

# 화재 피해를 고강도 SRC 압축부재의 해석적 연구

## Analysis of Fire-Damaged SRC Columns with High Strength

최은규\* 서지민\*\* 신영수\*\*\* 이차돈\*\*\*\* 권영진\*\*\*\*\*  
Choi, Eun-Gyu Seo, Ji-Min Shin, Yeong-Soo Lee, Cha-Don Kwon, Young-Jin

### ABSTRACT

Structures tend to become high-rise, large and specialized due to the urban concentration. Technology related to the structure and construction is required to improve, for which the use of high strength concrete(HSC) with better material property, and composite member with the combined advantage of both concrete and steel for better performance, is suggested. Over a half of fires, which increase by over 10% every year recently, come from the architectural structure, causing a loss at national level. However, little study has been conducted on the member at high temperature despite the increase in the use of HSC composite members. In this study, the techniques of modeling for analysing by DIANA (Displacement Analyzer) the fire damaged HSC composite compressive members are researched. We can review the effect of change in the steel ratio, section size and the steel ratio on the residual strength of structural members by parameter analysis study.

### 1. 서론

최근 들어 구조물의 대형화 및 고층화로 인하여 고강도 콘크리트의 사용 및 콘크리트와 철골구조의 장점을 조합한 합성구조의 사용이 증가하고 있다. 이러한 고층 구조물에 화재가 발생할 경우에는 막대한 경제적 손상뿐만 아니라 인명피해까지 발생하여 화재발생시 구조물의 거동에 대한 연구는 필수적이다. 최근까지는 화재에 대한 콘크리트의 연구로 재료적 수준의 연구가 주를 이루다가 점차적으로 구조부재 수준의 화재시 거동에 관한 연구가 활발해 지고 있는 상황이다. 이러한 실험적 연구와 더불어 화재에 의한 손상 후에 구조물을 보수·보강하여 재사용하기 위해서는 정확한 재료적 특성의 변화뿐만 아니라, 화재의 손상으로 인한 부재의 내구력 증감에 관한 평가도 병행되어야 한다. 하지만 화재 후 재료의 특성 및 구조적 거동 평가에 대한 해석적 연구는 현재 더욱 미흡한 상태이다. 본 연구에서는 비선형 유한 요소 해석 프로그램인 DIANA (Displacement Analyzer)로 해석한 값과 실험값의 비교를 통해 모델링 기법을 검증한 후 강재비, 단면 치수, 철근비를 변수로 하는 고강도 콘크리트 합성 기둥을 모델링하여 화재 피해를 입지 않은 부재와 화재 피해를 입은 부재의 강도와 강성을 비교하여 각각의 변수들이 화재 후 잔존 내력에 미치는 영향을 검토하였다.

\*정회원, 이화여자대학교 건축학과 박사 수료

\*\*정회원, 이화여자대학교 건축학과 석사

\*\*\*정회원, 이화여자대학교 건축학과 교수

\*\*\*\*정회원, 중앙대학교 건축공학과 교수

\*\*\*\*\*정회원, 호서대학교 소방학과 교수

## 2. 해석 내용 및 방법

### 2.1 해석 모델 개요

본 연구에서는 범용 유한요소해석 프로그램인 DIANA를 사용하여 사전 비재하 상태로 화재 피해를 입은 부재의 냉각 후 잔존 내력을 검토하였다. 모델링은 실험과 유사한 형태와 하중상태를 입력하였고 해석을 통해 얻은 결과를 실험을 통해 얻은 측정치와 비교하여 해석의 적합성 여부를 검토한 후, 여러 가지 경우의 변수에 대한 부재의 구조 거동을 해석을 통해 파악하고자 하였다. 해석 수행을 위하여 실험체는 재료 별로 분류하여 콘크리트와 철골은 3차원 고체 요소로, 철근은 2차원 선형요소로 나타내었다. 콘크리트와 철골은 타설과 양생을 통하여 일체화가 이루어져 거동하였으므로 interface modeling을 하지 않았다. 해석에서 사용한 고체 요소는 8절점 요소 HX24L, 실험체 내부의 철근은 2절점 선형 요소 (2 node straight element)를 사용하여 모델링하였다.

