

화재시 철근 콘크리트 보 내부 온도의 해석적 추정

Analytical Estimation of Internal Temperature of RC Beam under Fire

이 은 주* 신 미 경** 강 지 연* 신 영 수***
Lee, Eun-ju Shin, Mi-kyung Kang, Ji-yeon Shin, Yeong-Soo

ABSTRACT

The main purpose of this study is to estimate the internal temperature of RC beam under fire. For this purpose, the finite difference method was used. In the previous studies, the structural behavior of fire damaged RC beams was investigated through experiments. The result was concluded that The high temperature affects the properties of concrete such as the elastic modulus, the compressive strength. The internal temperature Estimation of the concrete is helpful for understanding the structural behavior of fire damaged RC beams. Especially, high strength concrete has more spalling than normal strength one. So, this study is performed analysis of internal temperature of RC beam considering spalling

1. 서론

최근 건물이 고층화, 대형화 되어감에 따라, 화재시 인명 및 재산의 손실이 매우 크며 그에 따른 대책이 절실히 요구된다. 일반적으로, 철근콘크리트 구조물은 내화성이 우수하여 화재에 의한 피해가 다른 구조물에 비하여 적은 편으로 알려져 있으나, 콘크리트가 가열되면 압축강도와 탄성계수가 저감되는 등 그 역학적 성질이 변화하게 된다. 따라서 화재시 철근 콘크리트의 재료 성능 저하 정도를 판단하기 위하여 콘크리트 내부의 온도를 정확히 예측할 수 있어야 화재하에서 보의 거동을 정확히 평가할 수 있다. 특히, 건물의 고층화 추세에 따라 고강도 콘크리트가 빈번한 현실에서 고강도 콘크리트가 가지고 있는 낮은 물-시멘트 비로 인하여 화재시 폭발현상이 발생하고, 이것은 단면 손실에 의한 강성저하는 물론 내부온도 변화에도 영향을 미친다. 본 연구에서는 고강도 콘크리트 보의 화재하에서 거동을 파악하기 위하여 폭발을 고려하여 다양한 경계조건에 따른 내부온도를 해석적으로 추정하여 실험치와 비교하고자 한다.

2. 실험

화재실험을 위한 실험체는 단면조건(0.25m×0.40m)인 직사각형 부재를 수평 가열로에 단순지지 상태에서 순지간거리 4.75m로 설치하고, 일반 사무실의 활화중으로 가정하여 국제 표준인 ISO 834 기준을 따라 각 실험체 별로 60분, 90분 가열하였다. 콘크리트의 28일 압축강도 550kg/cm²이다.

* 정회원, 이화여자대학교 건축학과 석사과정

** 정회원, CS구조 사원

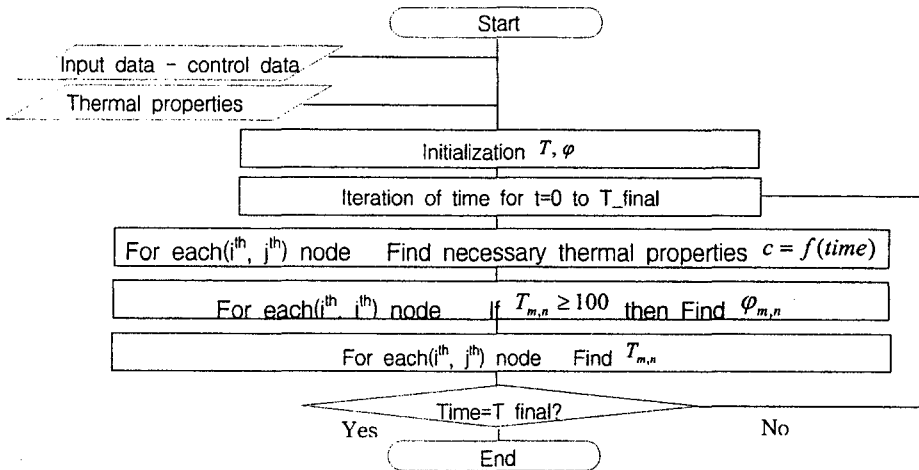
*** 정회원, 이화여자대학교 건축학과 교수

표 1 실험체 개요

실험체명	가열시간	지속하중	피복두께	실험체명	가열시간	지속하중	피복두께
HB4-T	-	-	4cm	HB5-T	-	-	5cm
HB4-1	60분	9.82tonf		HB5-1	60분	9.82tonf	
HB4-2	90분	9.82tonf		HB5-2	90분	9.82tonf	

3. 컴퓨터 프로그래밍

3.1 해석 흐름도



3.2 해석시 고려사항

3.2.1 열적 특성

온도에 따라 재료의 열적 특성이 달라지는데, T.T. Lie의 제안식은 다음과 같다.

