

A-11

화재시 CFT 기둥의 고온특성 평가에 관한 실험적 연구

신관수, 이태규, 김영선, 한희철*, 김규용, 김무한
충남대학교 건축공학과, 삼성물산(주) 건설부문 건축사업본부*

An Experimental Study on the Evaluation for High Temperature Properties of CFT Column Under Fire

Kwan-Soo Shin, Tae-Gyu Lee, Young-Sun Kim,
Hee-Chul Han*, Gyu-Yong Kim, Moo-Han Kim
*Dept. of Architectural Engineering, Chungnam National University
Architectural Engineering Team, Samsung Corporation Co.*

1. 서론

최근 건축구조물이 초고층화 됨에 따라 재료 및 공법 등의 다양화 및 고성능화가 요구되어 내력·변형성능이 우수한 충전강관콘크리트(Concrete filled steel tube, 이하 CFT)구조는 내력·변형성능이 우수하여 사용례가 증가되고 있지만 내화설계에 있어서는 일반적으로 철골구조 인정되고 있어 철골구조와 같이 내화피복을 행하지 않으면 내화구조로 인정되지 않는다.

그러나 CFT구조는 내부의 콘크리트가 열용량이 크기 때문에 화재에 따른 강재의 온도 상승을 억제할 수 있어 콘크리트가 하중지지능력을 잃지 않는 범위에서는 내화성능을 기대할 수 있다. 이에, 구미 및 일본에 있어서는 CFT기둥의 내화성능에 대한 많은 연구가 진행되고 있으나, 아직까지 국내의 경우에는 실험장비 및 비용면에 어려움이 있어 기초적인 연구단계에 머물고 있다.

따라서 본 연구에서는 고강도 콘크리트를 충전한 CFT기둥의 내화성능 개선을 위한 연구의 일환으로서 강도 및 섬유 혼입의 요인에 따라 CFT Stub Column 시험체를 제작한 후 재하·가열시험장치를 사용하여 각 가열온도에 따른 충전콘크리트의 역학적 특성을 평가함으로써 화재 시 CFT기둥의 거동해석 및 내화설계를 위한 기초적 데이터를 축적하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구를 위한 실험계획은 표 1에 나타난 바와 같이 화재시 CFT기둥에 영향을 줄 수 있는 요인으로 충전콘크리트의 강도 및 섬유의 혼입 유·무 등을 고려하여 각 가열 온도에서의 압축강도와 정탄성계수를 측정하였다.

2.2 사용재료 및 충전콘크리트

본 연구에서 사용한 재료의 물리적 성질은 표 2에 나타난 바와 같으며, 충전콘크리

트의 배합은 표 3에 나타난 바와 같이 목표강도 40, 60, 80MPa에 대하여 물시멘트비를 45, 35, 25%로 설정하였다. CFT기둥의 내화성능을 향상시키기 위한 방안으로 고강도콘크리트의 폭렬방지 및 성능개선을 위하여 기존문헌에 따라 PP섬유 및 강섬유를 혼입하였으며 섬유혼입에 따른 콘크리트의 유동성을 향상시키기 위하여 잔골재율을 60%로 조절하였다.

2.3 시험체 제작 및 시험방법

그림 1에 나타난 바와 같이 Stub Column은 75×75×200×2.3mm의 각형강관을 사용하였으며, Stub Column 가열시험 시 가열로의 온도 제어를 위한 열전대의 설치를 위하여 상·하부 단면으로부터 10mm가 되는 위치와 중심부에 Ø2.0mm 깊이 5~7mm로 Stub Column 표면을 천공하여 설치하였다.

Stub Column의 내화실험은 사진 1의 재하·가열시험장치를 사용하였으며 가열장치는 간접열전달방식으로 금속히터를 이용한 전기가열로이며, 시험체의 재하는 하중용량 245kN의 인스트론형 시험기를 사용하였다.

가열속도는 1min/°C, 매 50°C 상승시 마다 30분간 온도를 유지하여 Stub Column 내부의 온도가 균일하도록 가열을 실시하였다. 또한, 각 시험에서 설정한 목표온도에 도달 후 1시간 동안 목표온도를 유지한 후 변위제어 방식으로 압축강도 실험을 실시하였다. 재하 및 가열시험 중 시험체의 변형을 측정하기 위해서 MTS 장치의 가력관 상·하부에 석영관을 설치하고 시험체 반대쪽의 석영관 끝에 Strain gauge 변위계를 설치하여 시험체의 변위를 측정하였다.

