

콘크리트충전강관기둥 2시간 무내화피복 일반 내화구조 인정

정 경 수(Kyung-Soo Chung),	RIST 강구조연구소 책임연구원	kschung@rist.re.kr
최 인 락(In-Rak Choi),	RIST 강구조연구소 책임연구원	irchoi@rist.re.kr
김 도 환(Do-Hwan Kim),	RIST 강구조연구소 책임연구원	dohwan.kim@rist.re.kr
김 흥 열(Heung-Youl Kim),	한국건설기술연구원 화재안전센터장	hykim@kict.re.kr
김 범 식(Bum-Sik Kim),	(주)휴스틸 영업2팀 차장	bskim@husteel.com
이 승 민(Seung-Min Lee),	삼강엠앤티(주) 강관사업부 영업파트 과장	youmin3470@sam-kang.com

1. 서론

콘크리트충전강관 (이하, CFT(Concrete Filled Steel Tube)) 구조는 각형 또는 원형 강관 내부에 콘크리트를 충전한 구조형식으로, 강관과 콘크리트의 재료적 장점을 극대화시켜 종래의 철골조나 철근콘크리트 및 철골철근 콘크리트조에 비하여 내진/내화성능, 시공성 및 경제성이 뛰어난 특성을 가진다. 국내에서는 RIST, 대한건축학회, 한국강구조학회 등의 기술개발로 CFT 구조의 구조설계 및 시공지침이 제정되고 기술매뉴얼이 발간되는 등 관련기술의 개발 및 보급으로 CFT 구조의 현장적용 프로젝트가 증가하는 추세이다. 하지만, 우수한 내화성능을 보유한 CFT구조에 대해 국내에서는 철골조와 같은 내화피복 방법을 적용하고 있기 때문에 철근콘크리트조나 철골철근콘크리트조에 비해 적용사례는 많지 않은 실정이다.

CFT 구조는 충전된 콘크리트의 축열효과로 인해 우수한 내화성능을 나타내며, 일정한 조건을 만족시키면 내화피복을 하지 않고 시공이 가능하다. CFT 구조의 내화성능에 관한 연구는 1970년대부터 유럽에서 합성구조 연구의 일환으로 시작되었으며, 현재 유럽을 비롯한 일본, 미국 등지에서는 내화구조로 상용화되고 있다. 그러나 국내에서는 건축물의 화재성상과 무관하게 건축물의 용도, 구조, 층수에 따라 내화시간 및 부재 선정을 관련법규에서 명시된 사양적 규정에 따라 획일적으로 이루어지는 사양적 설계방법이 적용되고 있다. 따라서 건물

화재 하중이나 공간 조건 등을 설계에 반영할 수 없어 비경제적인 내화설계가 될 요인을 가지고 있다.

2006년 개정된 건축법 시행령 “건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙”에 따르면, 한국건설기술연구원장이 인정한 성능설계에 따라 실험을 통하여 내화구조로 인정받을 수 있는 방안이 마련되었다. 즉, 내화구조 인정 절차를 통하여 CFT 구조를 무내화 피복으로 시공하거나 내화피복 두께를 줄여서 시공이 가능하게 되었다. 따라서, 본고는 국내 최초로 취득한 내화 2시간 무내화피복 CFT기둥의 일반인정 내화구조에 대해서 기술하고자 한다.

