

E-12

CFT기둥 재하가열 실험에서의 경계조건에 따른  
내화성능 영향에 관한 실험적 연구

김형준\* · 김흥열\* · 박경훈\* · 조경숙\* · 권인규\*\*  
한국건설기술연구원\* · 강원대학교\*\*

An Experimental Study about Fire Resistance effect on  
Boundary Condition of CFT Column under Loading in Fire

Kim, Hyung Jun\* · Kim, Heung Youl\* · Park, Kyung hun\* ·  
Cho, Kyung Suk\* · Kwon, In Kyu\*\*

Korea Institute of Construction Technology\* · Kangwon University\*\*

A concrete filled square steel tube (CFT) is composed of the external steel material, which its strength is reduced in fire due to sudden temperature increase, and the internal concrete with high thermal capacity that can ensure the fire resistance performance of the structure. Therefore, research about the influence factors of the structural performance of CFT column is required in order to apply CFT column to a fire resisting structure, and additional research about influence for each condition is also necessary. Among the influence factors, the boundary condition between column and beam is important structurally, and it is one of the major factors that determine overall fire resisting performance. This study performed a fire experiment under loading in order to analyse the influences of CFT column to the boundary condition. As the results of the experiment, fire resistance time of 106 minutes was ensured for the clamped-end condition but 89 minutes for the hinge-end condition in case of the 360 cross section. And, fire resistance time of 113 minutes was ensured for the clamped-end condition but 78 minutes for the hinge-end condition in case of the 280 cross section. The difference in the fire resistance performance according to changes in the boundary conditions showed a tendency that larger change effect on the fire resistance performance was derived from smaller cross section area.

## 1. 서론

콘크리트가 충전된 각형강관 기둥(CFT)은 외부에 강재가 노출된 형상으로 외측

의 강관은 화재시 급격한 온도상승으로 인해 강도가 저하되나, 내부의 콘크리트는 열용량이 큰 재료로써 내화성을 확보할 수 있는 구조로 구성되어 있다. 그러므로 CFT구조가 일정한 내화설계조건을 만족시키면 내화피복이 없는 구조로 사용이 가능하며, 유럽에서는 비교적 짧은 요구내화성능시간에 확인신청의 절차만으로 무 내화피복 CFT기둥의 사용을 인정하고 있다. 이러한 내화성능의 확보가 가능한 구조적 장점으로 인해 국내에서는 구미 삼성전자 공장 주차장에 국내 기준에 적합하게 1시간 내화시간을 만족시키는 무내화 CFT기둥이 현장에 적용되었으며, 중국의 경우 SEG Plaza와 Ruifeng Shangye Building에 3시간 요구내화시간을 확보하기 위하여 성능설계에 의한 피복절감형으로 실제 건물현장에 적용되었다. 그러나, 이러한 CFT기둥에 대한 무내화 피복으로 적용하기 위해서는 구조적 내화성능에 영향을 미치는 인자에 대한 다양한 변수에 대한 실험이 선행되어야 하며, 이에 대한 실제 기둥의 설치조건에 따른 내화성능 영향성에 관한 연구를 통해 내화설계 방안이 제시되어야 한다.

## 2. 실험계획

### 2.1 실험변수

CFT기둥을 내화구조로서 적용하기 위해서는 구조적 성능에 영향을 미치는 인자에 대한 연구가 필요하며, 이에 대한 조건별 영향성에 관한 연구가 필요하다. 내화성능에 영향을 주는 주요인자는 콘크리트 압축강도 · 단면크기 · 축력비 · 경계조건이며, 그 중 기둥과 보의 경계조건은 구조적 측면에서 하중 지지능력에 영향을 미치므로 내화성능을 지배하는 주요 인자 중에 하나이다. 특히 기존의 국내에서는 CFT기둥의 실제 경계조건인 고정단 또는 힌지조건에서의 실험이 수행되지 않았으므로, 이에 대한 영향성에 대한 분석이 미비하였다. 이에 본 연구에서는 고정단과 힌지조건을 구현하여 경계조건에 따른 CFT기둥의 내화성능에 대한 영향성을 분석하고자 <표-1>과 같은 실험변수로 재하가열실험을 수행하였다.

