

# 표준화재조건 CFT기둥 내화성능예측을 위한 해석적 연구

## An Analytical Study on Prediction Fire Resistance of CFT Column in ISO Fire

김 형 준\* 김 흥 열\*\*

Kim Hyung Jun, Kim, Heun Youl

---

### ABSTRACT

The heat resistance of steel materials tends to weaken due to its high heat transfer properties, which might result in deteriorated strength because of rapidly rising temperature on surface in a fire. Particularly in case of CFT column that bears tensile stress of the structure on its external steel members, a numerical analysis on deterioration of strength and variation of stress shall be first carried out to ensure the structure will have sufficient fire resistance. In the study, based on values obtained from the high temperature material property test of steel materials and concrete, the test to forecast the fire behavior of CFT column was conducted using a finite element analysis method (ABAQUS). An Analysis in a bid to predict the heat transfer and the behavior characteristics by varying the strength of the concrete filled to the range of 40MPa and 50MPa was carried out. As a result of analysis of CFT column on condition of 180-minute exposure under the standard fire condition, 123mm of strain appeared with 40MPa model, while 91mm contraction with 50MPa model.

### 요 약

강재요소의 경우엔 고온에 노출될 경우 높은 열전도성으로 인해 화재 발생상황에서 단면의 급격한 온도 상승으로 인한 강도저하 현상이 유발된다. 특히 CFT기둥의 경우엔 구조체의 인장응력을 외부의 강재부분이 전담하기 때문에, 내화성능을 확보하기 위하여 이 부분에 대한 강도저하 및 응력변화에 대한 수치해석적 검토가 선행되어야 한다. 이에 본 연구에서는 국내에서 수행한 콘크리트 및 강재의 고온재료물성 실험값을 토대로 유한요소해석법(ABAQUS)을 적용하여 CFT기둥의 화재거동을 예측하였다. 해석적용 강재는 SS400을 대상으로 하였으며, 내부 충전된 콘크리트의 강도를 40MPa와 50MPa를 변화시켜 전열특성 및 거동현상을 예측하였다. 표준화재 180분 노출조건으로 CFT기둥 해석결과 40MPa모델의 경우123mm의 변위가 발생하였으며, 50MPa모델의 경우 91mm의 수축량이 발생하는 것으로 해석되었다.

---

\* 정회원, (주)종합건축사사무소 광일건축, 기술연구소, 연구원

\*\* 정회원, 한국건설기술연구원, 화재및설비연구센터, 선임연구원

## 1. 서 론

근래에 빈번하게 발생하고 있는 화재사고로 인한 인명피해를 억제하고, 강화되고 있는 건물의 내화성능기준에 활용할 수 있으며, 경제적인 내화거동확보를 위한 성능적 관점에서의 내화거동에 관한 연구의 필요성이 제기된다. 이에 본 연구는 단순 내화피복재 도포가 적용된 사양적 내화설계방법이 토대가 되는 국내의 온도기준 내화성능 평가방법을 개선하며, 화재 관련 선진국의 연구소(BRE, SP, NIST 등)에서 수행하고 있는 성능기반의 내화거동 연구를 기반으로 한 CFT기둥의 내화거동평가와 열특성 영향에 대한 분석을 통해 화재시에 발생하는 비선형 응력조건에서의 성능기반 화재대응 내력 분석 및 개선방안에 관한 해석적 연구를 진행하고자 한다. 이러한 연구 결과를 토대로 CFT 기둥의 신뢰성 있는 내화성능을 확보하여 실제 구조물에 적용할 수 있는 기반을 마련할 수 있는 결과물의 도출과 경제성 확보를 목표로 연구를 수행하였다.

## 2. 해석방법 및 모델링 조건

### 2.1 연구필요성 및 방법

CFT기둥의 화재해석을 효율적으로 수행하기 위해 선진외국의 연구성과분석 및 검토를 기반으로 한 명확한 이론적 규명 및 실험/해석 변수산정을 선행연구로 수행하고, 이를 토대로 강재 및 콘크리트에 대한 고온영역 재료적 물성·역학적 특성을 규명한 실험 데이터를 확보하여, 유한요소해석법(ABAQUS)을 토대로 CFT기둥의 전열해석을 수행하였다. 구조요소(고강도 콘크리트)의 신뢰성 있는 전열해석기법 도출을 토대로 화재거동을 예측할 수 있는 FE해석으로 적용범위를 <표 1>과 같이 확대하여, 표준화재(ISO FIRE, 180분)조건 구조요소의 전반적인 화재거동 특성을 시뮬레이션 하였다.

