

유기 섬유 혼입 고강도 콘크리트 부재의 평가 방법에 따른 내화성능 변화에 관한 연구

The Variations on The Fire Resistance of High Strength Concrete Column Incorporating Organic Fiber with Assessment Methods

이 승 훈* 박 찬 규*
Lee, Seung Hoon Park, Chan Kyu

ABSTRACT

Fire resistance is a measure of the ability of building element to resist a fire. For concrete columns, the fire resistance depends on many factors, including strength, density, and moisture content of concrete, fire intensity, column size and shape, reinforcement detail, loading condition, and aggregate type etc. However, it is well-known that the high strength concrete (HSC) is more susceptible to spalling than normal strength concrete (NSC) and the behaviour of HSC column exposed to fire is significantly affected by the spalling. Recently, as one of the measures to reduce the spalling of HSC, incorporating polypropylene(PP) fiber has been investigated and successfully used in construction fields. However, the establishment of assessment method on the fire resistance of HSC column is very important as well as the improvement of fire performance of HSC. In this study, the variations on the fire resistance of HSC column with assessment methods was studied for the columns controlled the concrete spalling by PP fiber.

요 약

내화 성능은 화재에 견디는 부재의 능력을 나타내는 하나의 척도이다. 콘크리트 기둥에서 내화 성능은 많은 요인에 영향을 받는데, 주요 인자로는 강도, 밀도, 수분 상태, 화재 강도, 기둥의 크기 및 형상, 철근 상세, 하중 상태 및 골재 형태 등이 있다. 그런데, 고강도 콘크리트는 보통강도 콘크리트에 비하여 폭렬이 쉽게 발생하는 것으로 알려져 있다. 그리고 화재 시 고강도 콘크리트 기둥의 거동은 이러한 폭렬에 큰 영향을 받는다. 따라서 폭렬제어를 위하여 PP섬유를 혼입하는 방법이 연구되고 있고 건설현장에서 성공적으로 적용되고 있다. 그런데 이러한 고강도 콘크리트의 내화 특성 향상뿐만 아니라 고강도 콘크리트 기둥의 내화 성능 평가 방법의 정립 또한 중요한 문제라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 폭렬이 제어된 고강도 콘크리트 기둥에 대하여 내화 성능 평가 방법에 따라 그 성능의 변화 양상에 대하여 연구를 수행하였다.

* 정희원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 수석연구원

1. 서론

화재 시 고강도 콘크리트에서 표면 특히 피복 부분의 콘크리트가 떨어져 나가는 현상이 심하게 나타난다. 이와 같은 폭열 현상은 화재가 발생한 이후 초기에 발생하며, ISO-KS 가열 곡선에 따라 열을 가할 경우 30분 이전에 발생한다. 이러한 폭열 현상은 콘크리트 부재의 단면 손실에 따른 내력 감소와 함께 주철근의 온도를 급상승시켜 철근의 내력을 감소시킨다. 주철근의 내력과 단면 감소는 결국 부재의 붕괴로 이어지기 때문에 고강도 콘크리트 부재에서 폭열 방지 설계는 매우 중요한 요소 중의 하나이다.

높은 온도에 콘크리트가 노출되었을 때 발생하는 폭열 현상은 콘크리트 단면 내 온도차와 콘크리트 공극 내에 존재하는 공기, 수증기, 물 등이 높은 온도에서 발생시키는 높은 공극압(pore pressure)이 원인인 것으로 알려져 있다¹⁾. 즉 폭열 현상과 공극압은 밀접한 관계가 있기 때문에 유기 섬유 중 폴리프로필렌 섬유를 이용하여 폭열을 저감하는 방법이 많이 연구되어 왔으며²⁻⁴⁾, 성공적으로 적용되고 있다⁵⁾.

