

축하중을 받는 내화피복 CFT기둥의 온도분포 특성

Characteristics of Temperature Distribution of Axially Loaded CFT Column with Fire Protection

김 해 수¹⁾

Kim, Hae Soo

윤 성 기^{2)*}

Yoon, Sung Kee

Abstract

When the fire occur, concrete filled steel tube(CFT) columns expected to form a much distinction in a fire resistance performance according to a kind of fire protection because the steel surface is directly exposed to high temperature. In this study, an experiment by three factors which were kind of fire protection, thickness of protection and time was performed to get the characteristics of temperature distribution types of CFT column with fire protection. As the result of this study, on a basis of heating temperature, spray protection was the most superior in a fire resistance performance, fireproof paint was next, and without fire protection was most inferior. In a heating time-location relationship, the temperature increased slowly on the surface of the concrete, but the temperature increased sharply on the surface of the steel.

Keywords : Fire resistance performance, Temperature distribution characteristic, Fire protection, Thermal properties

1. 서론

최근에 빈번하게 발생하는 건축물의 화재는 구조물의 안전은 물론 심각한 인명피해를 발생시키고 있다. 특히 주요구조 부재인 기둥의 하중저항능력은 구조물의 안전에 중요한 역할을 하고 있음은 주지의 사실이다. 콘크리트가 충전된 강관(CFT, concrete filled steel tube)기둥은 콘크리트에 대한 강관의 구속효과와 콘크리트의 충전에 따른 강관의 좌굴억제 효과로 인하여 하중저항능력이 우수한 구조부재로 인정받고 있다(대한건축학회, 2004). 또한 강관내부 콘크리트의 축열효과에 의하여 그 자체만으로 상당한 내화성을 확보하고 있다고 평가되어 왔다(정경수 등, 1997).

한편 화재발생시 CFT기둥은 콘크리트가 강재를 피복하고 있는 일반적인 SRC기둥과는 달리 강재의 표면이 고열에 직접 노출되기 때문에 강관의 내화피복 유무와 피복의 종류 및 피복두께에 따라 내화성능에서 많은 차이가 예상된다. 또한 건축물의 하중이 재하된 상태에서 화재에 의한 고열을 동시에 받기 때문에 화재지속 시간과 온도의 상승에 따른 부재의 거동을 파악하기 어려운 문제가

발생된다.

본 연구에서는 화재발생시 하중과 시간의 경과에 따른 CFT기둥의 내화특성을 파악하기 위하여 내화피복의 유무, 피복의 종류와 내화시간을 변수로 하여 실험을 실시하였다. 본 실험에서 제작된 시험체는 실제 CFT기둥의 1/4축척의 각형강관기둥 시험체를 제작하고, 축척에 따른 시험체의 길이는 세장비(KL/r)를 15로 고정하였다. 실험 결과는 ISO 834의 표준 시간-가열온도 곡선과 비교 분석을 실시하였다.

본 연구를 통하여 축소모형을 사용한 내화실험 결과를 실물실험의 결과와 비교함으로써 내화피복에 따른 CFT기둥의 온도분포 특성을 파악하여 CFT기둥의 설계에 도움이 되고자한다.

2. 기존연구 및 표준화재시험

2.1 기존연구

CFT기둥을 사용한 기존 국내의 관련 연구는 중심축력을 받는 콘크리트충전 강관기둥의 내화성능(정경수 등,

1) 정회원, 동의과학대학 건축과 교수, 박사과정수료

2) 정회원, 부산대학교 건축학부 교수, 공학박사

* Corresponding author : skyoon@pusan.ac.kr 051-510-2363

• 본 논문에 대한 토의를 2010년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 2010년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

2000)가 실험체(단면 : □-300×9.0, ○-318.5×7.0 등, 길이 3.5m)로 온도분포와 최대내력의 관계를 연구하였다. 이후 콘크리트충전 강관기둥의 내화실험에 대한 고찰(박기창 등, 2000)에서 재하가열실험 후의 강관 및 콘크리트의 화재손상평가를 중심으로 하여 온도에 따른 축력비의 변화를 연구하였다.

일정 축력을 받는 콘크리트충전 원형 및 각형 강관기둥의 내화성능 평가(박수희 등, 2007, 2008)에서는 단면 내의 온도분포, 최대내력 및 축방향 거동 등에 관한 내화성능의 영향인자에 관하여 고찰하였다. 또한 Eurocode Model을 적용한 실험형 내화실험을 통하여 각형 CFT기둥의 내화성능평가연구(박수희 등, 2007)를 진행하였다.

한편 각형 CFT기둥의 내화성능 평가실험(박수희 등, 2007)에서는 CFT기둥의 온도 분포특성에 영향을 미치는 강재와 콘크리트의 열적 특성치인 밀도, 비열 및 열전도율은 Joseph Zicherman (1996)이 제시한 값을 적용하였다. 또한 실제 온도해석으로 밀도와 비열 대신 두 물성의 곱인 열성능의 개념(강석원 등, 2002)을 적용하여 재료의 열적특성을 연구하였다.

