

폴리프로필렌 및 강섬유 보강 고강도 콘크리트 기둥부재의 내화성능

Fire Resistance Performance for Fiber Reinforced High Strength Concrete Column Member

장 창 일* 이 상 우* 최 민 정** 김 준 모** 김 흥 열*** 원 종 필****
Jang, Chang Il Lee, Sang Woo Choi, Min Jung Kim, Joon Mo Kim, Heung Youl Won, Jong Pil

Abstract

This study evaluated fire resistance performance for polypropylene/steel fiber reinforced high strength concrete column. Full-size columns were constructed and tested with or without fibers using ISO-834 fire curve. As the result of test, non-fiber high strength concrete column specimen occurred serious spalling and indicated rapidly internal temperature increase. Specimen with polypropylene fiber occurred not spalling. Specimen with hybrid fiber occurred not spalling as well as does not propagated temperature propagation. Therefore, hybrid fiber reinforced column specimen indicated a good fire resistance performance than other cases.

요 약

본 연구에서는 폴리프로필렌섬유와 강섬유 혼입에 따른 고강도 기둥 콘크리트의 내화특성을 평가하였으며 내화특성 평가를 위하여 ISO-834 곡선을 적용하여 내화실험을 실시하였다. 실험결과 섬유보강재를 혼입하지 않은 기둥 시험체의 경우 폭렬이 심하게 발생하였으며 높은 내부온도를 나타냈다. 폴리프로필렌섬유를 혼입한 고강도 콘크리트 기둥 시험체의 경우 폭렬이 발생하지 않았으며 내부온도 결과에 있어서도 섬유보강재를 혼입하지 않은 경우보다 낮게 나타났다. 폴리프로필렌섬유와 강섬유를 혼입한 기둥 공시체의 경우 폭렬이 발생하지 않았으며 가장 낮은 내부온도를 나타내 가장 우수한 내화성능을 나타냈다.

1. 서 론

콘크리트 구조물에 화재가 발생할 경우 콘크리트 구조물은 고온에 노출되어 폭렬이 발생하게 된다. 이러한 콘크리트 구조 부재에서의 폭렬 발생은 콘크리트 구조물의 성능을 저하시키며 사용수명 또한 단축시키는 문제점을 발생시킨다. 따라서 화재 이후 콘크리트 구조물의 보수비용도 막대하게 발생하게

*정회원 · 건국대학교 대학원 박사과정

**정회원 · 건국대학교 대학원 석사과정

***정회원 · 한국건설기술연구원 화재 및 설비연구센터 선임연구원

****정회원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 교수 · E-mail:jpwon@konkuk.ac.kr

된다. 최근 콘크리트 구조물의 성능향상을 위해 고강도 콘크리트의 사용이 증가하는 추세인데 고강도 콘크리트의 경우 보통 강도 콘크리트에 비해 우수한 역학적 특성을 발현하지만 콘크리트 내부조직의 치밀함으로 인해 화재시 고강도 콘크리트 구조체 내부 응력보다 큰 수증기압이 발생함으로써 보통 강도 콘크리트 부재보다 심각한 폭렬이 발생한다.¹⁾ 이에 따라 최근에는 화재 발생시 고강도 콘크리트 구조체의 폭렬발생 및 내부온도를 감소시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며 대표적으로 섬유 보강재 혼입을 통한 고강도 콘크리트 구조체에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^{2,3,4)} 이에 본 연구에서는 고강도 콘크리트의 내화성능 향상을 위해 사용하고 있는 폴리프로필렌섬유와 강섬유를 혼입한 고강도 기둥 콘크리트 부재의 내화특성을 평가하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1. 사용 재료

본 연구에서는 섬유보강재로 폴리프로필렌섬유를 사용하였으며 사용된 폴리프로필렌섬유는 화재 발생시 고강도 콘크리트의 폭렬을 효과적으로 방지하기 위하여 직경과 길이가 다르게 특수 제작된 폴리프로필렌섬유를 사용하였다. 강섬유의 경우 부착력 및 인발저항력이 우수한 후크형의 강섬유로 30mm 길이를 사용하였다. 시멘트는 H사의 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 비중 2.66, 조립율 2.97의 강모래를 사용하였다. 굵은 골재는 최대치수 25mm, 비중 2.67의 부순골재를 사용하였다.

