

설계강도 120 MPa 고강도 콘크리트 기둥의 내화 성능

Fire Resistance of High Strength Concrete Columns with Design Strength 120 MPa

박찬규^{*} 이승훈^{*} 김규동^{**} 손유신^{***} 이회근^{**}
Park, Chan Kyu Lee, Seung Hoon Kim, Gyu Dong Sohn, Yu Shin Lee, Hoi Keun

ABSTRACT

An experimental investigation was carried out to evaluate the fire performance of high strength concrete column made with different section size. Two different high strength concrete columns measuring 3,428mm in height and with the same tie spacing of 150mm were prepared to evaluate the effect of section size of 305×305mm and 500×500mm on the fire resistance. Compressive strength was 138MPa at the time of fire resistance fire testing.

Based on the test result, fire resistance of column with the larger section of 500×500mm exhibited the better performance than that of the smaller section of 305×305mm. The former withstood against the very high temperature over 240minutes, while the latter resisted during 176minutes.

1. 서 론

고강도 콘크리트 기둥의 내화 성능은 여러 가지 요인에 의해 영향을 받는다. 대표적인 변수로서는 콘크리트 압축강도, 콘크리트 또는 부재 내의 수분 양, 콘크리트의 밀도, 화재 또는 불의 강도, 부재의 크기 및 형상, 횡보강근 상세, 하중 조건 및 골재의 종류 등이다. 이러한 여러 가지 요인 중에서 기둥 부재의 단면 크기를 살펴보면, 우리나라 건설교통부령 제 184호(1999년 제정) 『건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙』에 작은 지름이 250mm 이상인 경우 내화 구조로 보고 있다. 그리고 콘크리트 기둥의 3시간 내화 성능을 확보하기 위한 최소 크기로서 ACI/TMS Committee 216¹⁾에서는 305mm, BS 8110²⁾ 및 일본 건설성고시 제1929호 내화 구조의 지정에서는 400mm 그리고 Kodur³⁾는 고강도 콘크리트 기둥에서 500mm를 제시하고 있다.

그런데 고강도 콘크리트 기둥은 화재 시 표면 특히 피복 부분의 콘크리트가 떨어져 나가는 현상이 심하게 나타난다. 이와 같은 폭발 현상은 화재가 발생한 이후 초기에 발생한다. 이러한 폭발 현상은 단면 손실에 따른 내력 감소와 함께 축방향 철근의 온도를 급상승시켜 철근의 내력을 감소시키기 때문에 초기에 기둥이 붕괴될 가능성이 높다. 따라서 고강도 콘크리트 기둥에서 폭발이 저감되지 않는다면 3시간 내화 성능을 확보하기 위한 최소 단면 크기의 설정은 큰 의미가 없다고 볼 수 있다. 이에 최근 고강도 콘크리트의 폭발을 방지 또는 저감하는 방안이 연구되어 왔다⁴⁾.

본 연구에서는 설계강도 120MPa 고강도 콘크리트 기둥의 단면 크기에 따른 내화 성능에 대하여 연구

*정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술본부 기술연구소 수석연구원

**정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술본부 기술연구소 선임연구원

***정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술본부 기술연구소 전임연구원

를 수행하였다. 고강도 콘크리트에서 발생하는 폭렬 현상을 저감시켜 순수하게 단면 크기에 따른 내화 성능을 비교하고자 하였다.

2. 고강도 콘크리트 기둥에 대한 내화 성능 실험 및 결과 분석

2.1 시험체 계획

고강도 콘크리트 기둥의 단면 크기에 따른 내화 성능을 파악하기 위하여 표 1에 나타낸 바와 같은 실험 변수를 계획하였다. 표 1에 나타낸 바와 같이 축방향 철근비와 띠철근 간격은 동일하게 계획하였으며, 내화 시험 시 축하중비는 27.8%로 계획하였다.

그림 1은 기둥의 단면 상세를 나타낸 것이다. 단면 305×305mm의 경우, 모서리 축방향 철근은 D19, 중간 축방향 철근은 D16을 사용하였으며, 단면 500×500mm의 경우, 모서리 축방향 철근은 D22, 그 이외의 축방향 철근은 D19를 사용하였다. 그리고 띠철근은 D10을 사용하였으며, 콘크리트 피복은 40mm이다.

그리고 콘크리트 내부의 온도 측정을 위하여 단면 305×305mm 기둥에는 6개, 단면 500×500mm 기둥에는 9개의 K-type 열전대를 계획하였다.