2.2 표준화재시험

강재의 내화성능평가는 요구되는 시간동안 기준에 의해 정해진 시간별 온도상승 곡선에 부재를 노출 시켜 평가기준을 적용하는 경우가 일반적이다. 이러한 표준 시간-가열온도 곡선은 미국의 경우 ASTM E119(NFPA 251, UL 263), 영국의 경우 BS 476 : Part 20 to 23, 일본의 경우 JIS A 1304 등이 있으며, 나라마다 큰 차이는 없다. 우리나라의 경우 KS F 2257(건축구조부분의 내화시험법)에 규정되어있다 (한국표준협회, 2005).

KS F 2257의 가열조건은 건축물의 통상의 화재에서 발생하는 가열조건을 모델화 한 것으로 이 기준은 ISO 834의 내화시험방법을 모델로 한 것이다(ISO 834, 1999).

온도하중은 표준 시간-가열온도 곡선을 적용하여 강관 표면에 직접 가하였다. 시간경과에 따른 가열온도는 식(1)과 같다.

$$T = 345 \cdot \log_{10}(8t + 1) + T_0 \quad (1)$$

여기서, T 는 가열온도(°C), t 는 가열시간(min), T_0 는 상온상태의 주변온도(°C)로 20°C이다.

Fig. 1은 식(1)을 적용하여 나타난 표준시간-가열 온도곡선을 나타낸 것이다. 곡선에서 가열 초기인 5분 이내에 약 400°C에 도달하고 30분경과시에 850°C에 도달한다. 이후 완만한 온도상승을 보이며 180분에 1,100°C, 330분에 1,200°C에 도달함을 알 수 있다.

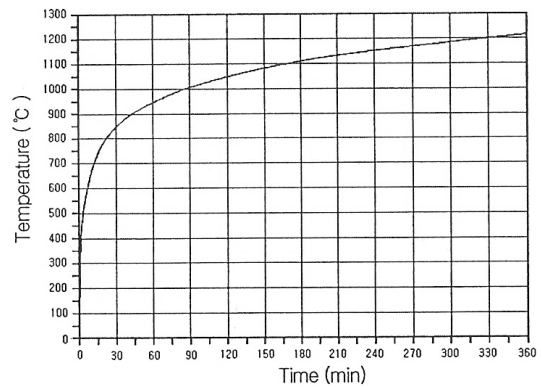
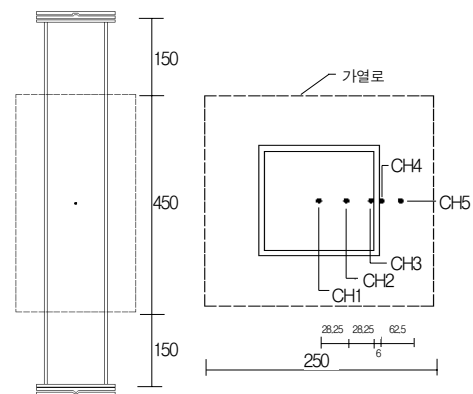


Fig. 1 표준 시간-가열 온도곡선(KSF 2257-1, 4, 5, 7)



(a) 시험체 (b) 단면형상 및 열전대위치
Fig. 2 시험체의 형상 (단위:mm)

3. 실험 계획

3.1 실험 개요

CFT기둥의 내화피복에 따른 온도분포 특성에 대한 실험을 위하여 제작한 시험체의 형상과 치수는 Fig. 2와 같다. Fig. 2(b)에서의 CH1~CH5는 부위별 열전대의 부착위치를 나타낸 것으로 콘크리트 중앙부(CH1), 콘크리트 중간부(CH2), 콘크리트표면 및 강관내부표면(CH3), 강관 외부표면(CH4), 및 전기로 내부(CH5)이다. 실험에 사용된 열전대(thermocouple)는 K형으로 온도범위는 -250°C ~ 1,260°C 범위이고, 길이는 절연재 30cm 포함하여 6m이다.

실험에 따른 각종 변수의 타당성을 파악하기 위하여 내화피복의 유무, 내화피복의 종류와 피복두께 등 각 변수별로 1개씩 총 5개의 시험체를 제작하였다. 각 시험체의 일람표와 변수는 Table 2와 같다.

Fig. 3은 시험체의 제작된 상태이며 콘크리트 타설과 열전대가 부착된 모습을 보여준다. 시험체는 □-125×125×6.0 (SPSR 400)인 각형강관을 사용하였고, 콘크리트의 강도는 $f_{ck} = 24 \text{ MPa}$ 를 사용하였다.

Table 2 시험체 일람표

시험체명	내화피복 종류	두께 (mm)	내화시간 (시간)	기둥길이 (mm)	유효 가열길이 (mm)
CFT-SA1F0	무내화	0	1	750	450
CFT-SA1F1	내화페인트	0.85	1	750	450
CFT-SA1F2	내화뿔칠	20	1	750	450
CFT-SA2F2	내화뿔칠	30	2	750	450
CFT-SA3F2	내화뿔칠	40	3	750	450

주) CFT-SA1F1

- S: 각형강관 (□-125×125×6.0), A: 콘크리트강도($f_{ck} = 24 \text{ MPa}$),
- 1: 내화시간(1시간), 2: 내화시간(2시간), 3: 내화시간(3시간)
- F0: 무내화피복, F1: 내화페인트(0.85mm이상),
- F2: 내화뿔칠(두께: 20~40mm이상)
- KL = $15 \times r = 15 \times 48.2 = 723\text{mm} \rightarrow 750\text{mm}$



Fig. 3 시험체의 제작

시험체의 길이는 축소모형과 좌굴을 고려하여 세장비 (KL/r)를 15로 고정하여 750mm로 하고, 유효 가열길이는 직접 가열실험을 실시하는 부분으로 양단에서 150mm를 제외하고 450mm로 하였다.