표 1 실험 계획

구분	W/C(%)	섬유종류	가열방법	시험항목
40N	45	-	전기로 사용 간접가열 1°C/min 가열	■ 압축강도 (MPa) ■ 정탄성계수 (MPa)
60N	35			
80N	25			
80P		PP섬유	50°C가열	
80PS		PP섬유, 강섬유	30분온도유지	

표 2 사용재료의 물리적 성질

사용재료	물리적 성질
시멘트	1종 포틀랜드시멘트 (밀도 3.15g/cm ³ , 분말도 3,630cm ² /g)
잔골재	세척사(밀도 2.61g/cm ³ , 흡수율 0.97%)
굵은골재	부순자갈(최대치수 20mm, 밀도 2.67g/cm ³)
혼화제	고성능AE감수제(폴리카르본산계 고성능감수제)
섬유	Polypropylene Fiber(직경 40µm, 길이 19mm) Steel Fiber(직경 0.5mm, 길이 35mm)

표 3 충전콘크리트 배합

구분	W/C (%)	Slump flow (cm)	Air (%)	S/a (%)	Unit W (l/m ³)	Unit weight (kg/m ³)		
						C	S	G
40N	45	50±5	4	45	165	367	775	989
60N	35	60±5	2			471	760	969
80N	25					660	691	881
80P*		50±5		60	640	909	632	
80PS**	640		909		632			

* PP섬유 혼입 (0.3% : 2.7kg/m³)

