

고온에 노출된 콘크리트 보의 구조적 거동 분석 및 내화설계 프로그램 개발

Development of a structural behavior analysis and fire-proof design program for concrete beams exposed to high temperature

○장 정 인* 정 동 혁**
Jang, Jungin Jung, Donghyuk

키워드 : 고온, 내화설계, 화재 안전성, MATLAB, 콘크리트

Keywords : High temperature, Fire-resistant design, Structural fire safety, MATLAB, Concrete

건축물에서 화재 발생 시 붕괴나 인명피해뿐만 아니라 구조적 손상으로 인한 건축물 사용 불가로 재산 피해를 야기할 수 있다. 2024년 8월 1일 인천 청라 전기차 화재는 지하 주차장에 주차된 다수의 차량이 전소되었고, 2025년 8월 17일 마포 아파트 화재와 7월 17일 광명 아파트 화재에서는 사상자가 발생하는 등 화재로 인한 피해 사례가 국내에서도 다수 보고된다. 이처럼 고온에 콘크리트가 노출되어 300℃ 이상이 되면 콘크리트의 압축강도는 급격히 감소하기 시작하고, 800℃ 이상 시 콘크리트의 압축강도는 대부분 소실된다. 또한, 휨 강도와 탄성계수도 선형적으로 감소하게 된다. 온도에 따른 응력-변형률 곡선은 콘크리트가 고온에 노출될수록 콘크리트의 응력은 낮아지고 변형률은 증가하는 양상을 보인다 (Qianmin Ma et al., 2015).

RC 보 화재 시 내부 온도 분포에 따라 화재 단계를 나눌 수 있는데 가열 단계(Heating Phase)에서는 철근과 콘크리트의 온도가 모두 상승한다. 반면, 냉각 단계(Cooling Phase)에서는 철근의 온도 감소로 내력은 회복하지만, 가열 단계 대비 내부 온도는 더 상승해서 콘크리트의 내력은 저하된다. 화재 이후 단계(Residual Phase)에서는 잔류 강도가 일부 존재하지만, 구조 검토가 필요한 상황이다. (Kodur, 2020). 하지만 화재 상황에서 구조 성능을 검토하기 위해서는 실무에서 접근하기 어려운 유한요소해석을 수행해야 하는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 화재 단계별 구조 성능평가를 진행하는 내화설계 프로그램을 제시하여 산업체에서의 내화설계 활성화에 기여하고자 한다.



그림 1. 내화설계 프로그램 Flow Chart

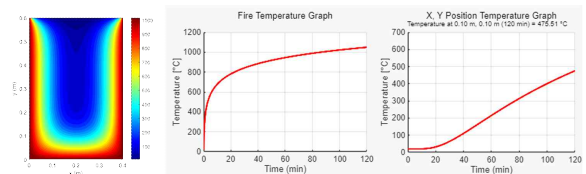


그림 2. RC 보 화재 시 온도 분포 및 시간-온도 응답

본 연구에서 제시하고자 하는 내화설계 프로그램은 MATLAB을 이용하여 구현하였다. 설계하고자 하는 부재에 대한 설계 물성치와 화재 조건을 입력하고 난 이후 동작 버튼을 실행하여 화재 시뮬레이션을 진행한다. 이후, 기존의 설계 물성치 값으로 계산한 실온 상태의 화재 전 시점과 화재 상황에서 철근의 온도가 가장 높은 화재 시점(Heating Phase), 콘크리트 내부 온도가 가장 높은 화재 시점(Cooling Phase) 그리고 화재 이후의 시점(Residual Phase)에서의 잔여 강도 평가가 이루어지도록 하여 화재 후에도 구조물의 사용 가능 여부에 대한 평가가 가능하도록 계획하였다. 또한, 화재 이후에 구조 성능을 충족하지 못할 때는 보강 방안을 제시할 수 있도록 하고자 한다. 향후 연구에는 이러한 프로세스를 바탕으로 RC 보 이외에 기둥, 슬래브와 같은 다른 RC 부재의 내화설계를 확대하고자 한다.

참고문헌

1. Ma, Q., Guo, R., Zhao, Z., Lin, Z., & He, K. (2015). Mechanical properties of concrete at high temperature –A review. *Construction and Building Materials*, 93, 371-383.
2. Venkatesh K.R. Kodur., & M.Z. Naser. (2020). McGraw Hill Education., *Structural Fire Engineering*

* 고려대학교 건축사회환경공학과 석사과정

** 고려대학교 건축사회환경공학과 부교수

(Corresponding author : School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, jungd@korea.ac.kr)

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2024-00416604).