

화재 피해를 입은 고 강도 철근콘크리트 휨 부재의 구조 거동

Structural Behavior of Fire-Damaged Reinforced Concrete Beam with High Strength Concrete

신 미 경^{*} 신 영 수^{**} 이 차 돈^{***} 홍 성 곁^{****} 이 은 주^{*****}
Mi-kyung Shin Yeong-Soo Shin Cha-Don Lee Sung-Gul Hong Eun-ju Lee

ABSTRACT

This paper deals with structural behavior of reinforced concrete beams with high strength under fire and fire damaged condition. The main purpose of this study is to evaluate the residual strength of flexural members by exposure time to fire. For this purpose, six beam specimens are fabricated and experimented. Among the specimens, four specimens are exposed to the fire for 60 and 90 minutes and two specimens are control beam that is not exposed to fire. After being cooled in room temperature, the specimens are loaded to the failure. The research result shows that the main variables of the test, concrete cover and exposure time to fire are much influenced on the structural behavior and the residual strength.

1. 서론

최근 들어 건물이 장대화됨에 따라 콘크리트 재료의 사용이 많아지고 있다. 대형건물의 경우 화재 시 발생한 인명 및 재산의 손상이 막대할 뿐만 아니라, 화재 후 구조물의 재사용에 대한 판단 기준이 모호한 상태이다. 실제 화재 상태에서 철근 콘크리트 구조물의 성능을 파악하기 위해서는 재료적, 구조적 연구가 필요하다. 우리나라의 화재가 구조물에 미치는 영향에 대한 연구는 매우 미진한 상태로 우리나라 현실에 적합한 평가 방법과 화재시 안전성 확보를 위해서는 이 분야에 대한 연구가 절실하다. 본 연구에서는 고강도 콘크리트 구조체에 미치는 화재 중 혹은 화재 후 영향을 파악하기 위해, 고강도 콘크리트 휨 부재에 대해 화재 후 잔존 강도에 관한 연구를 실험적으로 진행하였다. 실험체의 주요 변수는 화재 노출 시간과 피복 두께로 하였으며, 화재 중 지속하중은 일반적인 사무실에 적용하는 활하중을 사용하여 $D+0.25L$ 로 계산하여 적용하였다. 본 연구는 실험 변수에 대한 휨 부재의 잔존 강도를 파악하여 화재 후 실제 구조물의 잔존 강도 파악에 기초적 자료를 제공하였다.

* 정회원, 이화여자대학교 건축학과 석사과정

** 정회원, 이화여자대학교 건축학과 교수

*** 정회원, 중앙대학교 건축학과 교수

**** 정회원, 서울대학교 건축학과 교수

***** 정회원, 이화여자대학교 건축학과 석사과정

2. 실험내용 및 방법

2.1 가열 실험

화재실험을 위한 실험체는 수평 가열로에 단순지지 상태에서 순지간거리 4.75m로 설치하고, 일반 사무실의 활화중으로 가정하여 D+0.25L로 계산한 하중 9.82tf을 유지한 상태에서 국제 기준인 ISO 834 기준을 따라 각 실험체 별로 60분, 90분 가열하였다.

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	

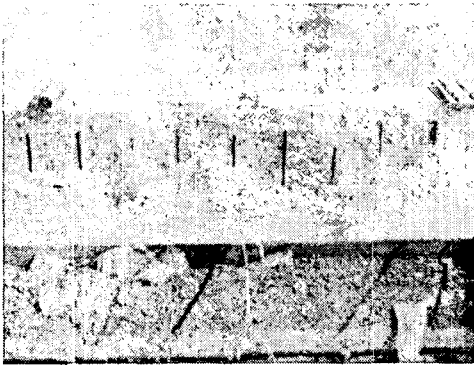


그림 4 화재 실험 후 실험체 형상

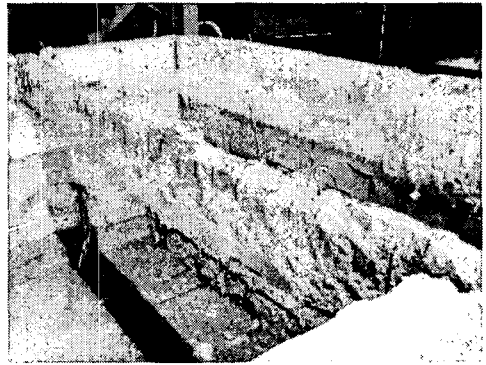


그림 5 화재 실험 후 실험체 형상

2.2.2 잔존 강도 실험

잔존강도 실험은 화재 후 부재의 잔존 강도를 평가하기 위해 가열한 실험체 중 각 변수에 따른 4개에 대해 수행하였다. 본 연구에서는 가열실험과 동일하게 단순지지 상태에서 4점 재하 방식으로 실험하였으며 지간거리는 실험실 여건상 3.75m로 하였다. 하중 점 하부에 로드셀(Load cell)을 설치하여 재하 하중을 측정하였고 시험체의 중앙 및 1/4 지점에 LVDT를 설치하여 부재의 사용성 및 강성의 변화를 분석하고자 하였다. 또한, 철근과 콘크리트의 변형율을 측정하기 위하여 인장 철근에 철근 게이지를 부착하고, 실험체 윗면에 1개, 실험체 옆면에 3개의 콘크리트 게이지를 부착하였다. 옆면의 콘크리트 게이지는 5cm간격으로 부착하였다.