표 2 온도에 따른 재료의 열적 특성

콘크리트 열용량($J/m^3 \cdot C$) $\rho_c c_c$	콘크리트 열전도도(W/m^3) k	물의 증발열(J/kg)
for $0^\circ C < T < 200^\circ C$ $\rho_c c_c = (0.005T + 1.7) \times 10^6$	for $T > 800^\circ C$ $k = -0.000625T + 1.5$	$\lambda_w = 2.3 \times 10^6$
for $200^\circ C < T < 400^\circ C$ $\rho_c c_c = 2.7 \times 10^6$	for $T < 800^\circ C$ $k = 1.0$	물의 열용량($J/m^3 \cdot C$) $\rho_w c_w$
for $400^\circ C < T < 500^\circ C$ $\rho_c c_c = (0.013T - 2.5) \times 10^6$		$\rho_w c_w = 4.2 \times 10^6$
for $500^\circ C < T < 600^\circ C$ $\rho_c c_c = (-0.013T + 10.5) \times 10^6$		

3.2.2 콘크리트 내부 수분의 영향

콘크리트 부재 해석을 하기 위해서는 콘크리트 내부의 수분량을 정확하게 아는 것이 중요하다. 열전달식 자체가 부재 내부 수분이 증발할 때 한 절점으로 전달되는 모든 열이 증발열로 쓰이도록 정식화되었기 때문에 시간을 가열하기 전 콘크리트 내부 수분량이 얼마나 있는냐에 따라 수분 증발시간이

결정되어 내부 온도 변화에 큰 영향을 미치게 되기 때문이다. 이 실험에서는 따로 수분량을 측정하지 않았으므로 초기 ϕ 값을 0.644로 놓고 해석을 수행하였다.³⁾

3.2.3 해석 모델 이상화

보 길이 방향으로 상관없이 외부 온도가 일정하게 올라간다고 가정하였다. 표3에서 ■는 모서리 절점, □는 한쪽 외기에 노출된 절점, △는 단열 표면에 노출된 절점 그리고 ▲는 한쪽은 단열 표면, 한쪽은 외기에 노출된 절점을 말하며 각 조건에 따라 적합한 열전달식을 대입하여 각 절점에서의 온도를 계산한다. 여기에서 외부온도(T_F)는 실험과 같은 조건으로 ISO 834 온도분포를 사용하였다.

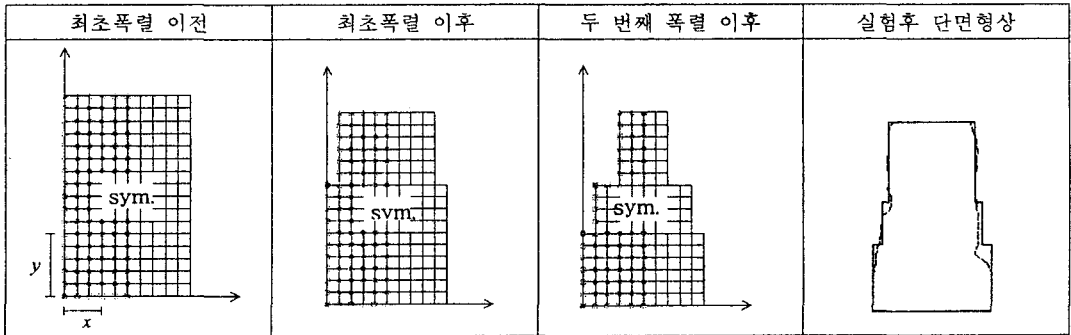
$$T_F = 20 + 345 \log_{10}(1 + 0.133t)$$

3.2.4 폭렬 현상 해석

폭렬 현상은 복잡한 요인들에 의해 일어나며 아직 정확한 기구가 규명되지 않았기 때문에 폭렬이 일어나는 면적이나, 시간 등을 수치적으로는 정확하게 구하기가 현재 불가능하다. 정확한 폭렬 해석 모델을 만들기 위해서는 콘크리트 내부의 공극에서의 압력(pore pressure)과 온도와의 관계가 필요하지만 기존의 데이터가 없으므로 실험을 통해 나타난 폭렬 현상을 통해 모델을 만들게 되었다.

- 1) 폭렬 현상이 일어나는 시간은 실험 시작 약 10분경부터 일어나기 시작하여 30분~40분 사이에 가장 활발하게 일어나고 1시간이 경과하면 멈추게 된다.
- 2) 폭렬 현상은 보 상부에서부터 발생하여 보 하부로 점차 진행된다.
- 3) 폭렬시 단면형상은 표 3과 같다.