시험체의 변수는 내화피복의 유무, 피복종류 및 내화시간으로 두고, 내화피복이 없는 무내화 시험체, 내화페인트 피복(도막두께 0.85mm이상, 1시간 내화) 시험체, 내화뿔칠 피복(두께 20mm이상 : 1시간 내화, 30mm이상 : 2시간 내화, 40mm이상 : 3시간 내화) 시험체로 구분하였다.

3.2 실험 방법

하중의 재하방법은 Fig. 4와 같이 가열시 열에 의한 영향을 받지 않는 기둥 하부에서 재하하고, 재하속도는 UTM 내부의 로드셀에 의한 하중제어 방식으로 한다. 가열 15분전 시험체에서 제시한 작용축력을 640kN(장기 허용축력의 1.2배)까지 재하하고, 하중 재하상태에서 표준화재 곡선(KSF 2257)에 따라 가열한다.

장기 허용축력은 충전콘크리트와 강재가 부담할 수 있는 허용축력에 축력비를 곱하여 다음 식으로 구하였다.

$$N_a = \beta \times (N_c + N_s) \quad (2)$$

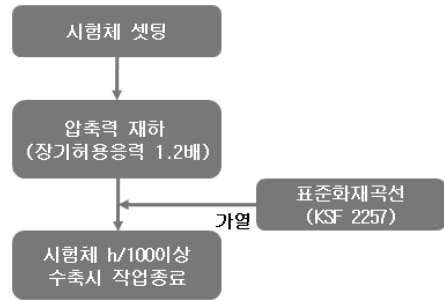


Fig. 4 시험체의 가열방법



Fig. 5 재하 및 가열장치



Fig. 6 시험체의 설치전경

여기서, N_a 는 장기 작용축력, β 는 축력비(0.55), N_c 와 N_s 는 각각 콘크리트와 강재가 부담하는 축력이다.

시험체의 가열은 Fig. 5와 같이 압축력 2,000kN의 만능시험기(UTM)를 사용하여 기둥용 가열로 상·하단에서 세팅하여 가열한다. 시험체의 가열은 축방향 하중을 가하기 위해 기둥 상하 단부에 힌지를 설치하여 편심하중이 발생하지 않도록 한다. 수직변형량은 선형자동변위계를 사용하여 컴퓨터에서 자동으로 기록한다.

또한, 시험체의 열팽창 및 수축에 의한 연신량은 유압 실린더에 부착된 선형자동변위계로 측정하고, 시험체가 $h/100$ (h : 유효 가열길이)이상 수축 시 실험을 종료하며, Fig. 6은 시험체의 설치전경을 나타낸 것이다.

실험 중 UTM 가열하중의 지속적인 유지 가능성과 고열에 따른 UTM의 손상 문제를 해소하기 위하여 세라믹 보드를 설치하여 단열을 실시하였다. 또한 전기로 온도강하시간(200℃ 하강 / 1시간 - 약 4시간 정도 소요)을 고려하여 실험시간을 유지하고, 특히 전기로의 잠금장치 부분으로의 열 배출이 생기지 않도록 기밀성을 유지하도록 하였다.

4. 실험 결과

내화피복에 따른 CFT기둥의 온도분포 특성을 평가하기 위하여 실험한 결과를 시험체별 가열시간과 시간-가

열온도 곡선 및 시험체의 위치별 온도분포곡선을 분석하였다. 일부 시험체는 급격한 변위 증가에 따라 가력을 중단하고 실험을 종료하였다.

4.1 가열 시간

Table 3은 가열시간에 따른 시험체 별 가열시간으로 내화피복재의 연소시작, 종료온도 및 실험종료 시 전기로의 내부온도를 나타낸 것이다.

무내화 피복인 CFT-SA1F0 시험체는 전기로 내부, 콘크리트 중앙부 및 강관 외부표면에 3개의 열전대를 부착하여 각 지점의 온도변화를 측정하였다. 가열 후 370°C에서 강재표면의 연소가 시작되어 700°C에서 종료되었고, 930°C에서 실험을 종료하였다. 또한 축방향 변위와 UTM의 자체변위는 거의 없었다.

내화페인트를 피복한 CFT-SA1F1 시험체는 전기로 내부, 콘크리트 중앙부, 강관 외부표면, 콘크리트 중간부, 콘크리트 표면 및 강관내부표면 등 총 5개의 열전대를 부착하여 각 지점의 온도변화를 측정하였다. 가열 후 580°C에서 내화페인트 피복부분이 연소하기 시작하여 730°C에서 종료되었다. 내화피복재의 연소 후 시험체의 온도가 크게 상승하였으며, 801°C에서 축방향 변위가 증가하기 시작하여, 813°C에서 급격한 변위 증가를 보임(h/100 초과)에 따라 가력을 중단하고 실험을 종료하였다.