표 1 실험 계획

시험체 크기	축방향 철근비 (%)	띠철근 간격 (mm)	세장비	축하중 (kN)
305×305×3,428mm	2.1	150	38.9	3,107
500×500×3,428mm	2.0	150	23.7	8,340

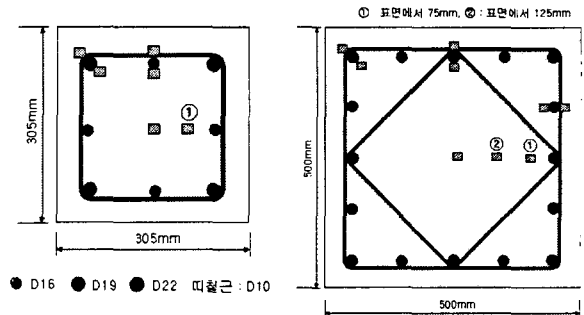


그림 1 기둥 단면 상세

2.2 기둥의 내화 성능 증진 방법

고강도 콘크리트 기둥의 내화 성능을 증진시키기 위하여 콘크리트 재료적인 부분과 철근 상세 부분으로 나누어 접근하였다. 콘크리트 재료적인 측면에서는 고강도 콘크리트에서의 폭렬 저감을 위하여 폴리프로필렌(PP)섬유를 0.35vol.%를 혼입하는 것으로 계획하였다. 그리고 띠철근 간격을 기존의 300mm에서 위에서 언급한 바와 같이 150mm로 감소시켜 고온에서 축방향 철근의 좌굴이 저감되도록 하였다.

표 2 콘크리트 배합비

W/B (%)	S/a (%)	unit weight(kg/m ³)						SP (%)
		W	C	SF	FA	S	G	
17.1	32.9	164.2	640	77	192	431	898	1.9

표 3 콘크리트 물성치

Slump flow (cm)	Air content (%)	compressive strength(MPa)			
		7일	28일	56일	84일 (시험시)
64/63	2.0	89.8	121	132	138

2.3 사용 재료의 특성

설계강도 120MPa 고강도 콘크리트를 제조하기 위하여 사용된 콘크리트 배합비는 표 2에 나타낸 바와 같다. 이 콘크리트 배합에 폴리프로필렌 섬유를 혼입하여 제조한 콘크리트 물성치는 표 3에 나타낸 바와 같다. 콘크리트 압축강도는 재령 28일에서 설계강도에 도달하고 재령 84일에는 138MPa의 압축강도를 나타냈다. 그리고 사용된 철근의 항복강도는 D10, D16, D19, D22에 대해서 각각 450, 443, 450, 449MPa이었다.

2.4 가력 가열 실험

고강도 콘크리트 기둥의 내화 성능 시험은 일본 (재)건축총합시험소의 내화 실험동에서 실시를 하였다. 콘크리트 기둥 시험체는 국내에서 제작하여 건축총합시험소로 운반하였다. 그리고 콘크리트 기둥의 상·하부에 가압판을 설치한 후 재하가열장치에 설치를 하였다. 가열은 ISO 표준 가열 곡선에 맞게 하였으며, 4시간까지 가열하였다. 그리고 관측창을 통하여 콘크리트 기둥의 폭렬 상태를 점검하였으며, 12시간의 온도(16지점), 콘크리트 기둥 내 온도, 기둥 축방향 변형을 측정하였다. 그림 2는 단면 500×500mm 기둥에 가해진 온도 이력 곡선을 나타낸 것이다.

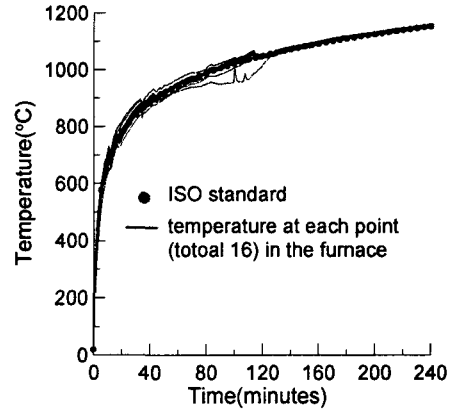


그림 2 12시간 온도 이력 곡선

2.5 콘크리트 폭렬

단면 305×305mm 기둥의 경우, 시험 시작 후 7분이 경과하면서 미소한 폭렬이 발생하였다. 그리고 9분이 경과하면서 표면이 벗겨지는 현상이 확연히 나타났다. 15분이 경과하면서 폭렬이 멈추었다. 폭렬은 주로 콘크리트 타설 면에서 대부분 발생하였는데, 그 깊이는 약 11~13mm 정도였다. 그리고 타설 면을 윗면으로 한 좌우 측면에서도 약간의 박리 현상이 발생하였으며, 그 깊이가 4~5mm 정도였다. 콘크리트 타설 면의 반대 면에서는 시험 시 폭렬이 발생하지 않았다. 이와 같이 콘크리트 타설 면에서 주로 폭렬이 발생한 이유는 과도한 다짐에 의하여 상대적으로 굵은 골재량이 타설 면 근처에서 감소했기 때문인 것으로 판단된다.

단면 500×500mm의 경우, 시험 시작 6분이 경과하면서 미소한 폭렬이 발생하였으며, 8분이 경과하면서 표면의 일부가 벗겨져 나가는 현상이 나타났다. 그리고 13분이 경과하면서 폭렬이 멈추었다. 단면 305×305mm 기둥의 폭렬 현상과는 달리 기둥 네 면에서 일부가 박리되는 현상이 관측되었으며, 그 깊이는 5mm 이하인 것으로 나타났다.