<표 1> 실험체 형상조건 및 경계조건 실험변수 선정

실험체명	콘크리트 압축강도 (MPa)	하중비(%)	시험체 크기(mm)	경계조건
Model-I	24	60	360×360×9	고정단
Model-II			280×280×6	
Model-III			360×360×9	힌지단
Model-IV			280×280×6	

## 2.2 재하조건 구현 치구

CFT기둥은 실제 구조물에 적용될 경우 경계조건은 크게 양단 힌지, 양단고정, 일단힌지·일단고정의 3가지 형태로 구분된다. 그러나 현재의 가열로의 경계조건인 경우 경계조건을 정의할 수 없는 형태로 장비가 구성되어 있었기 때문에 본 연구에서는 이에 대한 구조기둥의 경계조건을 명확히 정의할 수 있는 재하치구의 필요성이 제기되었다. 또한 기존 상온에서의 압축시험용 지그의 경우 부여된 경계조건에 따라 양단 힌지 또는 양단 고정상태를 구현할 수 있는 지그를 별도로 설치하여야 한다. 그러므로 본 실험에서는 <그림 1>과 같은 경계조건 변동이 가능한 재하지그를 가열로에 설치하여 실제 CFT기둥의 경계조건을 구현하여 재하가열 실험을 수행하고자 하였다.



<그림 1> 재하가열실험을 위한 변동식 압축시험용 재하지그

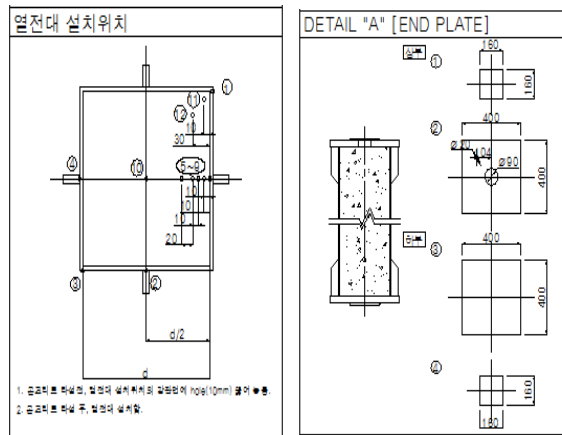
## 2.3 실험체 제작형상

화재실험을 통한 CFT기둥의 강재 및 콘크리트의 온도와 변형을 측정하고자 하였으며, 열전대는 강재부위에 4개소를 KS F 2257-1의 규정에 따라 철근 내부에 드릴링하여 설치하였다. 콘크리트는 내부의 온도를 계측하고자 일방향으로 5개를 10mm 간격과 중앙부에 설치하였으며, 이방향 코너부의 온도와의 영향을 분석하고자 2개의 열전대를 추가적으로 <표 2>와 같이 계획하여 <그림 2>와 같이 설치하였다.

또한 CFT기둥의 가열로 설치를 위한 엔드플레이트는 400×400×40을 설치하였으며, 기둥내부의 압력분출 및 열전대 노출을 위한 Vent Hole은 3set로 총 6개를 가공하여 실험체를 제작하였다.

<표 2> CFT각형강관 열전대 설치계획

형상조건	콘크리트	강재	열전대 설치			열전대 규격
			강재부위	콘크리트 Group-1	콘크리트 Group-2	
360*360*9	- 24 & 40MPa	SS400  Fy= 235MPa	4개소 (1~4번)	일방향 (5~10번) 0mm(판형) 10mm	이방향 (11~12번) 10mm 30mm	K-TYPE  1mm
			강재표면 드릴 후 삽입	20mm 30mm 50mm 140mm		
280*280*6	규산질 골재사용					



<그림 2> 열전대 설치위치 및 엔드플레이트 설치

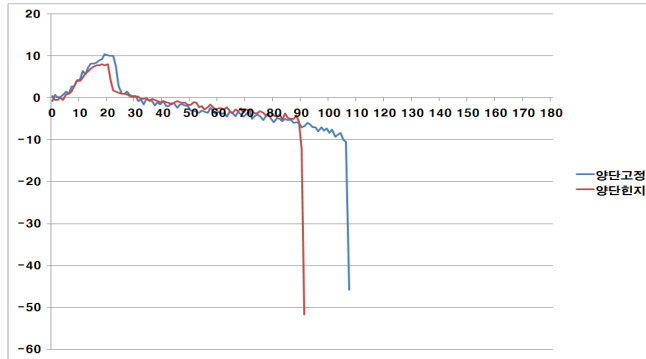
### 3. 실험결과

시험체 내부 위치별 온도분포를 살펴보기 위하여 총12개의 열전대를 설치하였으며, 그중 1~4는 강재 온도, 5~12는 내부 콘크리트 온도를 측정하였다. 11과 12는 이방향 코너부 온도로 각각 10mm, 30mm이며, 9는 강재와 콘크리트의 경계면, 5~8은 일방향 10mm 간격으로 설치되었다. 10은 중심부 온도를 확인하였다.