2.2. 배합 설계

본 연구에서는 설계강도 60MPa의 콘크리트 배합을 사용하여 내화시험용 고강도 콘크리트 기둥 공시체를 제작하였다. 폭렬저감재를 혼입하지 않은 시험체와 폴리프로필렌섬유를 1.2kg/m³ 혼입한 시험체 그리고 폴리프로필렌섬유 1.2kg/m³와 강섬유 40kg/m³을 하이브리드 시켜 혼입한 시험체를 제작하였다. 폴리프로필렌 섬유를 1.2kg/m³ 사용한 이유는 사전 연구에서 고강도 콘크리트 배합에서 우수한 내화특성 및 굳지 않은 특성 즉 작업성을 발현했기 때문이다. 표 1은 본 연구에서 사용한 고강도 콘크리트 기둥 공시체의 배합설계를 나타낸다.

표 1 배합 설계

| Type | G _{max} (mm) | Slump p (cm) | Air (%) | W/C (%) | Unit Weight (kg/m ³) | | | | | | |
|---------|--------------------------|--------------------|------------|------------|----------------------------------|-----|-----|------|----|-------------|----------------|
| | | | | | W | C | S | G | FA | PP Fiber | Steel Fiber |
| Control | 19 | 10±2 | 3±1 | 29.8 | 164 | 479 | 672 | 1012 | 72 | - | - |
| PP | | | | | | | | | | 1.2 | - |
| Hybrid | | | | | | | | | | 1.2 | 40 |

2.3. 시험 방법

본 연구에서 내화시험을 위해 제작한 기둥 공시체는 피복두께 50mm, 단면치수 270×270×3000mm의 크기로 제작하였으며 내화시험중의 고강도 콘크리트 기둥 공시체의 내부온도 변화를 측정하기 위하여

기둥 공시체 상부에서부터 600mm, 1,500mm 및 2,400mm의 위치에 K-Type의 열전대를 설치하였다. 그리고 기둥 공시체의 내화성능을 평가하기 위하여 표준 화재 조건에 노출시킨 내화 시험 방법(KS F 2257-1)에 따라 실험을 실시하였으며 내화실험을 위하여 ISO-834의 가열곡선을 적용하였다. 내화실험은 시험시작후 180분간 실험을 실시하여 최고온도 1109℃에서 실험을 종료하였다. 고강도 콘크리트 기둥 공시체의 내화실험은 내화실험용 시편을 내화로에 거치한 이후 데이터 로거를 이용하여 열전대의 온도를 기록하였다.

3. 실험 결과

3.1. 압축 강도

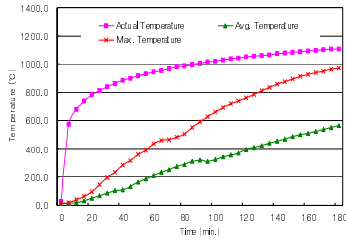
고강도 콘크리트 기둥 공시체의 재령 28일 압축강도를 측정된 결과 섬유보강재를 혼입하지 않은 기둥 공시체의 압축강도는 60.6MPa이었으며 폴리프로필렌섬유를 1.2kg/m³을 혼입한 경우는 59.1MPa를 나타냈다. 폴리프로필렌섬유와 강섬유를 혼입한 경우는 62.7MPa의 압축강도 결과를 나타냈다. 시험결과 재령 28일의 설계압축강도인 60MPa과 큰 차이를 나타내지 않아 목표 압축강도를 만족하는 결과를 나타냈다.

3.2. 내화 성능

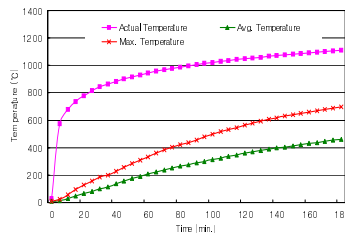
고강도 콘크리트 기둥 공시체의 내화시험 결과 섬유보강재를 혼입하지 않은 Control 공시체의 경우 내화시험후 전단면에 걸쳐 심각한 폭렬이 발생하였으며 실험시간이 증가할수록 고강도 콘크리트 기둥 공시체 내부온도가 증가하였다. 최고내부온도의 경우 내화시험 종료시간인 180분 후에는 실제 가열온도인 1108.4℃와 큰 차이가 없는 974.9℃를 나타냈으며 평균온도의 경우 563.1℃를 나타냈다.