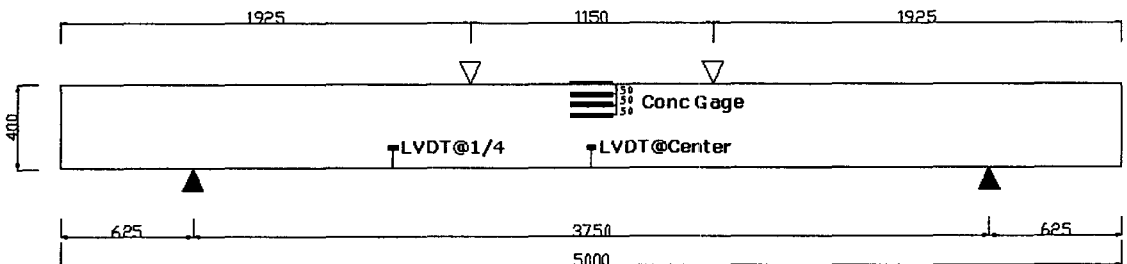


그림 6 가력 실험 시 실험체 설치

3. 실험결과 및 분석

3.1 잔존 강도 실험

가열하지 않은 실험체인 HB4-T, 90분 가열한 실험체인 HB4-2 그리고 60분 가열한 실험체인 HB4-1 실험체의 하중-처짐 곡선은 그림 4과 같다. 이 세 개의 실험체를 비교해 보면 항복 시 하중은 HB4-T가 22tonf, HB4-2, HB4-1은 20tonf이다. 일반 강도 콘크리트의 경우 위의 실험체와 각각 같은 조건을 가진 세 개의 실험체 모두 20tonf 정도 나온 결과와 유사하나, 고강도 콘크리트의 폭발현상으로 인해 가열한 실험체인 HB4-2, HB4-1가 단면이 손실되어 부재 내력이 감소한 것이다. HB5-T, HB5-2, HB5-1 실험체의 경우에도 비슷한 양상을 보였다.

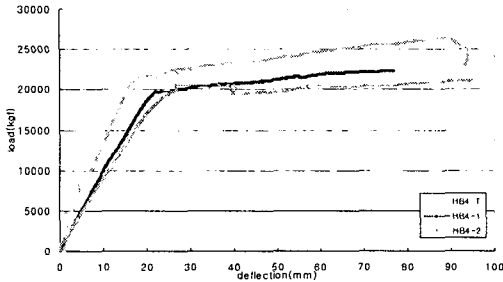


그림 7 피복 4cm 실험체 하중-처짐 곡선

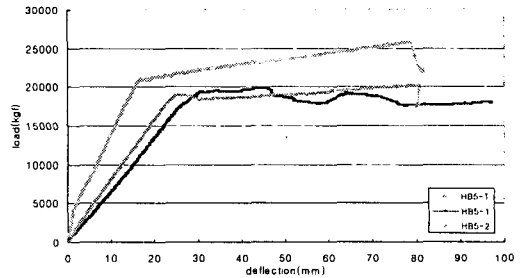


그림 8 피복 5cm 실험체 하중-처짐 곡선

각 실험체별 강성을 비교하기 위해 하중-처짐 곡선에서 가력 초기 탄성 구간의 기울기를 구해보면 표 2와 같다. 여기에서 보면 강도에 관계없이 피복 4cm 부재의 기울기가 피복 5cm 부재보다 기울기가 더 크게 나타났다. 이는 피복 4cm 부재가 유효층이 더 크기 때문이다. 고강도 콘크리트 부재의 경우 기울기가 일반 강도 콘크리트 부재보다 전반적으로 크게 나타났다. 감소율을 살펴보면, 피복 5cm 실험체는 같은 조건인 일반 강도 콘크리트 실험체의 감소율과의 비를 살펴보면 피복 4cm 실험체 비율에 비해 크게 나타났다. 이는 고강도 콘크리트 가열 실험은 폭발현상이 일어나 일반 강도 콘크리트 실험만큼 화해의 영향에 피복 두께가 변수로 작용하지 못했기 때문이다. 즉 고강도 콘크리트 가열 실험에서는 피복 5cm 실험체가 폭발 현상으로 인해 피복 4cm 실험체보다 유리한 상황이 아니었으므로 감소율의 증가가 크게 나타난 것이다. 고강도 콘크리트 부재도 일반 강도 콘크리트 부재와 마찬가지로 가열하지 않은 실험체가 기울기가 가장 크고, 그 다음으로 60분 가열한 실험체, 그리고 90분 가열한 실험체가 가장 작았다.