#### 3.1 CFT 각형기둥 360단면조건에서의 경계조건 영향분석

360단면의 24MPa에서 축력비 0.6조건으로 내화성능 영향인자의 조건을 동

일하게 유지시키고 내화성능을 평가한 결과, 양단 고정조건에서는 106분의 내화성능이 확보되나 양단 힌지 조건에서는 89분의 내화성능을 확보하는 것으로 나타났으며, 이는 경계조건에 따라 약 17분의 내화성능의 차이가 나타나는 것으로 <그림 3>과 같이 분석된다.



<그림 3> 경계조건 변화에 따른 변형특성 비교(축력비 0.6, 24MPa, 360단면)

### 3.2 CFT 각형기둥 280단면조건에서의 경계조건 영향분석

80단면의 24MPa에서 축력비 0.6조건으로 내화성능 영향인자의 조건을 동일하게 유지시키고 내화성능을 평가한 결과, 양단 고정조건에서는 113분의 내화성능이 확보되나 양단 힌지 조건에서는 78분의 내화성능을 확보하였다. 경계조건 변화에 따라 약 35분의 내화성능의 차이가 나타나게 되며, 이러한 영향은 단면크기가 줄어들수록 경계조건에 의한 효과가 더 크게 과생되는 경향성이 <그림 4>와 같이 도출된다.



<그림 4> 경계조건 변화에 따른 변형특성 비교(축력비 0.6, 24MPa, 280단면)

#### 4. 소결

CFT기둥의 경계조건 변화에 따른 내화성능 영향성을 분석한 결과, 양단고정이 양단힌지에 비해 내화성능이 확보될 수 있는 것으로 나타났다.

- 1) 경계조건변화에 따라 CFT기둥의 내화성능을 평가한 결과, 양단고정이 양단힌지에 비해 내화성능이 확보될 수 있는 것으로 나타났다.
- 2) 360단면의 24MPa에서 축력비 0.6조건으로 경계조건에 대한 내화성능 영향성을 분석한 결과, 양단고정 조건이 적용될 경우 17분의 내화성능을 양단힌지 조건에 비해 더 확보할 수 있는 것으로 나타났다.
- 3) 280단면의 24MPa에서 축력비 0.6조건에서는 양단 고정 조건이 양단힌지조건에 비해 약 35분의 내화성능을 추가적으로 확보하는 것으로 분석된다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원에서 수행하는 기관고유사업인 “(10기본) 구조물 성능기반 화재 거동해석 및 설계기술 연구” 과제와 관련하여 지식경제부의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 국토해양부(2009), “콘크리트 충전강관(CFT)구조의 내화성능 설계기술 개발- 3차년도 최종 보고서”, 한국건설교통기술평가원, pp.114-159.
2. L.H. Han, Y.F. Yang, Lei Xu, (2003), An experimental study and calculation on the fire resistance of concrete-filled SHS and RHS columns, J. Constr. Steel Research 59, pp.427-452.
3. Liang Q.Q., Uy B., and Liew, R. (2006), “Nonlinear analysis of concrete-filled thin-walled steel box columns with local buckling effects”. Journal of construction steel research, 62, 581-591
4. Liang Q.Q., and Uy B (1998). “Parametric study on the structural behaviour of steel plates in concrete-filled fabricated thin-walled box columns”. Advances in Structural Engineering, 2(1), 57-71.
5. Liang Q.Q., Uy B. (2000). “Theoretical study on the post-local buckling of steel plates in concrete-filled box columns”. Computers and Structures, 75(5), 479-490.
6. Lie T.T., Structural fire protection. Manuals and reports on engineering practice, vol. 78. New York (NY): ASCE; 1992.
7. Lie, T.T., Irwin, R.J. (1995) Fire resistance of rectangular steel columns filled with bar-reinforced concrete, Journal of Structural Engineering, ASCE, pp.797-805.
8. Lin-Hai Han, Xiao-Ling Zhao, M.ASCE, You-Fu Yang and Jiu-Bin Feng. (2003) Experimental Study and Calculation of Fire Resistance of Concrete-Filled Hollow Steel Columns, Journal of Structural Engineering, pp. 346-355.