폴리프로필렌섬유를 혼입한 기둥 시험체의 경우 내화시험후 폭렬이 발생하지 않았으며 Control 기둥 시험체에 비해 평균내부온도 및 최고내부온도 모두 낮은 결과를 나타냈다. 폴리프로필렌섬유를 혼입한 경우는 평균내부온도 462.4℃, 최고내부온도 695.8℃를 나타냈다. 내화시험 결과 Control 기둥 공시체에 비해 폴리프로필렌섬유를 혼입한 기둥 공시체가 내부온도 증가 및 폭렬 발생에 있어서 매우 우수한 특성을 보인 것으로 나타났다. 이는 기둥 콘크리트 공시체 내부에 위치한 폴리프로필렌섬유가 고온에 노출되면서 용융되어 마이크로 채널을 형성하여 내부 공극압을 저하시켜 기둥 콘크리트 공시체의 폭렬발생을 저감한 것으로 판단된다.

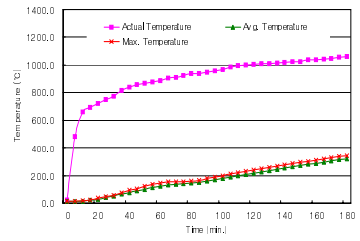
폴리프로필렌 및 강섬유를 혼입한 기둥 시험체의 경우 폴리프로필렌섬유만 혼입한 경우와 마찬가지로 내화시험후 폭렬이 발생하지 않았으며 Control 기둥 공시체보다 평균내부온도 및 최고내부온도 모두 매우 낮은 결과를 나타냈다. 폴리프로필렌 및 강섬유를 혼입한 기둥 공시체의 경우는 평균내부온도 321.3℃, 최고내부온도 346.1℃를 나타냈다. 내화시험 결과 섬유보강재를 혼입하지 않은 기둥 공시체와 폴리프로필렌섬유만 혼입한 기둥 공시체에 비해 폴리프로필렌섬유와 강섬유를 혼입한 기둥 공시체가 내부온도 증가 및 폭렬 발생에 있어서 매우 우수한 특성을 보인 것으로 나타났다. 특히 최고 온도분포의 경우 폴리프로필렌섬유를 단독으로 혼입한 경우보다 약 350℃가 낮아 전체적인 온도분포에 있어서 안정적인 결과를 나타냈다. 기둥 공시체의 내화시험 후 내부온도 분포 결과는 그림 1과 같다.



(ㄱ) Control



(ㄴ) PP Fiber



(ㄷ) Steel+PP Fiber

그림 1 고강도 콘크리트 기둥 시험체의 내화시험 결과

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 폴리프로필렌섬유와 폴리프로필렌 및 강섬유를 혼입한 고강도 콘크리트 기둥 공시체를 제작하여 내화실험을 실시하였다. 다음은 고강도 콘크리트 기둥 공시체의 내화실험 평가 결과이다.

- 1) 섬유보강재를 혼입하지 않은 기둥 공시체의 경우 내화시험후 전단면에 걸쳐 폭렬이 심하게 발생하였으며 평균내부온도 및 최고내부온도가 가장 높게 나타났다.
- 2) 폴리프로필렌섬유를 혼입한 기둥 시험체의 경우 내화시험후 폭렬이 발생하지 않았으며 평균내부온도는 462.4℃, 최고내부온도는 695.8℃를 나타내었다.
- 3) 폴리프로필렌섬유 및 강섬유를 혼입한 기둥 시험체의 경우 내화시험후 폭렬이 발생하지 않았으며 평균내부온도 321.3℃, 최고내부온도 346.1℃를 나타냈다. 내화시험 결과 Control 기둥 공시체와 폴리프로필렌섬유만 혼입한 기둥 시험체에 비해 폴리프로필렌섬유와 강섬유를 혼입한 기둥 공시체가 내부온도 증가 및 폭렬 발생에 있어서 매우 우수한 특성을 보인 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구를 위해 내화용 섬유를 제공해 주신 스틸화이버코리아(주)에 감사합니다.

참 고 문 헌

1. 한천구, 양성환, 이병열, 황인성, 전선천, “폴리프로필렌 섬유의 혼입률 및 부재크기 변화에 따른 고성능 콘크리트의 내화 특성”, 콘크리트학회 논문집 Vol. 14, No. 4, 2002, pp. 449~456.
2. 소양섭, “고성능 콘크리트의 내화성능”, 콘크리트학회지, Vol. 14, No. 2, 2002, pp.37~44
3. Pirre, K., Gregoire, C., and Christophe, G., “High-temperature behaviour of HPC with polypropylene fiber from spalling to microstructure”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 31, 2001, pp. 1487~1499,
4. Xiao, J., Falkner, H., “On residual strength of high-performance concrete with and without polypropylene fibres at elevated temperatures”, *Fire Safety Journal*, vol. 41, No. 2, 2006, pp. 115~121