2. 재료의 고온특성

2.1 강재

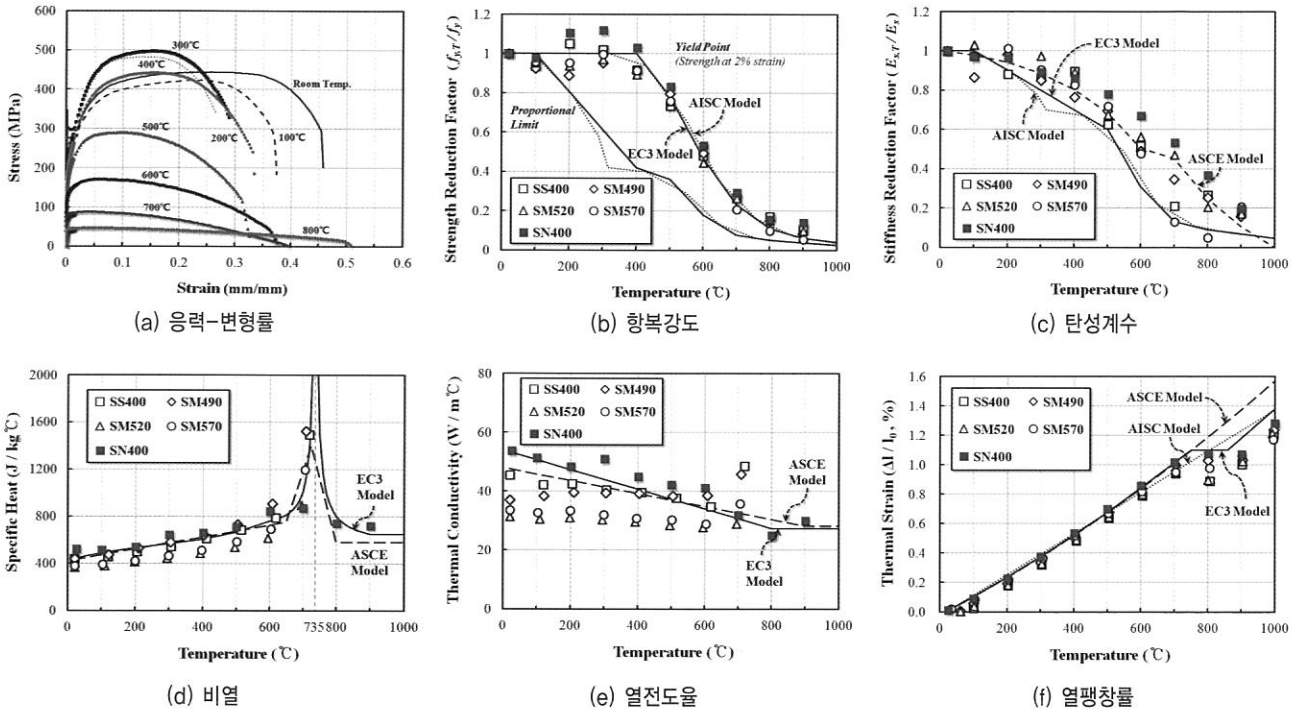
ISO 6892-2 시험편을 사전재하없이 목표온도까지 가열 온도 약 10℃/min 가열 후, 강재 내부가 목표온도에서 열적 정상상태에 도달될 수 있게 10분동안 유지시킨 후, KS B 0801에 따라 인장파괴될 때까지 하중을 가하였다. 고온에 따른 SN400강의 응력-변형률관계는 그림 1(a)에 나타내었다.

강재의 열적특성 및 고온에 따른 역학적 성질에 대한 실험 결과와 Eurocode 모델(Lennon et al., 2007)간의 비교를 그림 1(b)~(f)에 나타내었다. 강재의 고온물성 시험결과는 기존 설계기준과 유사한 값을 나타내었다.