이와 같이 고강도 콘크리트에 대한 폭열 저감 등의 내화 성능 향상에 대한 연구와 더불어 중요한 사항으로서는 부재의 적절한 내화 성능 방법의 정립이라고 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 유기 섬유 등을 혼입하여 콘크리트의 폭열이 제어된 고강도 콘크리트 기둥에 대하여 내화 성능 평가 방법에 따라 그 성능이 어떻게 변화양상을 파악하여, 향후에 보다 개선된 평가 방법 정립을 위한 기초 자료를 제시하고자 한다.

2. 내화 성능 평가 방법

국토해양부 고시 제 2008-334호“고강도 콘크리트 기둥 • 보의 내화 성능 관리 기준”에 따르면, 설계기준강도 50MPa 이상의 콘크리트 기둥 • 보에 대해서 내화 성능을 관리하도록 되어 있다. 이 관리 기준 제 6조와 별표 1 및 별표 2에 따르면, 수평 부재용 가열로를 이용하여 시험을 하도록 규정되어 있다. 또한 제 8조 내화 성능 관리 제 ②항에 의하면 KS F 2257-7 또는 ISO 834-7의 재하가열시험방법에 의하여 국외의 시험기관에서 성능이 확인된 경우, 해당 구조의 내화 성능이 있는 것으로 본다고 되어 있다. 이와 같이 재하가열시험방법을 사용하여 기둥의 내화성능을 평가하는 KS F 2257-7의 내화 성능 기준은 KS F 2257-1 "건축 부재의 내화 시험 방법-일반 요구 사항"에 따르게 되어 있다. 그 결과, 현행 법규상으로 고강도 콘크리트 기둥의 내화 성능 판정 기준은 표 1에 나타난 바와 같이 국내에서는 2가지 방법이 존재하며, 일본⁶⁾에서도 2가지 방법이 존재한다. 표 1에 나타난 바와 같이 재하가열시험 방법인 경우, 내화 성능 판정 기준은 우리나라와 일본이 동일하지만, 비재하가열시험의 경우에는 서로 다를 뿐만 아니라, 온도 측정위치도 상이하다. 국내의 경우에는 그림 1에 나타난 바와 같이 네 군데에서 측정하지만, 일본의 경우에는 측정위치에 관계없이 온도 규정이 적용된다.

표 3 고강도 콘크리트 기둥 부재의 내화 성능 판정 기준

구분	내화 성능 판정 기준		비고
국내	재하가열시험방법	최대 수축량 $C=h/100\text{mm}$ 최대 변형률 $dC/dt=3h/1000\text{mm}/\text{min}$.	-
	비재하가열시험방법	평균 538℃, 최고 649℃	4지점
일본	재하가열시험방법	최대 수축량 $C=h/100\text{mm}$ 최대 변형률 $dC/dt=3h/1000\text{mm}/\text{min}$.	-
	비재하가열시험방법	500℃	임의지점

3. 실험결과 및 분석

표 2에 나타난 바와 같이 국내 비재하가열시험방법에 의한 온도 기준인 평균 538℃, 최대 649℃에 대

한 각각의 내화 성능을 비교해보면, 최대 온도를 기준으로 한 내화 성능이 약간 큰 것으로 나타났지만, 거의 유사한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구의 범위 내에서 고강도 콘크리트 기둥에서 폭발 거의 발생하지 않는다면, 내화 성능은 주철근의 평균 온도에 의해 결정된다고 판단된다. 그리고 우리나라와 일본의 온도 기준에 의한 내화 성능을 비교해 보면, 우리나라 평가 방법에 따른 내화 성능이 높는데, 이는 물론 온도기준이 일본은 500℃, 우리나라는 538℃이기 때문이다.

