은 1400mm×1000mm×400mm 크기의 패널로 D16과 D13 규격의 철근을 주철근, 띠철근으로 사용하였다. 시편의 온도변화를 알기위하여 K-type의 sheathed thermocouples를 계면, 피복의 중간두께, 주철근표면, 시편의 중간두께, 상부피복의 중간두께에 타설시 삽입하였다. 그림 4와 5는 시편의 크기와 철근배치, sheathed thermocouples의 삽입위치를 나타낸다.

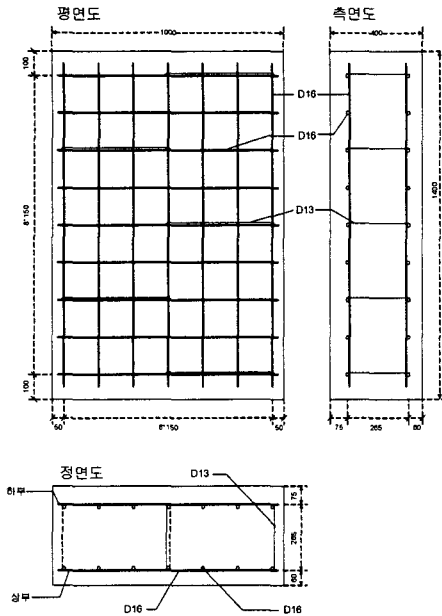


그림 4 내화 실험체의 철근 배근도

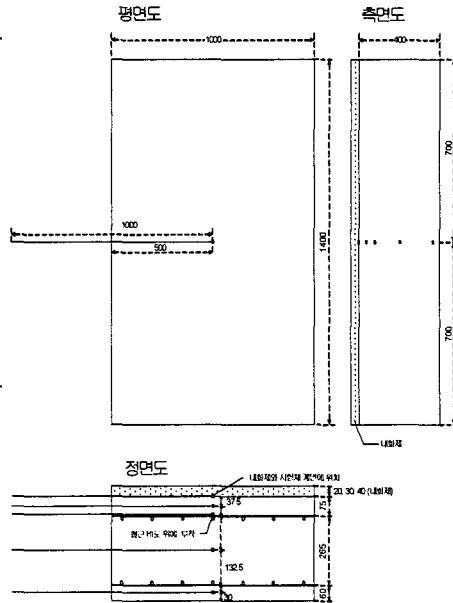


그림 5 내화 실험체 내의 열전대 위치

내화재 두께에 따른 내화성능을 알아보기 위하여 내화재 두께가 20mm, 30mm인 2개의 시편을 제작하였으며, 라이닝과 내화재의 계면 강화를 위해서 1400mm×1000mm의 와이어 메쉬를 내화재 타설 전에 라이닝에 고정시켰다.

화재실험은 한국건설기술 연구소의 가열로에서 실시하였으며, 실험의 규정 온도 곡선에는 ISO의 건축물 내화 규정 온도 곡선인 ISO-834를 사용하였다.

3. 화재실험 결과

그림 6, 7, 8의 그래프는 내화재 두께에 따른 시편내부 중요지점의 온도변화를 정리한 결과이다.