표 1. 해석변수 및 재하하중 선정

모델	강도변수(MPA)	전열해석(180분)	재하하중(kN)	거동해석(180분)	내화성능평가
MODEL-I	40	○	1219.080	○	온도, 변위<KSF 2257-1, 7>
MODEL-II	50	○	1413.645	○	온도, 변위<KSF 2257-1, 7>

### 2.2 해석입력 재료물성

CFT기둥의 수치해석을 통한 구조부재의 전열 및 거동특성을 신뢰성 있게 예측하기 위해서 가장 기본이 되는 재료물성을 선정하여야 하므로, 콘크리트의 내부온도에 따른 고온화재조건 비열·열전도율·열팽창율·탄성계수값을 한국건설기술연구원에 수행한 <표 2>와 <표 3>과 같은 고온재료물성 실험값을 수치해석 입력데이터로 활용하였다.

표 2. 콘크리트의 고온재료물성 데이터

콘크리트 온도(℃)	40MPa 콘크리트				50MPa 콘크리트			
	비열 (J/kg℃)	열전도율 (w/mK)	열팽창율 (mm/mm×10-6)	탄성계수 저감(%)	비열 (J/kg℃)	열전도율 (w/mK)	열팽창율 (mm/mm×10-6)	탄성계수 저감(%)
100	497	1.86	1102.60	1.003	646	1.76	942.53	1.003
200	625	1.65	1537.00	1.005	634	1.81	1245.3	1.005
300	687		2511.10	1.007	713	-	1937.0	1.008
400	721	1.50	3552.70	0.974	779	1.40	2755.2	0.973
500	756		4802.20	0.937	789	-	3623.4	0.934
600	903	1.37	9154.50	0.892	776	1.69	6497.7	0.886
800	843	1.46	9721.4	0.792	849	1.774	7420.9	0.776

표3. 강재(SS400)의 고온재료물성 입력데이터

강재온도(℃)	열확산계수( $cm^2/s$ )	비열(kcal/kg℃)	열전도율( $W/m \cdot K$ )	밀도( $g/cm^3$ )
20	0.1341	0.1057	39.1842	7.72
119	0.1202	0.1095	36.3823	
205	0.1105	0.1200	36.6652	
306	0.0969	0.1301	34.8532	
411	0.843	0.1466	34.1919	
514	0.718	0.1639	32.5132	
617	0.574	0.1888	29.9701	
718	0.422	0.3586	41.8450	
817	0.553	0.2437	37.2423	

### 3. 해석결과

#### 3.1 전열해석

콘크리트 강도 40MPa인 CFT기둥의 깊이 에 따른 전열특성을 분석한 결과는 아래 <그림 1>, <그림 2>와 같으며, 최대온도는 외부노출 강재의 표면부위에서 785℃로 해석되었다. 50MPa모델의 경우엔 외부강재 표면의 온도가 812℃로 <그림 3> 및 <그림 4>와 같이 나타났으며, 40MPa 콘크리트 강도 모델과 유사한 전열특성을 나타내었다.

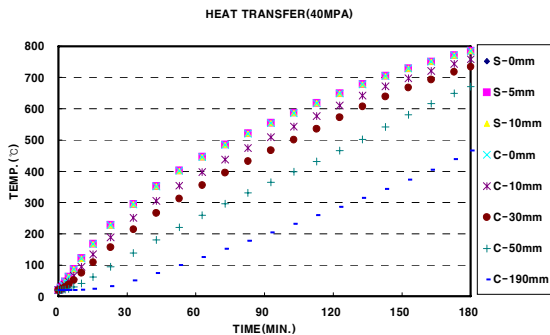


그림 1. CFT기둥의 전열특성(ISO 180분,40MPa)

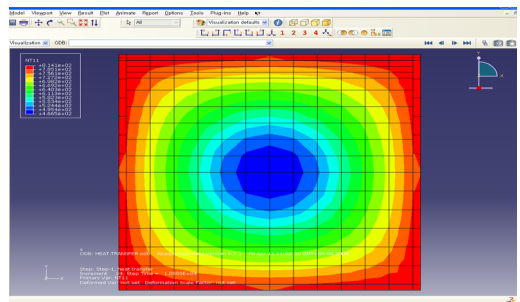


그림 2. CFT기둥 전열해석결과(ABAQUS V6.8, 40MPa)

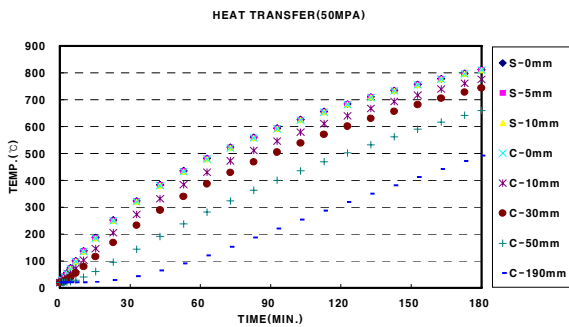


그림 3. CFT기둥의 전열특성(ISO 180분,50MPa)