내화뿔칠재를 피복한 CFT-SA1F2, CFT-SA2F2, CFT-SA3F2 시험체 모두 전기로 내부, 콘크리트 중앙부 및 강관 외부표면에 3개의 열전대를 부착하여 각 지점의 온도를 측정하였다. CFT-SA1F2 시험체(1시간 내화)는 가열온도가 521°C에서 내화뿔칠 피복이 연소하기 시작하여, 847°C에서 연소가 종료되었고, 가열시작 이후 2시간 30분이 경과한 978°C에서 실험을 종료하였다. 시험체의 축방향 변위는 아주 미소하게(6.88mm, 5.71mm) 나타났고 UTM의 자체변위는 거의 없었다.

CFT-SA2F2 시험체(2시간 내화)는 가열온도 321°C에서 내화뿔칠 피복이 연소하기 시작하여, 850°C에서 연소가 종료되었고, 가열시작 이후 2시간 30분경과한 980°C에서 실험을 종료하였다. 시험체의 축방향 변위는 아주 미소하게(6.15mm, 4.98mm) 나타났고 UTM의 자체

변위는 거의 없었다.

CFT-SA3F2 시험체(3시간 내화) 역시 가열온도 350°C에서 내화뿔칠 피복이 연소하기 시작하여, 846°C에서 연소가 종료되었고, 가열시작 이후 3시간이 경과한 983°C에서 실험을 종료하였으며, 축방향 변위는 아주 미소하게(5.42mm, 4.39mm) 나타났고 UTM의 자체변위는 거의 없었다. 내화뿔칠 시험체 모두 내화피복재의 연소 후 시험체의 온도가 상승함을 알 수 있었다.

Fig. 7은 내화실험 후 각 시험체의 상태를 나타낸 것이다. 그림에서 CFT-SA1F1 시험체를 제외한 4개의 시험

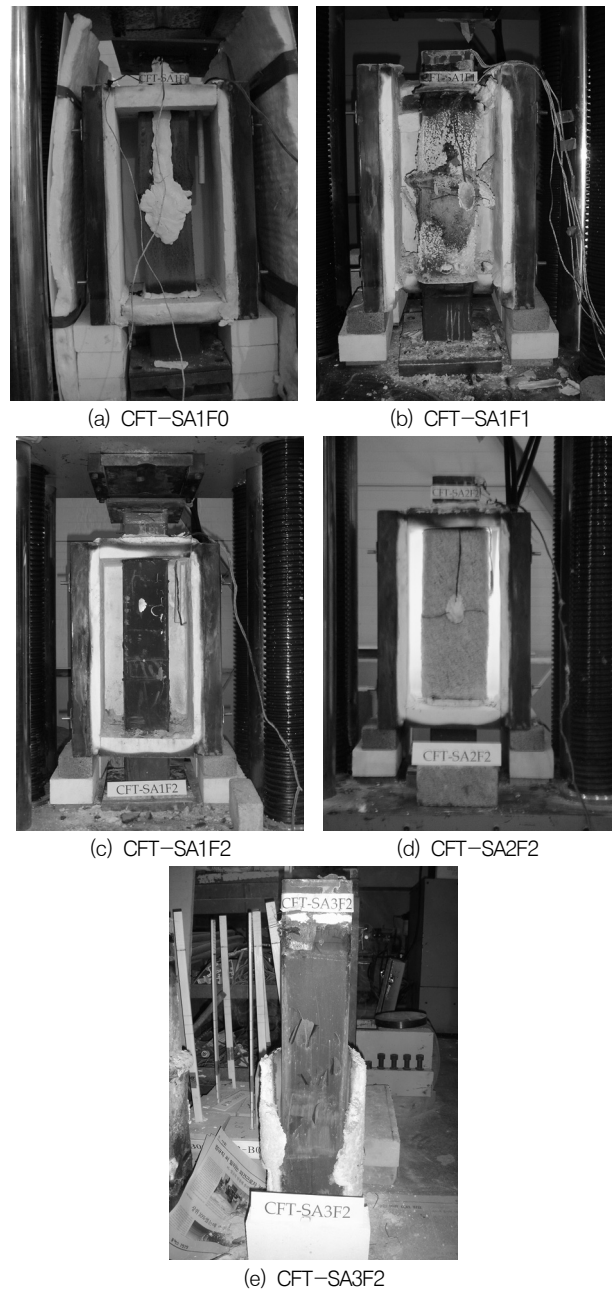


Fig. 7 내화실험 후 각 시험체의 상태

Table 3 시험체별 가열시간

시험체명	총가열시간 (분)	연소시작온도 (°C)	연소종료온도 (°C)	실험종료온도 (°C)
CFT-SA1F0	140	370	700	930
CFT-SA1F1	140	580	730	813
CFT-SA1F2	150	521	847	978
CFT-SA2F2	150	321	850	980
CFT-SA3F2	180	350	846	983

체는 강재와 콘크리트가 모두 양호한 상태를 나타내고 있음을 알 수 있다. 한편 CFT-SA1F1 시험체는 실험장치의 오작동으로 인한 오류로 시험체의 붕괴가 나타났다.