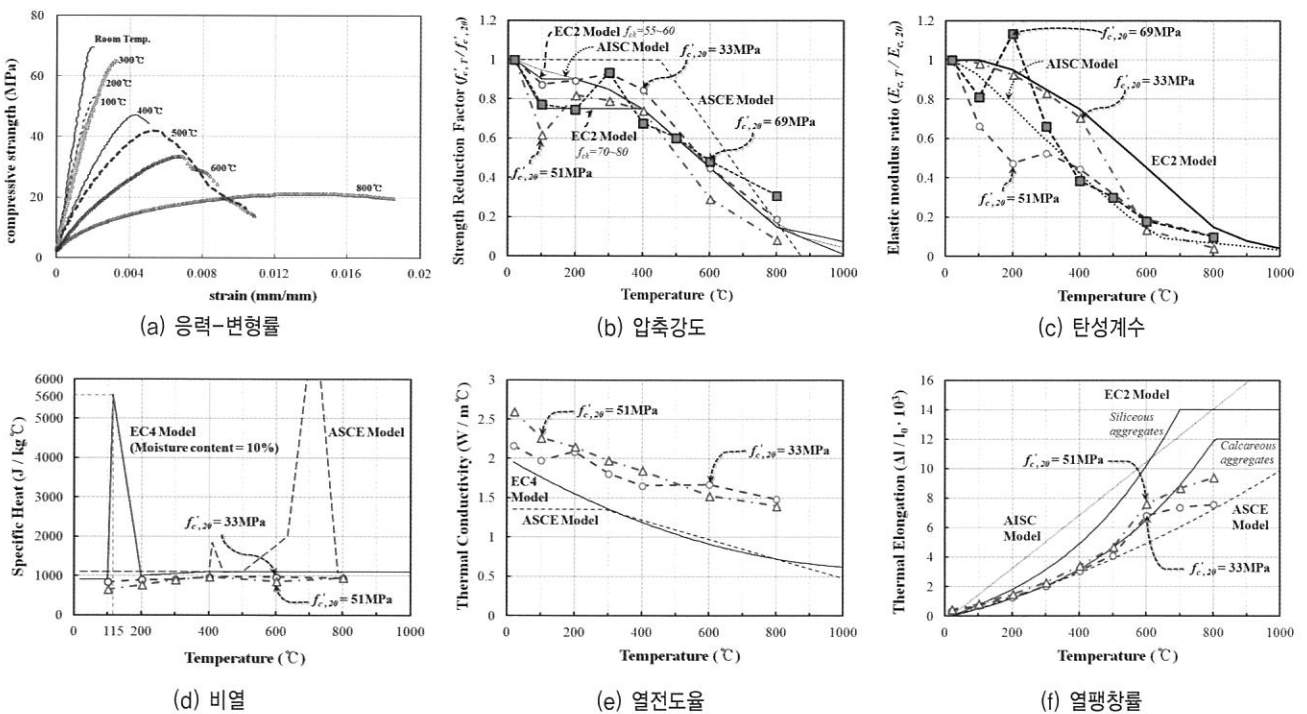
2.2 콘크리트

60MPa급 고강도 콘크리트의 고온에 따른 응력-변형률관계에 대한 사전비재하 실험결과와 Eurocode 모델(Lennon et al., 2007)와 비교를 그림 2(a)에 나타내었다. 사전비재하

실험은 사전비재하없이 목표온도까지 1°C/min 매 100°C온도상승시 마다 30분유지하는 것으로 가열하였으며, 콘크리트 내부가 목표온도에서 열적 정상상태에 도달될 수 있게 60분동안 유지시킨 후, KS F 2405에 따라 공시체가 파괴될 때까지 하



[그림 1] 건축용 강재의 고온특성 실험결과와 기존 설계기준과 비교



[그림 2] 고강도 콘크리트 고온특성 실험결과와 기존 설계기준과 비교

중을 가하였다.

고온시 고강도 콘크리트의 열적특성에 대해서 김흥열 (2004, 2005, 2006)의 실험결과는 Eurocode 모델과 유사한 경향을 보였다(그림 2(b)~(f) 참조).