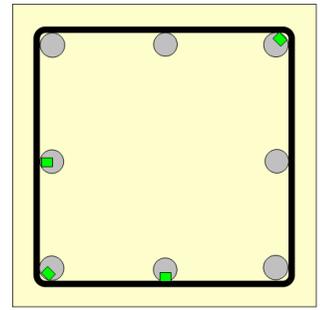


그림 1 온도측정 열전대 위치

기둥 수축량을 기준으로 하는 재하가열시험과 온도를 기준으로 하는 비재하가열시험에 따른 내화성능을 비교해보면 그 차이가 큰 것으로 나타났다. 120-305 시험체의 경우, 기둥 수축량 기준으로는 176분, 온도기준으로는 114분으로 약 62분 차이가 나타났다. 이는 우리나라 기둥 수축량 기준으로는 2시간 내화 등급, 온도기준으로는 1시간 내화 등급을 가지는 것으로 평가되었지만 일본 온도기준으로는 1시간 내화 등급을 가지는 것으로 나타났다. 또한 120-500 시험체의 경우 기둥 수축량 기준으로는 240분 이상, 온도기준으로는 145분으로서, 우리나라 기준으로서 각각 3시간 내화 등급, 2시간 내화 등급을 가지는 것으로 평가 되었다. 그러나 일본 온도 기준으로는 1시간 내화 등급을 가지는 것으로 나타났다. 따라서 동일한 시험체 대해서 그 평가 방법에 따라 1시간 내화 등급에서 3시간 내화 등급의 범위로 평가되기 때문에 편차가 심한 것으로 나타났다.

120-500 시험체와 150-500 시험체를 비교해보면, 온도 기준에 따른 내화 성능이 크게 증가하는 것으로 나타났다. 피복이 40mm인 경우 2시간 내화 등급이 나타났지만, 피복이 70mm로 증가를 하면 3시간 내화 등급이 확보되는 것으로 나타났다. 따라서 비재하가열시험에 의해 3시간 내화 등급을 확보하기 위한 최적의 피복은 40~70mm 범위 내에 있음을 알 수 있다. 현재 대부분의 기둥부재의 피복은 30~40mm 설계되고 있는데, 이와 같은 결과에 따르면 피복이 더 증가해야 하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 고강도 콘크리트의 장점을 크게 감소시키는데, 압축강도 증가에 따른 단면 감소 효과의 감소와 내구성이 우수한 고강도 콘크리트의 과도한 피복확보 등이다. 따라서 보다 경제적인 부재 설계 및 시공을 위해서는 고강도 콘크리트 기둥의 내화 성능 평가를 위해서는 재하가열시험에 의한 방법이 추천된다.

표 2 고강도 콘크리트 기둥의 내화 성능 비교

구분	시험체 크기 (mm)	축방향 철근비 (%)	축하중 (kN)	피복 (mm)	내화성능(분)				
					국내 비재하		국내 재하	일본 비재하	일본 재하
					평균	최대			
120-305	305×305×3,428	2.1	3,107	40	114	125	176	98	176
120-500	500×500×3,428	2.0	8,340	40	145	148	240 이상	109	240 이상
150-500	500×500×3,428	1.83	9,375	70	239	240 이상	240 이상	212	240 이상

4. 결론

본 연구에서는 내화 성능 평가 방법에 따라 유기 섬유를 혼입하여 폭렬이 제어된 고강도 콘크리트 기둥의 내화 성능 변화에 대하여 살펴보았으며, 결론은 다음과 같다.

- 1) 비재하가열시험법에 의한 내화 성능 평가 시, 내화 성능은 최대온도보다는 평균온도로 결정되는 것으로 나타났다.
- 2) 기둥 변위기준과 주철근 온도기준에 따라 내화 성능을 평가한 결과, 온도기준에 따른 평가 방법은 기둥의 내화 성능을 과소 평가하는 것으로 나타났다.
- 3) 비재하가열시험에 의한 내화 성능 평가 시, 3시간 내화 등급을 확보하기 위한 최적의 피복 두께는

40~70mm 사이에 존재하는 것으로 나타났다.