4.2 시험체별 온도분포

각 시험체의 가열시간에 따른 위치별 가열온도곡선과 내화피복에 따른 온도분포 곡선으로 구분하여 제시하였다.

4.2.1 시험체 위치별 온도분포 곡선

각 시험체별 가열시간에 따른 위치별 표면 온도분포결과는 Table 4~Table 6에 나타내었다.

각 시험체별로 위치별 온도분포 결과를 살펴보면, 내화뿔칠된 시험체(F2시험체)의 가열시간에 따른 온도분포결과는 Table 4와 같다.

1시간 내화를 목표로 한 CFT-SAIF2(내화뿔칠, t=20mm)의 경우 강재외부표면과 콘크리트 중앙부의 온도가 CFT-SAIF1(내화페인트, t=0.85mm)에 비해 온도가 낮게 나타났다.

특히 콘크리트 중앙부의 경우 1시간 경과 시 CFT-SAIF2 시험체가 CFT-SAIF1 시험체에 비하여 온도분포가 55%로 나타나 내화뿔칠이 내화페인트에 비해 매우 우수한 내화성능을 나타내고 있음을 알 수 있다.

2시간 및 3시간 내화를 목표로 한 CFT-SA2F2(내화뿔칠, t=30mm)와 CFT-SA3F2(내화뿔칠, t=40mm)의 경우도 각 온도별 온도 분포가 2시간 경과 시 콘크리트 중앙부에서 CFT-SA3F2 시험체가 CFT-SA2F2 시험체에 비하여 온도분포가 81%로 낮게 나타났다.

한편, 내화피복이 없는 무내화 시험체인 CFT-SAIF0

시험체의 경우, Table 5에서 강재의 외부표면온도는 가열 초기(30분~60분)에는 전기로 내부온도 분포보다 약간 낮게 나타났지만 가열시간이 경과 후에는 전기로 내부온도 분포와 비슷한 양상을 띠고 있음을 알 수 있다. 특히 가열시간별 표준 시간-가열 온도곡선과 전기로 내부온도 분포와의 관계는 가열 초기(30분)에는 전기로 내부온도(330℃)가 표준 시간-가열 온도 곡선(820℃)에 비해 약 40%정도의 온도비를 나타내고 있으며, 60분경과시 59% 정도로 나타났다. 이후 90분경과시 72%, 120분경과시 81%, 150분경과시 88%로 나타났으며, 시간이 경과함에 따라 전기로 내부의 온도상승 비율이 표준 시간-가열 온도 곡선에 근접함을 보여주고 있다.

Table 6은 내화페인트를 피복한 시험체의 온도분포 결과를 나타낸 것으로, 1시간 내화를 기준으로 강재 외부표면과 콘크리트 중앙부의 온도가 각각 354℃, 128℃로 무내화 시험체에 비해 내화성능이 약 73%, 72% 향상됨을 알 수 있다.

Fig. 8은 강관 외부표면과 콘크리트 중앙부에서의 각 시험체 위치별 온도분포로 표준내화곡선과 콘크리트 중앙, 강관외부 및 전기로 내부의 온도분포를 나타낸 것이다. 강관 외부표면은 목표 내화시간이 증가함에 따라 더 높은 열을 받는 것으로 나타났다. 그림에서 내화페인트를 피복한 CFT-SA1F1 시험체와 내화뿔칠을 피복한 CFT-SA2F1, CFT-SA2F2 및 CFT-SA3F2 시험체의 온도 이력이 상당한 차이를 보이고 있음을 알 수 있었다. 특히 콘크리트 중앙부의 온도분포는 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

또한 콘크리트의 중앙부를 시점으로 단면의 중심(0mm)

Table 4 내화뿔칠된 시험체(F2시험체)의 가열시간에 따른 온도분포

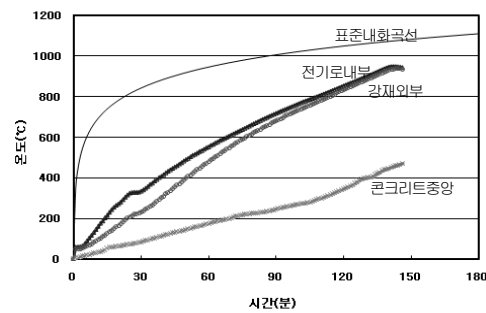
가열시간 (min)	표준 시간-가열 온도 곡선(℃)	전기로 내부온도(℃)			강재외부 표면온도 (℃)			콘크리트 중앙온도 (℃)		
		내화 1시간	내화 2시간	내화 3시간	내화 1시간	내화 2시간	내화 3시간	내화 1시간	내화 2시간	내화 3시간
30	820	352	310	337	82	76	67	20	18	21
60	930	663	644	648	274	110	106	70	61	52
90	1,000	815	807	808	530	367	250	102	92	83
120	1,050	929	922	914	674	641	565	147	123	100
150	1,082	972	971	959	717	669	543	191	171	136
180	1,109	.	.	961	.	.	578	.	.	141

Table 5 가열시간에 따른 온도분포(CFT-SAIF0) (무내화-1시간내화)