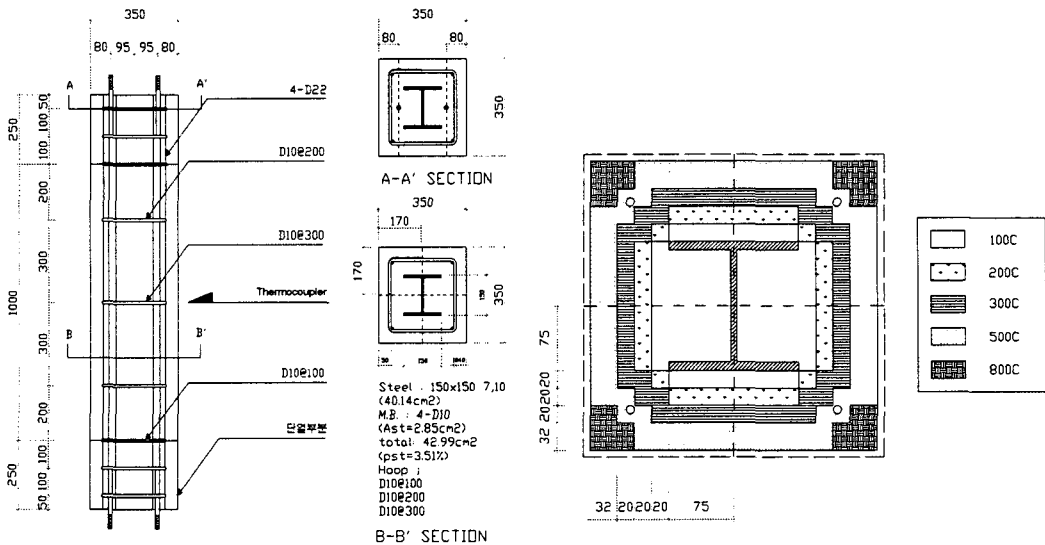


그림 1 SRC 압축부재의 상세도

그림 2 60분 가열 고강도 SRC 기둥 단면의 온도 분포

화재 피해를 입은 콘크리트의 경우 가열시 부재의 전단면이 동일한 온도에 도달하는 것이 아니므로 해석을 위한 모델링을 하기 위해서는 먼저 부분별 피해 정도를 파악해야 한다. 보통은 표면이 가장 높고 깊이 방향으로 서서히 저하하는 온도구배를 가지며 화재의 규모, 콘크리트의 종류, 단면의 형상·최대치수, 부위 등에 따라 각각 다르므로 부재의 깊이 방향에 대하여 온도 저하나 균열 등의 피해정도가 달라진다. 철근 콘크리트 부재가 노출되는 화재의 온도는 표준시간-온도 곡선에 노출된 콘크리트 부재의 온도 도표를 이용하여 구하거나, 2차원 FEM 컴퓨터 프로그램을 사용하여 계산할 수 있다. 해석에 사용된 화재 피해를 입은 고강도 콘크리트 합성 압축 부재의 온도 분포는 그림 2와 같다. 이것은 내화보드를 부착하지 않고 60분간 가열한 실험체인 SO2C의 60분 지점에서 측정된 내부 온도를 이용하여 단면을 나눈 것이다. 전체 단면은 온도구배를 100℃ 간격으로 나누었으나 피복부분은 면적에 비해 가열시간에 따른 온도구배가 심해 평균온도인 500℃를 적용시켰다. 단면의 크기는 SO2C의 평균 단면 손실률을 적용하여 350mm×350mm에서 9.44% 감소한 단면인 334mm×334mm로 모델링하였다. 유한요소 해석에서 mesh의 개수와 크기는 정확한 값을 얻는데 중요한 요인으로 작용하므로 이에 대한 설계가 중요하다. 그러나 범용 유한요소 해석 프로그램의 대부분은 mesh의 크기와 개수에 크게 영향을 받지 않고 일정한 값을 갖게 된다.

## 2.2 적용 재료 물성

표 1은 해석 대상 기준 실험체의 철근 및 철골 대한 재료 물성을 정리한 것이다.

표 1 기준 실험체의 해석 적용 물성

콘크리트			철근 및 철골	
압축강도(MPa)	탄성계수(MPa)	인장강도(MPa)	항복강도(MPa)	탄성계수(MPa)
54.0	3.1×10 <sup>4</sup>	4.1	420.0	1.66×10 <sup>5</sup>

## 2.3 지지조건 및 해석 방법

기둥의 양단은 실험과 동일하게 XYZ 방향에 대하여 변형이 발생하지 않는 힌지로 설정하였다. 비선형 해석을 하기 위해서는 모델링에 사용되는 요소가 비선형 해석이 가능한지 확인하여야 한다. 먼저 선형 해석을 통하여 경계면의 강성, 선형 해석 부분(탄성범위)의 하중-변위 관계 등을 확인하여야 한다. 한편 항복 이후의 거동을 관찰하기 위하여 하중을 강제 변위로 제어하여 해석적 연구를 수행하였다.

## 3. 해석모델의 검증

그림 3과 그림 4는 각각 화재 피해를 입지 않은 실험체인 SOOC, 60분간 화재 피해를 입은 실험체인 SO2C의 중심 하중 가력에 관한 실험값과 해석 값을 비교한 그래프이고, 표 2는 최대 하중과 하중-변위 기울기를 나타낸 것이다.