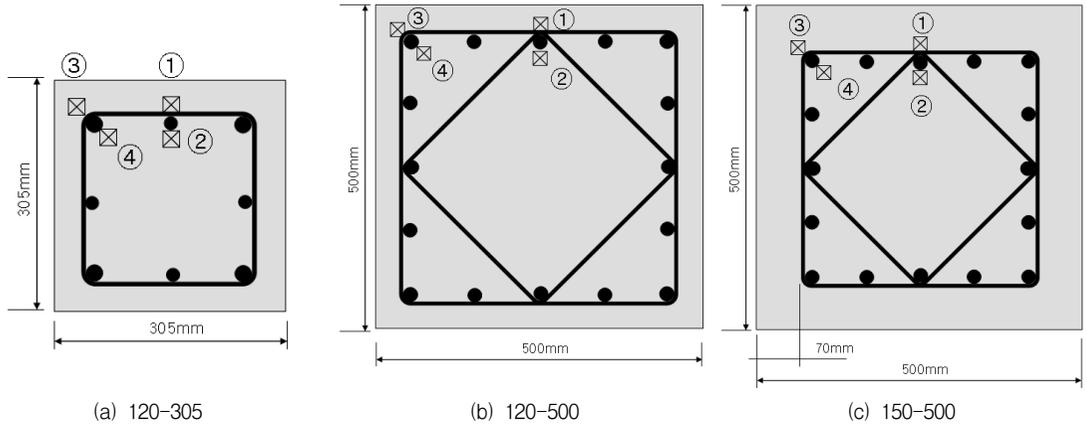


그림 2 단면상세 및 열전대 위치

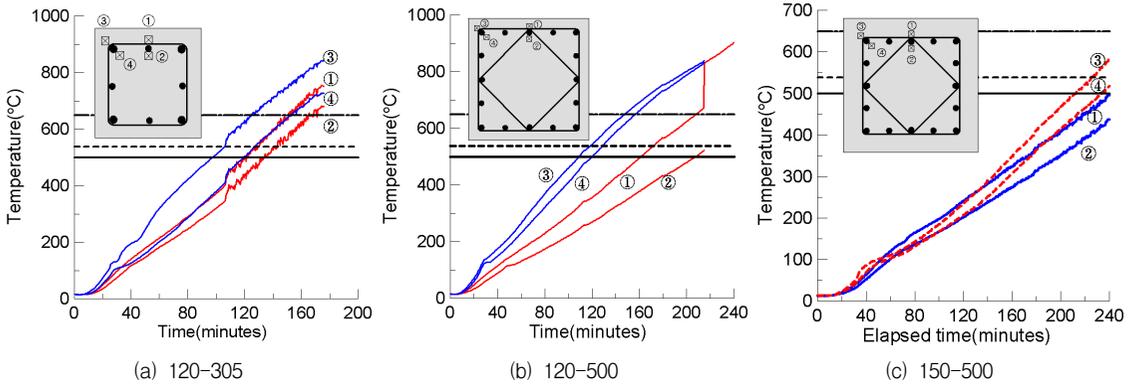


그림 3 각 위치에서의 온도 이력

참고문헌

1. Pierree Kalifa, Francois-Dominique Menneteu, and Daniel Quenard, "Spalling and pore pressure in HPC at high temperatures," Cement and Concrete Research, Vol. 30, 2000, pp.1915-1927.
2. 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.
3. 한천규 외 4인, "폴리프로필렌 섬유 혼입률 및 부재 크기에 따른 고성능 콘크리트의 내화 특성," 콘크리트학회 논문집, Vol. 14, No. 4, 2002, pp.449-456.
4. 박찬규 외 3인, "유기섬유의 열적 특성이 고강도 콘크리트 폭열에 미치는 영향," 한국콘크리트학회 2005년도 봄 학술발표회 논문집, Vol.17 No.1, 2005, pp. 37-40.
5. 최병규 외 3인, "고내화성 고강도 노출콘크리트 기둥 시공 사례," 콘크리트학회지, Vol.18 No.2, 2006, pp. 52-55.
6. 재단법인 일본건축종합시험소, "내화성능시험 • 평가업무방법서"2001.