표 2 실험체별 하중-처짐 기울기 비교

일반 강도 콘크리트			고 강도 콘크리트		
실험체명	기울기	감소율	실험체명	기울기	감소율
B5-T	1000	-	HB5-T	1350	-
B5-1	720	28	HB5-1	780	42.22
B5-2	630	37	HB5-2	550	59.26
B4-T	1010	-	HB4-T	1360	-
B4-1	795	21.29	HB4-1	935	31.25
B4-2	700	30.69	HB4-2	845	37.87

표 3 처짐이 L/240 일 때의 하중

일반 강도 콘크리트			고 강도 콘크리트		
실험체명	하중	감소율	실험체명	하중	감소율
B5-T	15.65	-	HB5-T	19.70	-
B5-1	12.10	22.68	HB5-1	12.34	37.36
B5-2	10.45	33.23	HB5-2	10.32	47.61
B4-T	16.95	-	HB4-T	20.15	-
B4-1	13.40	20.94	HB4-1	14.76	26.75
B5-1	11.91	29.73	HB4-2	13.5	33.00

사용성의 문제로 규제되는 처짐의 한계 $L/240$ 를 실험체 지간 간격에 따라 구하면 일반 강도 콘크리트 실험체의 경우 16.67mm, 고강도 콘크리트 실험체의 경우는 15.65mm가 나온다. 이러한 처짐에 도달할 때 하중을 살펴보면 표 3과 같다. 한계 처짐에 도달하는 하중값이 가열 실험 전에 비해 가열 후에 낮아진 것을 알 수 있는데, 이는 화해를 입은 구조체가 사용성에 문제를 갖는다는 것을 보여주고 있다.

이 표에서도 앞의 결과와 마찬가지로 고강도 콘크리트의 경우 일반 강도 콘크리트이 하중 감소율보다 전반적으로 크게 나타났으며, 그 중 특히 피복 5cm 실험체의 하중 감소율의 증가가 피복 4cm의 하중 증가율의 증가보다 크게 나타난 것을 볼 수 있다.

이상의 결과에서 보면 강도에 관계없이 가열 실험 전보다 후가 부재 단면의 탄성 계수 E 값이 감소하기 때문에 가열 실험 전 실험체보다 가열 실험 후 실험체의 강성이 저하되었으며, 고강도 콘크리트의 경우 가열 시 폭발 현상이 심하게 일어나면서 부재 단면이 손실되었기 때문에 탄성 계수 값이 감소하는 동시에 단면 이차 모멘트 I 값 또한 작아졌기 때문에 감소율이 일반 강도 콘크리트보다 큰 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 화재 시 고강도 철근콘크리트 보의 구조거동에 관하여 실험을 수행하였으면 주요 연구 결과는 다음과 같다.

- (1) 가열하지 않은 실험체와 가열한 실험체의 초기 탄성 구간 기울기를 비교해보면 최대 기울기 감소율이 일반강도 콘크리트의 경우 37%, 고강도 콘크리트의 경우 70%정도로 화재 시 고강도 콘크리트의 피해가 큰 것으로 나타났다.
- (2) 여러 데이터에서 볼 수 있듯이 일반 강도와 비교했을 때 피복 5cm 실험체의 강성 및 하중 감소율의 비가 4cm인 것보다 크게 나온 것을 볼 때, 고강도 콘크리트 실험체의 경우 폭발 현상으로 인해 피복 두께가 큰 변수로 작용하지 않는다.
- (3) 사용성의 측면에서 사용 한계 처짐에 다다른 하중값이 가열 전보다 후에 일반 강도의 경우 최대 33%, 고강도의 경우 49%감소된 모습을 보였다. 이는 화해를 입은 구조체가 내구성 저하된다는 것을 잘 보여주고 있다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 연구비 “화재 피해를 입은 고강도 및 고강도 철근콘크리트 부재의 구조적 성능 규명 및 보수”의 지원으로 수행되었으며 실험체 및 실험진행에 도움을 준 대림건설, 방재시험연구원에 진심으로 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

1. Xudong Shi, Teng-Hooi Tan, Kang-Hai Tan and Zhenhai Guo(2002), “Effect of Force-Temperature Paths on Behaviors of Reinforced Concrete Flexural Members”, Journal of Structural Engineering, Vol. 128, No. 3, pp.365-373.
2. Y. Sakumoto(1999), “Research on Fire-protection Materials and Fire-Safe Design”, Journal of Structural Engineering, Vol. 125, No. 12, pp.1415-1422.
3. 이소진 “화재 피해를 입은 일반강도 철근 콘크리트 휨부재의 구조성능에 관한 연구”, 이화여자대학교 석사학위 논문, 2002.