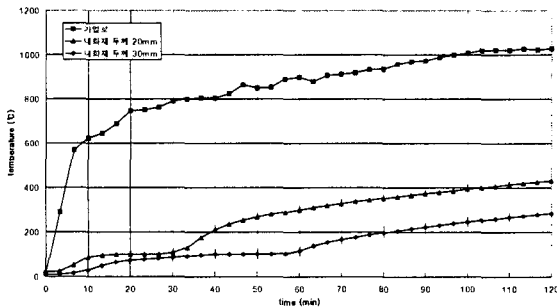


그림 6 내화재 두께에 따른 계면온도

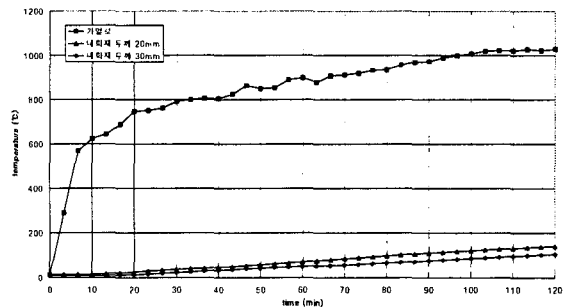


그림 7 내화재 두께에 따른 피복중앙(37.5mm)온도

내화재와 라이닝의 계면 온도를 비교한 그래프(그림 6)를 보면 가열로와 계면의 온도차가 매우 큰 것을 볼 수 있다. 실험 온도는 ISO 온도 곡선을 따라 점진적으로 상승하였고 두 온도 곡선 모두에서 온

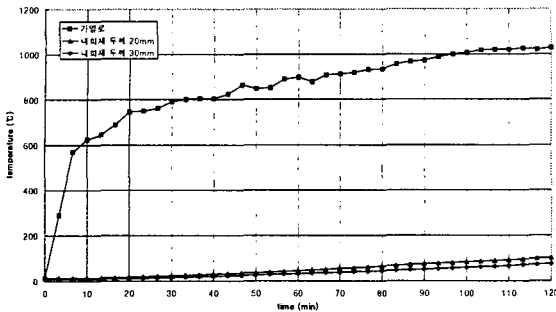


그림 8 내화재 두께에 따른 철근표면(75mm)온도

피복에 인접한 철근의 표면온도를 비교한 그래프(그림 8)에서 두 온도 곡선 모두 피복의 중간 두께보다 좀 더 낮은 온도를 나타내었다. 최고온도는 내화재 두께 20mm, 30mm에서 각각 104°C와 77°C로 27°C의 차이를 보였다.

내화재를 기준으로 가열로와 콘크리트 라이닝 내부의 온도는 내화재의 두께를 생각하면 놀라울 정도로 차이가 컸다. 또한 실험 도중, 이후에 시편의 외관에는 크랙등 특별한 이상을 발견하지 못했다.

4. 결론

① 두 시편 모두에서 1000°C에 이르는 고온에도 불구하고 시편에 균열이나 폭열 현상이 발생하지 않았고 실험이 끝난 이후 내화재에도 특별한 이상이 발견되지 않았다.

② 가열 온도에 비하여 시편들의 내부온도는 ISO 온도 곡선에 비하여 매우 낮았다. 이것을 볼 때 내화재는 매우 우수한 성능을 가지고 있다는 것을 확인할 수 있다.

③ 콘크리트의 강도가 현저히 저하되는 온도는 500°C 이상으로 내화재 두께 20mm 시편은 계면의 온도가 400°C를 초과한 부족한 내화성을 보이므로 내화재의 두께로는 30mm가 적절하다고 판단된다.

ISO 온도 곡선은 일반 건물의 내부 물질 발화에 의한 온도를 기본으로 규정된 온도 곡선이다. 화재 실험의 결과는 본 내화재료의 성능이 일반 건물의 화재에 충분히 대응할 수 있다는 것을 보여준다. 뿐만 아니라 20MPa에 달하는 강도는 내화재 자체를 콘크리트 건물에서 구조부재로 고려할 수 있을 정도의 강도이다. 이렇게 직접적인 건설 재료로 활용함으로써 기존의 번거로운 내화방식에서 벗어나 작업량을 줄이고 성능이 더 뛰어난 건물 내화 시스템을 갖출 수 있게 된다. 또한 bottom ash의 사용으로 폐기물의 양을 줄여 환경 보호에 일조할 수 있다는 것은 우수한 내화성과 함께 본 내화재료의 커다란 장점이라고 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 삼성물산(주)이 지원하는 내화용 터널 콘크리트 라이닝 시스템 개발 과제이며 본 연구를 가능케한 삼성물산(주)에 감사드립니다.

참고문헌

1. R. Sarshar. "Material and environmental factors influencing the compressive strength of unsealed cement paste and concrete at high temperatures". Magazine of concrete research, No. 162, 4. 51-61. 1993