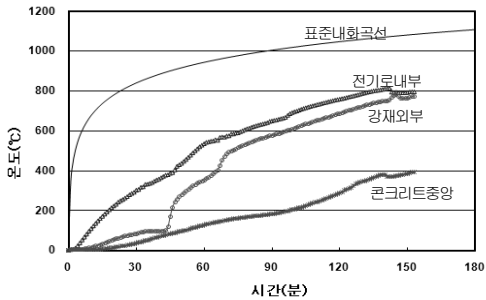
가열시간 (min)	표준 시간-가열 온도 곡선(℃)	전기로내부 온도(℃)	강재외부표면 온도(℃)	콘크리트 중앙온도(℃)
30	820	333	232	86
60	930	552	480	176
90	1,000	718	680	231
120	1,050	853	832	338
150	1,082	949	936	456

Table 6 가열시간에 따른 온도분포(CFT-SAIF1) (내화페인트-1시간내화)

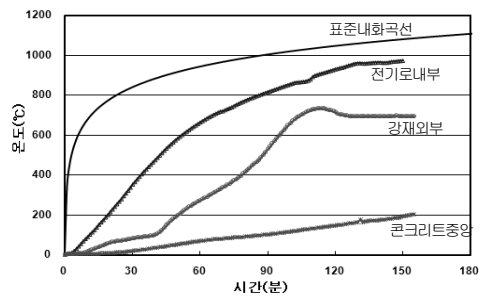
가열시간 (min)	표준 시간-가열 온도 곡선(℃)	전기로내부 온도(℃)	강재외부표면 온도(℃)	콘크리트 중앙온도(℃)
30	820	302	85	32
60	930	536	354	128
90	1,000	651	577	183
120	1,050	760	688	290
150	1,082	794	764	386



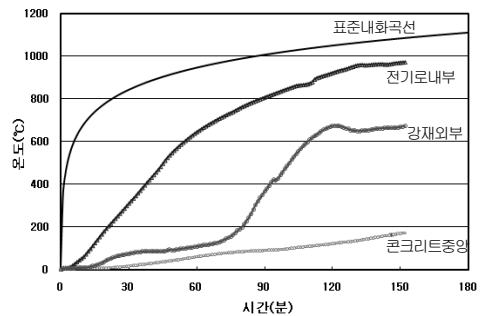
(a) 무내화 피복(CFT-SA1F0)



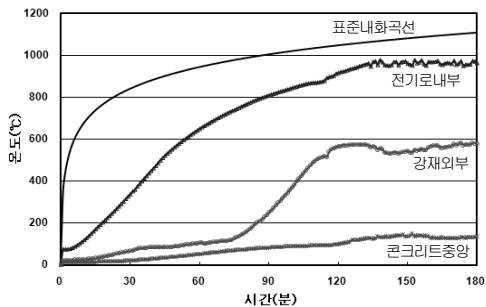
(b) 내화페인트 피복(CFT-SA1F1)



(c) 내화뿔철재 피복(CFT-SA1F2)



(d) 내화뿔철재 피복(CFT-SA2F2)



(e) 내화뿔철재 피복(CFT-SA3F2)

Fig. 8 각 시험체의 위치별 온도분포

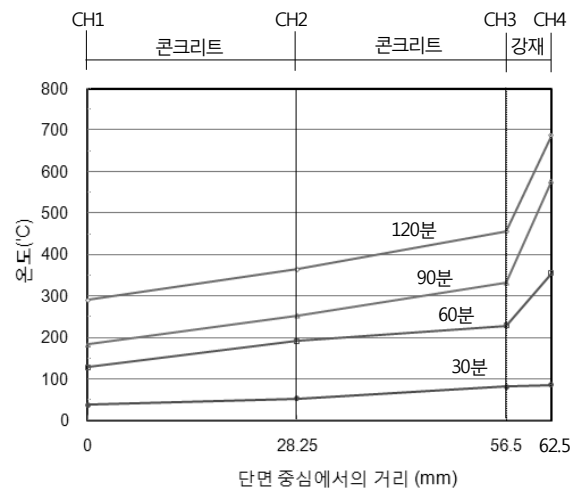


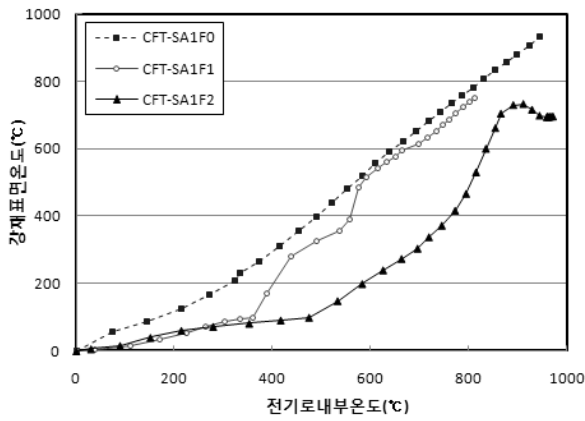
Fig. 9 시험체 단면 중심에서 거리별 온도분포

에서부터 강관의 외부표면(62.5mm)까지의 가열시간-거리별 온도분포는 Fig. 9와 같다. 콘크리트부분의 온도 증가는 완만한 증가를 보이고 있으나 강관 외부표면에 도달하면 급격한 온도의 증가를 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 콘크리트와 강재의 비열, 열전도율 등 온도변화에 따른 재료의 특성치는 강재가 콘크리트에 비하여 훨씬 크게 나타나고 있음에 연유한 것으로 판단된다.