2.6 단면 내의 온도 분포

표 4는 기둥 단면 크기에 따라 약 3시간이 경과한 시점에서의 단면 내 온도분포를 나타낸 것이다. 표 4에서 알 수 있는 바와 같이 모서리 축방향 철근의 온도는 단면 크기에 관계없이 비슷한 것으로 나타났다. 중앙 축방향 철근 및 표면에서 75mm 내부의 온도는 단면 크기가 작은 기둥에서 높게 나타났는데, 이는 단면의 크기 효과와 관계가 있는 것으로 판단된다. 그리고 단면 중심부의 온도는 단면이 큰 기둥의 경우가 예상대로 훨씬 적게 나타났는데, 이는 단면이 커질수록 상대적으로 건전한 콘크리트 면적이 크게 되고 내화 성능이 향상됨을 의미한다.

표 4 단면 내 온도 분포

구분	약 3시간 경과 시 온도(°C)	
	305×305mm	500×500mm
중앙 축방향 철근	716	500
모서리 축방향 철근	785	743
단면 중심부	454	210
표면에서 75mm 내부	499	350

2.7 축방향 변위 이력 및 내화 성능

그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 축방향 변형 이력은 단면의 크기에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 초기에 약 1mm 정도 팽창하는 것은 거의 비슷하게 나타났지만, 그 이후 수축하는 단계에서는 크게 다른 변형 이력을 나타낸다. 단면 305×305mm의 경우 큰 기울기로 수축하여 파괴 시 약 12mm까지 수축하는 것으로 나타났다. 그러나 단면 500×500mm의 경우 완만한 하강곡선을 나타내고 있으며, 약 180분이 경

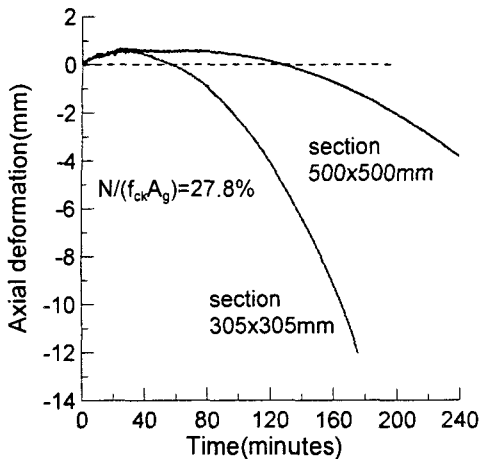
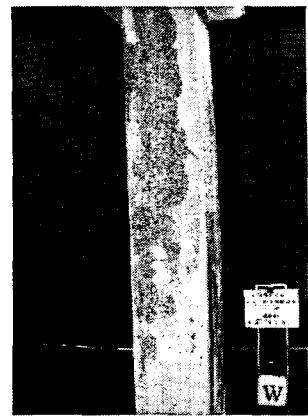


그림 3 축방향 변위 이력



(a) 단면 305×305mm



(b) 단면 500×500mm

그림 4 시험 후 기둥의 모습

과하더라도 1.2mm밖에 수축을 하지 않는 것으로 나타났다. 이는 부재의 단면이 커질수록 내화 성능이 증가하는 것을 의미하며, 그 원인은 앞서도 언급한 바와 같이 부재의 크기가 커지면서 높은 온도에 피해를 입지 않은 상대적으로 건전한 콘크리트 부위가 많아지기 때문이다.

그림 4는 내화 시험 후 기둥의 모습을 나타낸 것이다. 단면 305×305mm 단면의 내화 성능은 176분으로서 3시간 내화 성능에 약간 못 미치는 것으로 나타났다. 그리고 단면 500×500mm의 경우에는 4시간 이상의 내화 성능을 가지는 것으로 나타났다. 따라서 고강도 콘크리트 부재에서 안정적으로 3시간 내화 성능을 확보하기 위해서는 콘크리트 폭렬 저감 방법의 도입 이외에 일정 단면 크기 이상이 필요하다고 판단되며, 피복 등이 상세하게 고려되어야 하겠지만 최소 직경이 400mm 이상이 적절하다고 판단된다.

3. 결 론

본 연구에서 폭렬이 저감된 설계강도 120MPa 고강도 콘크리트 기둥의 내화 성능 시험을 실시한 결과, 단면이 커질수록 내화 성능이 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 단면 크기는 고강도 콘크리트 부재의 내화 설계에 중요한 요소임을 알 수 있었으며, 고강도 콘크리트에서 3시간 내화 성능을 확보하기 위한 최소 직경은 400mm 이상이 적절하다고 판단된다.

참고문헌

1. ACI/TMS Committee 216, "Standard Method for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies," ACI 216.1-97/TMS 0216.1-97, American Concrete Institute, Detroit, 1997.
2. BSI, "Structural Use of Concrete, BS 8110," British Standards Institution, 1985.
3. Kodur, V.K.R., " Fire Resistance Design Guidelines for High Strength Concrete Columns," NRCC-46116, National Research Council, Canada, 2003.
4. Pierre Kalifa, Gregoire Chene, and Christophe Galle, "High-temperature behaviour of HPC with polypropylene fibres from spalling to microstructure," Cement and Concrete Research, Vol. 31, 2001, pp.1487-1499.