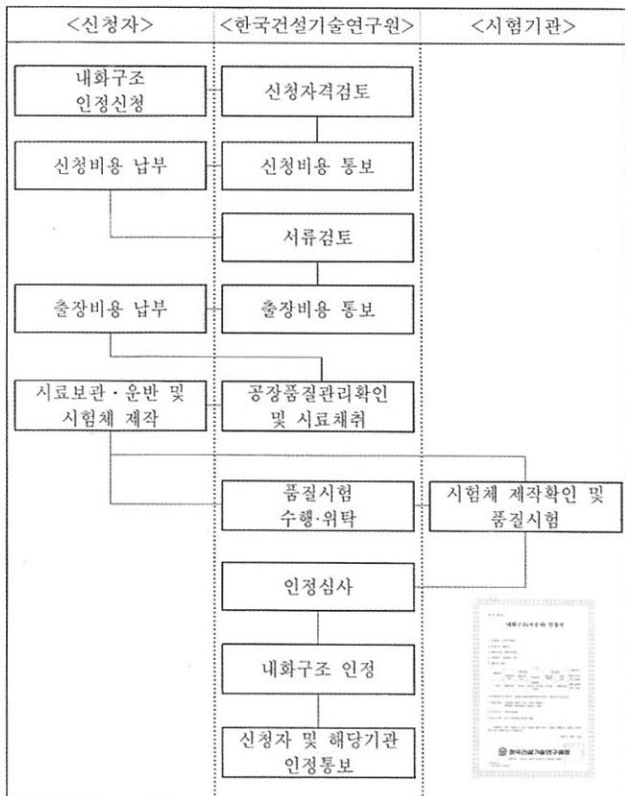
3. CFT구조의 일반 내화구조 인정

3.1 내화인정절차

표 1에서 보는 바와 같이, 일반인정 내화구조는 현장인정 내화구조에 비하여 사용범위가 당해 건설현장에서만 국한된 것

[표 1] 현장인정 내화구조와 일반인정 내화구조의 비교

	현장인정 내화구조	일반인정 내화구조
주체	당해 건설현장	최종 제품의 생산업체
내화구조의 사용	당해 건설현장에서만 사용	- 인정업체만이 사용권 행사 - 원재료(강판) 생산업체에서는 강판 지속제공
진행 프로세스	인정신청 ⇒ 서류검토 ⇒ 품질시험 ⇒ 연구원장인정	인정신청 ⇒ 서류검토 ⇒ 공장품질검사 ⇒ 품질시험 ⇒ 연구원장 인정
수행실적	주차장, 체육관 등	1999년 업무시작이후 수백여건 진행
사후관리	당해 공사 완료후 종료	3년마다 내화구조 인정 갱신 절차필요
해당기관	한국건설기술연구원	한국건설기술연구원
인정범위확대	- 인정된 구조보다 하위조건(크기, 하중 등)은 당연 인정 - 시험이 불가능한 구조 불인정	- 인정된 구조보다 하위조건(크기, 하중 등)은 당연 인정 - 시험이 불가능한 구조 불인정



※ 자문회의는 필요한 경우에만 실시

[그림 3] 일반 내화구조 인정절차



[그림 4] 공장품질검사 및 시료채취



[그림 5] 콘크리트 타설

이 아니라, 모든 건축물에 대해서 적용범위내에서 추가적인 비용과 시간이 필요없이 적용가능하다.

국내의 내화인정 업무 및 인정서 발급은 한국건설기술연구원에서 수행하고 있으며, 관련 절차는 그림 3과 같다. 일반 내화구조 인정 주체는 CFT 구조를 최종 제품화하는 제작업체는 삼강엠엔티(주)와 (주)휴스틸에 대해 추진하였으며 신청서 접수에서 최종 인정까지 총 10개월이 소요되었다.

3.2 내화성능 시험방법

내화성능시험은 구조부재, 재료 및 공법을 대상으로 가열로에서 사전에 예상되는 화재온도에 노출시키는 실험을 통하여 그 부재 및 공법의 화재안정성을 평가한 후 사용 가능 여부를 판단하게 된다. 이러한 내화 성능실험에는 식 (1)과 같은 표준 가열곡선이 사용되며, 국내의 경우 ASTM E119의 표준가열곡선과 동일한 식을 사용하고 있다. (KS F 2257-1, 2005)

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20 \quad (1)$$

여기서, T = 가열로 내 평균온도(°C)

t = 시간(분)

구조부재의 내화성능은 KS F 2257-1 건축 부재의 내화시험방법 - 일반요구사항(한국산업규격, 2005)에서 정한 하중 지지력으로 판정한다. 기둥과 같은 축방향 재하부재의 경우 요구내화시간동안 부재의 총 수축량 및 1분당 변형량으로 내화성능을 평가한다. 이 2가지 기준을 모두 초과한 경우 부적합한 것으로 판정하며, 판정식은 다음과 같다.

$$C \leq \frac{h}{100} \text{ (mm)} \quad (2)$$

$$\frac{dC}{dt} \leq \frac{3h}{1000} \text{ (mm/min)} \quad (3)$$

여기서, C = 총 수축량

$\frac{dC}{dt}$ = 분당 변형율

h = 기둥의 높이(mm).