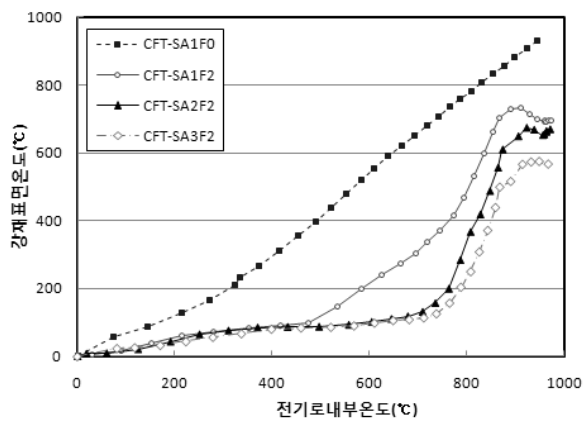
4.2.2 내화피복에 따른 시험체별 시간-가열온도 곡선
내화피복의 종류 및 두께에 따른 시험체별 온도분포는 Fig. 10과 같으며, Fig. 10(a)와 같이 내화피복 종류별로 살펴보면, 무내화 (CFT-SA1F0)는 전기로 내부 온도에 비례해서 강재표면 온도가 선형적으로 상승하고 있다. 내화페인트 (CFT-SA1F1)의 경우는 가열 후 40분정도 경과하여 전기로 내부 온도가 대략 360°C가 되는 시점을 경계로 급격하게 강재표면 온도가 상승함을 알 수 있으며, 전기로 내부 온도가 600°C 이상에서는 강재표면온도가 무내화의 경우와 비슷한 분포를 보이고 있다.

내화뿔철 (CFT-SA1F2)의 경우는 가열 후 40분정도 경과하여 전기로 내부 온도가 대략 480°C가 되는 시점까지는 강재표면온도가 100°C까지 서서히 증가하며, 그 이후로는 증가속도가 빨라지는 것을 알 수 있다. 그러나 내화페인트와 달리 내화뿔철의 경우는 가열시간이 증가하여 전기로 내부온도가 상승하여도 강재표면 온도가 무내화와 비슷한 값까지는 상승하지 않음을 알 수 있다. 동일한 1시간 내화인 경우에는 내화페인트보다 내화뿔철이 효과적인 것으로 판단된다.

또한, Fig. 10(b)와 같이 내화피복의 두께별 온도분포를 살펴보면, 내화뿔철의 피복두께 20mm (CFT-SA1F2)의 경우는 가열 후 40분정도 경과하여 전기로 내부 온도가 대략 480°C가 되는 시점까지는 강재 표면온도가 서서



(a) 내화피복 종류



(b) 내화피복 두께

Fig. 10 내화피복에 따른 시험체별 온도분포

히 증가하며, 그 이후로는 증가속도가 빨라지는 것을 알 수 있다. 피복두께 30mm (CFT-SA2F2)의 경우는 가열 후 70분정도 경과하여 전기로 내부 온도가 대략 700°C가 되는 시점을 전후로 하여 강제표면온도의 상승속도가 빨라지며, 피복두께 40mm (CFT-SA3F2)의 경우는 가열 후 75분정도 경과하여 전기로 내부 온도가 대략 740°C가 되는 시점을 전후로 하여 강제표면온도의 상승속도가 빨라지는 것을 알 수 있었다.

강제표면의 온도는 CFT-SA1F2는 732°C, CFT-SA2F2는 673°C, CFT-SA3F2는 576°C까지 상승하였다. 피복 두께가 두꺼워질수록 강제표면 온도가 급격하게 상승하는 시점까지의 가열시간은 길고, 전기로 내부온도는 높다는 것을 알 수 있고 강제표면의 최대온도가 낮아짐을 알 수 있었다.

내화뿔칠피복은 내화페인트와는 달리 발포층의 형성이 없는 두꺼운 무기질재료이기 때문에 초기 가열조건(약 100°C 전후)에서 온도의 상승이 늦고, 또한 함유수분의 증발로 인한 내부온도의 정체가 발생하기 때문에 강제온도의 상승이 지연됨을 알 수 있다. 그러나 시간경과에 따라 내화뿔칠피복 시험체의 온도상승속도가 내화페인트에

비하여 급하게 나타나는 것은 무기질피복재의 초기 단열 효과가 함유 수분증발로 인하여 열전달의 차단효과가 줄어든 것으로 판단된다.

4.2.3 내화피복에 따른 허용 온도기준 검토

KS F 2257-7에 따르면 내화 피복된 기둥의 성능조건은 재하 가열시험의 경우, 시험 중 시험체가 시험하중에 견디는 시간으로 규정하고 있어 내화 피복된 4개 시험체의 내화성능은 내화시간을 기준할 때 모두 만족한 것으로 나타났다.

한편 비재하 가열시험의 경우 강재의 허용 온도기준은 평균 538°C, 최고 649°C를 넘지 않도록 규정하고 있어, 내화 피복된 4개 시험체의 강제 외부 표면온도는 Table 4, 6에서 나타난 바와 같이 CFT-SA1F1 시험체와 CFT-SA1F2~CF TSA3F2 시험체 모두 내화 시간별로 각각 354°C, 274°C, 641°C 및 578°C를 나타내고 있어 기준을 만족하고 있음을 알 수 있었다.