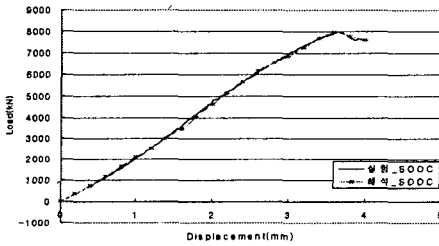


그림 3 SOOC의 하중-변위 곡선 비교

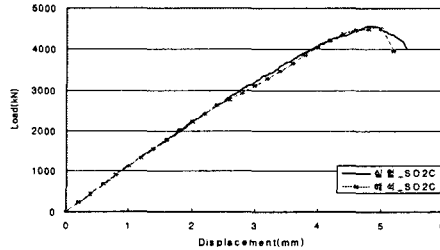


그림 4 SO2C의 하중-변위 곡선 비교

표 2 SOOC의 최대 하중 및 하중-변위 기울기 비교

시험체	최대 하중(kN)	변위(mm)	하중-변위 기울기	상대 기울기
실험_SOOC	7965.2	3.66	2176.28	1.00
해석_SOOC	7964.2	3.60	2212.28	1.02
실험_SO2C	4565.7	4.80	951.20	1.00
해석_SO2C	4619.1	4.80	962.30	1.01

실험 결과와 해석 결과를 비교해보면 최대 하중이 거의 동일 하고 하중-변위 기울기의 오차가 1~2%로 거의 일치하는 결과를 보여준다. 따라서 화재 피해를 입지 않은 부재 및 60분간 화재 피해를 입은 부재의 중심축하중해석에 대해서는 본 연구에서 적용한 비선형 해석을 적용하여도 문제가 없는 것으로 판단하였다.

## 4. 변수해석

앞의 해석모델의 적용가능성을 검증한 후 강재비, 부재의 단면크기, 철근비에 따른 각 부재의 해석을 수행한 결과를 표 3~5에 각각 나타내었다.

표 3 강재비에 따른 최대 하중 및 하중-변위 기울기 비교

강재비 (%)	부재명	최대하중 (kN)	잔존내력 비율(하중)	변위 (mm)	하중-변위 기울기 (kN/mm)	잔존강성 비율(기울기)
3.28	SOOC_H150	7964.20	1.00	3.60	2114.65	1.00
	SO2C_H150	4504.31	0.57	4.80	1116.45	0.53
4.18	SOOC_H175	8385.70	1.00	3.60	2289.58	1.00
	SO2C_H175	4932.00	0.59	4.80	1297.42	0.57
5.19	SOOC_H200	8845.80	1.00	3.60	2485.00	1.00
	SO2C_H200	5375.87	0.61	4.80	1495.45	0.60

표 4 단면 치수에 따른 최대 하중 및 하중-변위 기울기 비교

단면치수 (mm)	면적비	부재명	최대하중 (kN)	잔존내력 비율(하중)	변위 (mm)	하중-변위 기울기 (kN/mm)	잔존강성 비율(기울기)
350×350	1.00	SOOC_H150_b35	7964.20	1.00	3.60	2114.65	1.00
		SO2C_H150_b35	4504.31	0.57	4.80	1116.45	0.53
440×440	1.58	SOOC_H200_b44	12510.70	1.00	3.60	3349.84	1.00
		SO2C_H200_b44	7537.43	0.60	4.80	1807.90	0.54
530×530	2.29	SOOC_H200_b53	17947.10	1.00	3.60	4827.07	1.00
		SO2C_H200_b53	10967.05	0.61	4.80	2588.44	0.54

표 5 철근비에 따른 최대 하중 및 하중-변위 기울기 비교 (가열 60분과 가열 90분)

철근비 (%)	부재명	최대하중 (kN)	잔존내력 비율(하중)	변위 (mm)	하중-변위 기울기 (kN/mm)	잔존강성 비율(기울기)
0.23	SO2C_D10-t60	4504.31	1.00	4.80	1125.32	1.00
	SO2C_D10-t90	4438.39	0.99	4.80	1109.64	0.99
0.93	SO2C_D19-t60	4851.46	1.00	4.80	1262.42	1.00
	SO2C_D19-t90	4612.00	0.95	4.80	1205.60	0.95
2.10	SO2C_D29-t60	5451.39	1.00	4.80	1499.89	1.00
	SO2C_D29-t90	4911.87	0.90	4.80	1371.80	0.91
3.13	SO2C_D35-t60	5981.31	1.00	4.80	1708.32	1.00
	SO2C_D35-t90	5177.40	0.87	4.80	1517.69	0.89

4. 결론

본 연구에서는 비선형 유한 요소 해석 프로그램인 DIANA를 이용하여 화재에 노출된 고강도 콘크리트 합성 기둥의 냉각 후 구조 성능을 해석하였다. 60분간 화재 피해를 입은 부재는 단면적이 9.44% 감소하면서 잔존 강도가 58% 수준으로 감소한다. 이 때 구조 성능에 영향을 미칠 수 있는 강재비, 단면 크기, 철골비를 변수로 하여 각 변수가 내력 저하에 미치는 영향을 해석을 통해 고찰하였으며 이로 화재피해를 입은 구조물의 성능을 해석을 통하여 예측할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 한구 과학재단 특정기초 연구(R01-2004-000-10348-0)지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. T. Z. Harmathy, Fire Safety Design & concrete, Longman Scientific & Technical
2. 서지민, “화재피해를 입은 고강도 콘크리트 합성기둥 구조 성능에 관한 연구”, 이화여자대학교 석사논문, 2005.