3.3 내화성능 시험

내화 2시간 무내화피복 CFT기둥의 일반 내화인정을 받기 위한 실험체 구성은 표 2와 같다.

[표 2] 내화인정 실험체 구성

내화구조명	RIST-HIT CFT 400R	RIST-HIT CFT400P
강관단면	□-400x400x9T	□-390x390x9T
강관재질	POSCO SPAR295	POSCO SPAP235
콘크리트강도	60MPa	60MPa
적용하중	2,400kN	2,300kN
부재길이	3,700mm	3,700mm

강관재질은 KS D3864 (2010)에서 강도가 낮은 SN400으로 하였다. 콘크리트는 KS규격제품으로 60MPa 고강도 콘크리트에 따른 폭발에 대한 고려는 하지 않았다. 실험체의 단면은 □-400(390)×400(390)×9mm를 사용했으며 실험체 높이는 모두 3.7m 이다. 2012년 4월 강관 시료채취 및 콘크리트 충전 후 약 90일 양생을 거쳐 내화성능실험을 실시하였다.

KS F 2257-1를 근거로 상온에서 설계축력만큼 가력한 상태에서 2시간(요구 화재시간)동안 표준가열곡선에 따라 가열하였다. 고온에 노출시킨 후의 실험체의 최종 형상은 그림 6과 같으며, 강관의 국부좌굴이 기둥 전체적으로 나타났다.

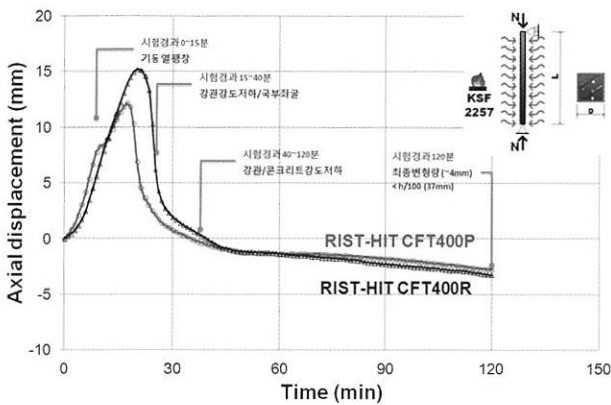
시간에 따른 축 변형량은 그림 7에 나타내었다. 가열 초기(0~15분)에는 강관과 충전된 콘크리트가 고온에 노출되므로 열팽창을 시작하게 된다. 그러나 강재의 열팽창계수는 일반적인



[그림 6] 내화실험후 실험체 형상(RIST-HIT CFT400P)

로 상온에서 콘크리트의 약 2배이고 콘크리트의 비열이 강제보다 크므로 강관에서 더 큰 열팽창 변형이 발생한다. 가열 후 약 15~40분이 경과되면 강관이 고온에 따른 강도 저하가 발생하므로 축변형량이 급격히 감소한다. 이후 축력은 충전된 콘크리트가 주로 부담하게 되며 콘크리트의 내력이 손실되는 단계에서 붕괴에 이르게 된다.

내화성능 실험결과 최대 변형량은 4~5mm로 내화성능 판단기준[37mm(0.01h) 이하]에 비하여 충분히 작기 때문에 무내화피복 CFT기둥으로 내화구조 인정을 받았다.



[그림 7] 시간-축변형 관계

따라 2시간이내의 내화시간을 가지는 적용범위내에서 제조사 인정제품을 사용시에 별도의 내화인정 성능평가 없이 무내화 피복 CFT기둥을 적용할 수 있다.