5. 결론

축하중을 받는 내화피복 CFT기둥의 온도분포 특성을 파악하기 위하여 내화시간, 내화피복의 종류 및 두께를 변수로 하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 본 실험을 위해 제작한 전기로의 내부에서의 온도분포를 ISO 834의 표준 시간-가열 온도곡선과 비교한 결과 가열 시간이 경과 후에는 전기로 내부의 온도상승 비율이 근접하지만, 가열 초기에는 비교적 큰 차이를 보이고 있어 향후 기술개발을 통하여 문제점을 보완할 필요가 있다.

2) 각 시험체의 위치별로 가열시간별 온도분포 결과 가열시간 1시간을 기준으로 무내화시험체와 비교하여 내화 페인트와 내화뿔칠 시험체의 온도강하가 각각 강제 외부 표면에서는 1.3배, 1.7배로 나타났고, 콘크리트 중앙부에서는 1.4배, 2.6배로 나타나 내화성능은 내화뿔칠, 내화 페인트, 무내화의 순으로 향상됨을 알 수 있었다.

3) 내화페인트 피복 시험체와 내화뿔칠 피복 시험체의 온도 분포에 따른 내화 성능은 1시간 내화 시 내화페인트 피복 시험체의 온도를 기준할 때 내화뿔칠 피복 시험체는 두께 20mm, 30mm, 40mm의 경우 각각 1.3배, 3.2배, 3.4배로 내화뿔칠 시험체의 내화 성능이 우수함을 알 수 있었다.

4) 내화뿔칠 시험체의 위치별 온도변화는 두께 20mm인 경우를 기준으로 30mm와 40mm피복의 경우 강제 외부표면에서는 1시간 내화 시 각각 2.5배, 2.6배, 2시간 내화 시 1.1배, 1.2배의 온도강하가 나타났고, 콘크리트 중앙부에서는 내화 1시간은 각각 1.1배, 1.4배, 내화 2시간은 1.2배, 1.5배 정도의 온도강하를 나타냈다.

5) 시험체의 가열시간-거리별 온도분포는 변화는 콘크리트중앙부는 재료의 열적특성으로 인하여 온도 분포가 완만한 증가를 보이고 있으나, 강관 외부표면에 도달하면 강재의 열전도율 특성에 의하여 콘크리트 부분에 비하여 급격한 온도 상승을 나타냄을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 강석원, 홍성걸, “화재시 철골부재의 특성”, 한국강구조학회지, 제 14권, 2호, 2002, pp.84-90.
2. 대한건축학회편, 콘크리트충전강관구조, 기문당, 서울, 2004, pp.14-16.
3. 박기창, 박성모, 김동규, “콘크리트충전 강관기둥의 내화실험에 대한 고찰”, 한국강구조학회논문집, 제12권, 6호, 2000, pp.759-767.
4. 박수희, 류재용, 정경수, 박성모, “일정축력을 받는 콘크리트 충전 각형 강관기둥의 내화성능평가”, 한국강구조학회논문집, 제 19권, 6호, 2007, pp.703-714.
5. 정경수, 최성모, 김동규, “콘크리트충전 강관기둥의 내화특성에 관한 이론적 연구”, 한국강구조학회논문집, 제9권, 4호, 1997, pp.649-658.
6. 한국표준협회, KSF 2257-1, 7 건축 부재의 내화시험방법-일반요구사항 및 기둥부재의 성능조건, 2005. 7.
7. Andrew H. Buchanan, Structural Design for Fire Safety, John Wiley & Son Ltd., New York, 2001, pp.48-54.
8. ASCE, Structural Fire Protection, ASCE Manual and Report on Engineering Practice, No. 78, 1982.
9. International Organization for Standardization(ISO), ISO834: Fire-Resistance Test Elements of Building Construction, Switzerland, 1999.
10. Joseph Zicherman, Fire Safety in Tall Buildings, McGraw Hill Inc., New York, 1996, pp.229-292.

(접수일자 : 2009년 12월 31일)
 (1차수정일자 : 2010년 4월 19일)
 (2차수정일자 : 2010년 6월 2일)
 (심사완료일자 : 2010년 6월 18일)

요 지

화재발생시 콘크리트충전 강관(CFT)기둥은 강재의 표면이 고열에 직접 노출되기 때문에 강관의 내화피복에 따라 내화성능에서 많은 차이가 예상된다. 본 연구에서는 내화피복 CFT기둥의 온도분포특성을 파악하기 위하여 내화피복의 종류와 두께 및 내화시간을 변수로 하여 실험을 실시하였다. 실험결과 가열온도를 기준으로 내화성능은 내화뿔칠, 내화페인트, 무내화의 순으로 나타났다. 가열시간-위치별 온도분포는 콘크리트부분은 완만한 증가를 보이고 있으나, 강관외부표면에 도달하면 급격한 온도의 증가를 보이는 것으로 나타났다.

핵심 용어 : 내화성능, 온도분포특성, 내화피복, 열적특성