** Steel Fiber 혼입 (0.5% : 39.25kg/m³)

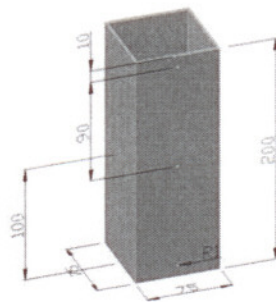


그림 1 Stub Column 치수 및 형상

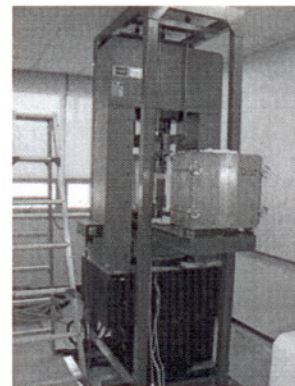


사진 1 재하·가열시험장치

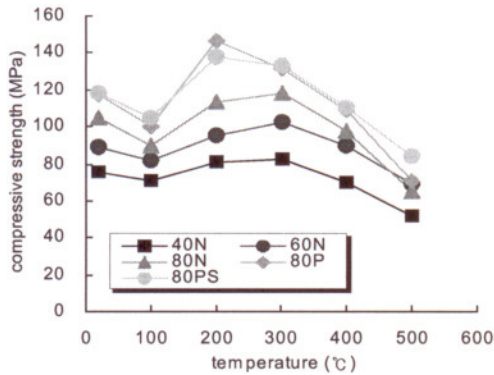


그림 2 Stub Column의 압축강도

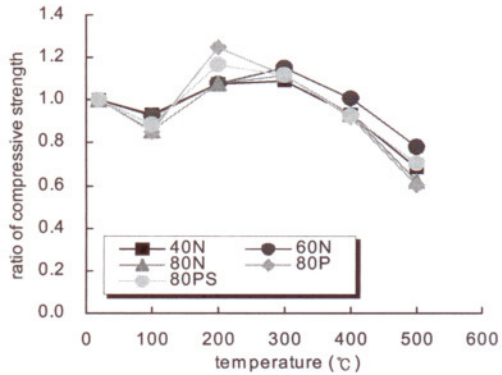


그림 3 Stub Column의 고온압축강도 / 상온압축강도비

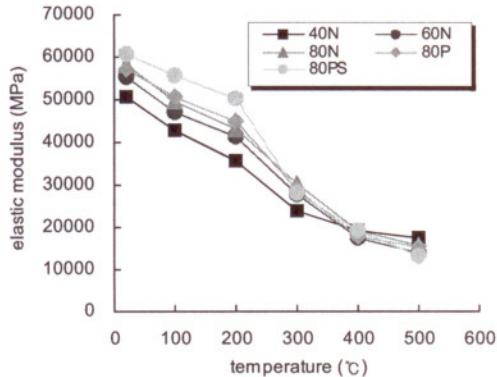


그림 4 Stub Column의 탄성계수

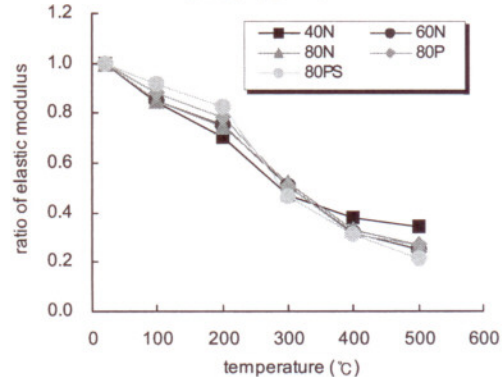


그림 5 Stub Column의 고온탄성계수 / 상온탄성계수비

3. 실험결과 및 고찰

3.1 압축강도

그림 2는 CFT Stub Column 시험체의 온도에 따른 압축강도 변화를 나타낸 것으로서 상온시 강도에 비해 가열 온도 100°C에서 압축강도가 급격히 감소한 후 200°C 및 300°C에서 다시 증가하는 경향이 나타나고 있다. 이는 강관 내부의 충전콘크리트가 100°C에서 내부의 수분이 기화와 함께 증기압이 발생하게 되고 이 증기압이 내부에 인장 응력을 발생시켜 균열을 유발시킴으로서 충전콘크리트의 압축강도가 감소하였기 때문으로 사료되며, 200°C 이상에 있어서는 100°C 이상에서 발생된 고온·고압의 증기와 충전콘크리트 내부의 미수화물이 반응하여 수화반응이 진행되어 강도가 증가하는 경향을 나타낸 것으로 판단된다. 또한 200°C 및 300°C에서 강도 재상승 후 300°C 이상에서는 점진적인 강도의 감소를 나타내었으며, 상온 시 강도가 상승할수록 감소율이 증가하는 경향을 보였다. 또한, PP섬유를 혼입한 80P 및 80PS 시험체의 경우 다른 수준의 시험체와 달리 200°C 이후부터 압축강도가 저하하기 시작하였다. 이는 PP섬유의 녹는점이 약 160~180°C 범위에 있어 200°C에서는 시험체 내부의 PP섬유가 모두 녹아 공극의 양이 증가됨에 따라 콘크리트의 압축강도가 저하되는 것으로 사료된다.

그림 3은 CFT Stub Column의 고온압축강도 / 상온압축강도 비를 나타낸 것으로서 가열 온도 100°C에서는 일반적으로 상온압축강도에 비해 약 10~20% 압축강도가 감

소하였으며 강도가 증가함에 따라 저하율이 크게 나타났다. 또한, 섬유를 혼입한 80P 및 80PS 시험체의 경우 섬유를 혼입하지 않은 80N에 비해 100℃에서 강도 저하율이 낮은 것으로 나타났다. 가열온도 200℃에서는 모든 수준에서 상온강도 이상으로 압축강도가 재상승하는 경향을 나타냈다. 이 때, 섬유를 혼입한 경우 압축강도의 상승폭이 섬유를 혼입하지 않은 시험체에 비해 더욱 큰 것으로 나타났다. 또한, 모든 시험수준에서 가열온도 400℃에서는 상온압축강도 이하로 강도가 저하하였으며, 500℃에서는 급격한 강도저하가 발생하여 상온압축강도의 약 40 ~ 50%의 압축강도가 나타났다.

3.2 탄성계수

그림 4는 온도별 CFT Stub Column의 탄성계수를 나타낸 것으로서 충전콘크리트의 강도가 증가함에 따라 탄성계수는 증가하는 것으로 나타났으며, 특히 강섬유를 혼입한 충전콘크리트에서는 탄성계수가 가장 크게 나타났다. 가열온도에 따른 CFT Stub Column의 탄성계수는 압축강도와는 달리 온도가 증가함에 따라 점진적으로 감소하는 경향이 나타났다. 200℃까지는 전반적으로 탄성계수 감소율이 유사하게 진행하였으나, 온도가 증가함에 따라 상온탄성계수가 클수록 급격한 탄성계수 감소율을 나타내었으며 400℃에 있어서는 시험체 수준에 관계없이 유사한 탄성계수값이 나타났다.

그림 5는 CFT Stub Column의 고온탄성계수 / 상온탄성계수 비를 나타낸 것으로서 가열온도 200℃까지는 일반적으로 상온탄성계수에 비해 약 10~30%의 탄성계수가 감소하였으며 섬유를 혼입한 시험체는 섬유를 혼입하지 않은 시험체에 비해 감소율이 낮았다. 특히 강섬유를 혼입한 시험체의 경우 일반시험체에 비해 10%정도 탄성계수 저하율이 낮은 것으로 나타났다. 또한 가열온도가 200℃를 초과하면서 80P 및 80PS 시험체의 탄성계수 감소율은 다른 수준의 시험체에 비해 증가하는 경향을 보였으며, 가열온도 300℃에서는 모든 시험체가 상온탄성계수의 50%를 나타내었다.

4. 결 론

Stub Column을 활용한 콘크리트의 고온특성 평가에 관한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 온도에 따른 Stub Column의 압축강도를 평가한 결과, 100℃에서 급격한 강도저하 후, 200 ~ 300℃에서 강도가 재상승하는 경향이 나타났으며, 300℃ 이후부터는 가열온도가 높아짐에 따라 압축강도가 저하하였고 W/C비가 작을수록 강도저하 폭이 큰 것으로 나타났다.
- 2) 온도에 따른 Stub Column의 탄성계수를 평가한 결과, 압축강도 결과와 달리 온도가 상승함에 따라 탄성계수가 저하하는 경향이 나타났으며, 섬유를 혼입한 시험체의 경우 가열온도 200℃까지는 탄성계수의 감소를 억제하고 있으나 300℃ 이후에는 타시험체와 유사하게 탄성계수가 저하하는 경향이 나타났다.

감사의 글

본 연구는 삼성물산(주) 건설부분과 BK(Brain Korea)21-2단계 사업의 지원을 받아 수행된 연구성과로서, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Kodur, V.K.R., Cheng, F.P., Wang, T.C and Sultan, M.A., Effect of strength and fiber reinforcement on fire resistance of high-strength concrete columns, NRCC- 45005, National Research Council, Canada, 2003