표 3 해석모델과 화재실험 후 단면 형상



4. 해석결과

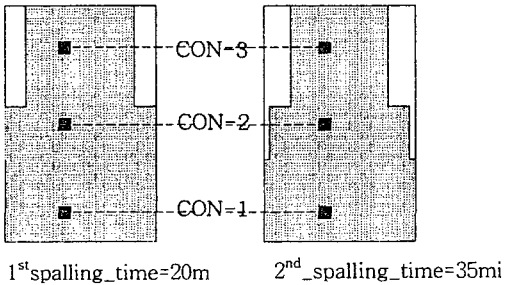


그림 1 해석시 폭렬조건

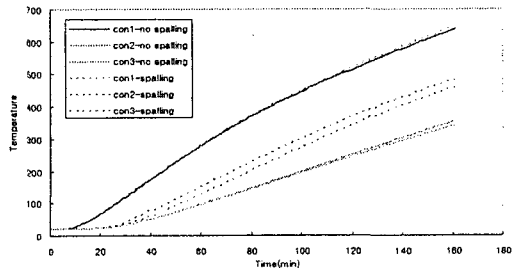


그림 2 폭렬 여부에 따른 해석 결과

실험체와 같은 부재를 3면 노출 조건으로 해석을 수행한 결과이다. 해석 시간은 9660초(161분), Δt 는 1초, Δx 는 0.005m, 폭렬 조건은 그림 1과 같다. 폭렬이 일어나지 않은 보 하부 데이터인 Con-1을 보면 폭렬 시와 폭렬이 일어나지 않을 때의 시간에 따른 온도분포가 같음을 볼 수 있다. 그리고 폭렬로 인해 단면이 손실되어 온도 증가에 영향을 받는 보 중·상부 측 Con-2와 Con-3의 경우 폭렬 시의 온도 분포가 훨씬 높게 해석되었음을 볼 수 있다. 특히 Con-3의 경우 폭렬로 인한 단면 손실이 가장 크다고 가정하였기 때문에 위치에 비해 높은 온도 분포를 보이고 있어 해석 폭렬 효과가 잘 고려되고 있음을 보여준다.

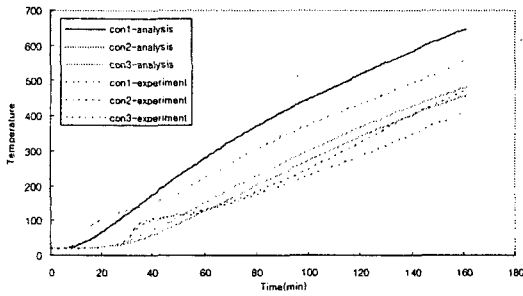


그림 3 HB5-F의 실험 결과와 해석 결과 비교

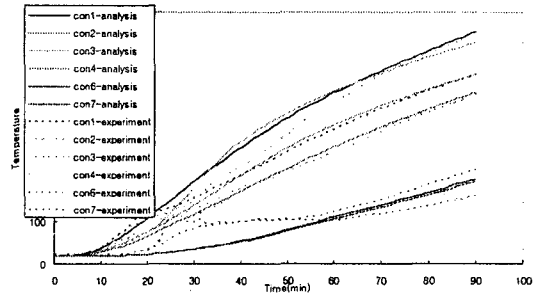


그림 4 HB4-IN의 실험 결과와 해석 결과 비교

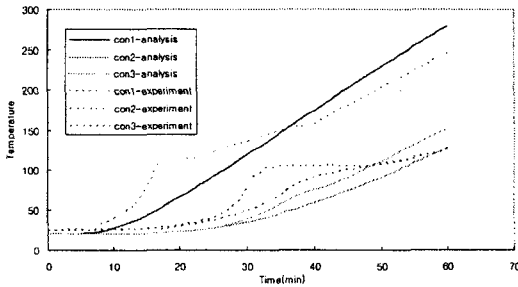


그림 5 HB4-1의 실험 결과와 해석 결과 비교

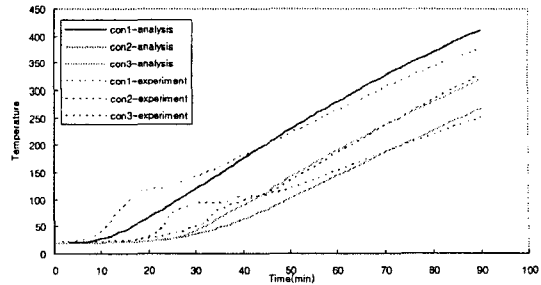


그림 6 HB4-2의 실험 결과와 해석 결과 비교

5. 결론

본 연구에서 화해를 입은 철근콘크리트 보의 내부온도추정을 위한 해석을 수행하였다.

- (1) 고온 하에서 실험체 내부 온도를 유한 차분법을 통한 수치 해석을 하여 해석한 결과 실험 결과와 해석 결과가 어느 정도 유사한 경향을 보였다.
- (2) 보다 정확한 온도 해석프로그램을 사용한 열전달해석을 위해서는 콘크리트에 내포된 수분 및 함수율과 재료물성과의 상관관계에 관한 정확한 데이터가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 지원 하에 이루어진 연구로, 실험에 도움을 주신 대림건설, 방재시험연구원, (주)콘크리닉에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. T.Z. Harmathy, Fire Safety Design & concrete, Longman Scientific & Technical
2. 신미경 “화재 피해를 입은 고강도 철근콘크리트 휨부재의 구조성능에 관한 연구”, 이화여자대학교 석사학위 논문, 2004
3. 김진근, Moisture diffusion of concrete considering self-desiccation at early ages