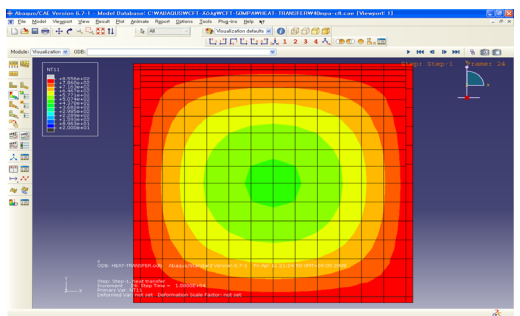


그림 4. CFT기둥의 전열해석결과(ABAQUS V6.8, 50MPa)

#### 3.2 화재거동해석

본 해석모델의 경우 구조부재의 길이가 3000mm이므로 허용변형량은 (30mm)이며, 이러한 변형량을 초과하지 않는 내화성능시간을 해석을 통해 상기기준에 적용하여 분석한 결과 40MPa와 50MPa모델

모두 82분으로 도출되었다. 최대 처짐지점은 강재에 비해 상대적으로 강성이 약한 콘크리트 부분으로 하중재하 단면의 외곽에서 40MPa 모델의 경우 40mm~70mm, 50MPa 모델의 경우 70mm~100mm 떨어진 부위인 것으로 <그림 5~8>과 같이 해석되었다.

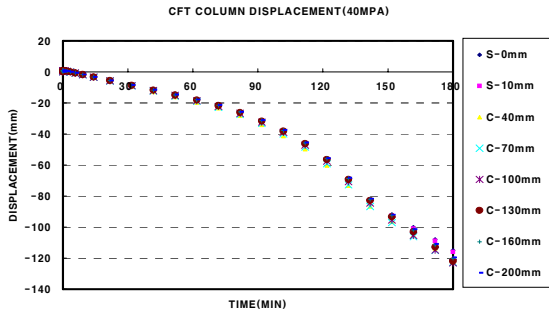


그림 5. CFT기둥의 기둥수축량(ISO 180분,40MPa)

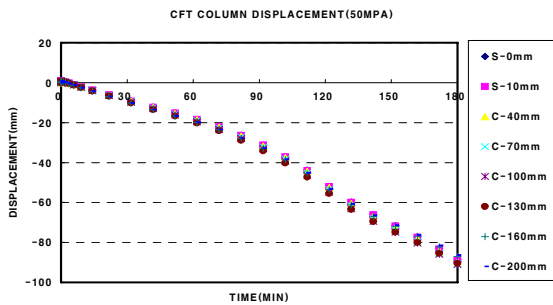


그림 7. CFT기둥의 기둥수축량(ISO 180분,40MPa)

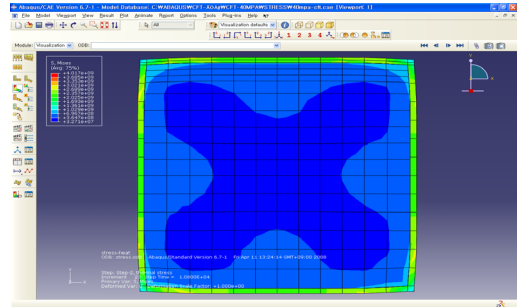


그림 6. CFT기둥 응력해석결과(ABAQUS V6.8, 40MPa)

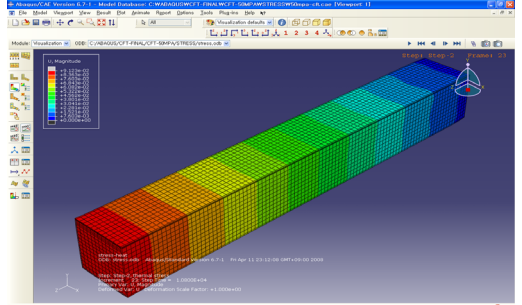


그림 8. CFT기둥 변형해석결과(ABAQUS V6.8, 40MPa)

## 감사의 글

이 논문은 국가 R&D로 수행되고 있는 한국건설기술연구원의 기관고유사업인 “구조물 성능기반 화재거동해석 및 설계기술연구(2008)”과제와 관련하여 지식경제부의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 권인규, 장인화, “강구조 내화공학 설계기술개발 ( I )” 포항산업과학연구원, 2002.
2. Bailey, C.G., Simulation of the Structural Behaviour of Steel-Framed Buildings in Fire, PhD Thesis, University of Sheffield, 1995.
3. British Standards Institution, “BS 7974 Application of fire safety engineering principles to the design of building-Code of practice”, 2001.
4. CEN, “Eurocode 3. Design of Steel Structure Part 1.2: General Rules Structural fire design”, pp 15-21, 1995.
5. Huang, Z., Burgess, I.W. and Plank, R.J., Three-dimensional analysis of composite steel-framed buildings in fire, ASCE Journal of Structural Engineering, 126(3), pp 389-397, 2000.