적용범위는 표 3에서 보는 바와 같으며, 인정된 구조보다 하위조건은 당연히 인정된다.

한편, 콘크리트는 KS F 4009(2011) 규격제품이며, 고강도 콘크리트의 폭렬을 고려하여 배합설계강도를 60MPa이하로 규정하고 있다. 또한, 강관내 밀실하게 콘크리트를 충전하기 위해 슬럼프 플로우는 600mm?100mm로 정하고 있다.

[표 3] 내화인정 적용범위

내화구조명		RIST-HIT CFT 400R	RIST-HIT CFT400P
단면	강관	400mm이상	390mm이상
	폭	9mm이상	9mm이상
콘크리트 폭	두께	382mm이상	372mm이상
	강관재질	POSCO SPAR295 POSCO SPAR360	POSCO SPAP235 POSCO SPAR325
콘크리트강도 ¹⁾		60MPa이하	60MPa이하
설계 최대축력 ²⁾		2,400kN이하	2,300kN이하
부재길이 ³⁾		3,700mm이하	3,700mm이하

- 주 1) 콘크리트 설계배합강도
- 주 2) 상온시 설계축력
- 주 3) 하부층 슬래브 상부면에서 상부층 슬래브 하부면까지의 거리(층고가 4.0m이고 상하층 슬래브 두께가 20cm인 경우: 3.8m)

5. 결론

국내 최초로 내진성능이 우수한 SN 강재를 활용한 CFT 구조를 내화구조 인정 절차를 통해 무내화 피복으로 내화 2시간 일반인정 내화구조를 취득하였다. 하지만, 한정된 적용범위를 초과할 경우에는 내화성능 시험을 통한 내화구조 인증 절차는 추가적인 비용과 시간이 소요되며, 또한 실험장비상의 제약조건(길이 5.0m이하, 축력 10,000kN이하)으로 실험이 불가능 할 수 있다. 따라서 국내에서도 건축물의 용도와 형태, 규모, 공간의 특수성, 신재료 · 신기술의 활성화 등을 감안하여 CFT 내화구조의 표준화와 동시에 건축물의 용도와 규모에



[그림 8] 일반 내화구조 인정서

4. 적용범위

무내화피복 CFT 기둥에 대해 내화구조 인정 절차에 의해 내화성능실험을 실시하였으며 2시간 일반 내화구조 인정서를 받았다. 현장 내화인정과 다르게 일반 내화인정을 취득함에

따른 화재하중, 재료의 열특성 등을 고려한 해석 및 평가 기법을 활용한 성능적 내화설계법의 도입을 위한 접근이 필요하다.

참고문헌

1. 김홍열, 서치호 (2004), 고온 가열시 콘크리트의 강도 영역별 물리적 특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집 구조계 20권 11호, pp.75~82.
2. 김홍열, 서치호, 신현준 (2005), 고온영역에서 강도영역별 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집 구조계 21권 7호, pp.55~66.
3. 김홍열, 전현규 (2006), 고온시 40~100MPa 범위의 콘크리트 열적특성에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 학술발표논문, pp.425~428.
4. 한국표준협회 (2005). “건축부재의 내화 시험 방법 - 일반 요구 사항” KS F 2257-1, 한국표준협회.
5. 권인규 (2007), 고열환경에서의 구조용 강재 특성 데이터 베이스 구축, 한국화재소방학회논문집 21권 3호, pp.47~55
6. 권인규 (2007), 콘크리트 충전강관 내화설계를 위한 구조용 강재 고온물성 데이터 베이스 구축, 대한건축학회 학술 발표대회 논문집, 제 27권 1호, pp.483~486
7. ASTM (2010). “Standard test methods for fire tests of building construction and materials.” E119-10b, West Conshohocken, PA.
8. Lennon, T., Moore, D.B., Wang, Y.C., and Bailey C.G.(2007), Designers' guide to EN1991-1-2, EN1992-1-2, EN1993-1-2 and EN1994-1-2, Thomas Telford press