

고성능 RC 기둥의 재하가열시험에 의한 내화 특성

Properties of Fire Endurance of High Performance RC Column by Loaded Heating Test

김 경 민* 김 기 훈** 황 인 성*** 이 재 삼**** 이 성 연***** 한 천 구*****
Kim, Kyung Min Kim, Ki Hoon Hwang, Yin Seong Lee, Jae Sam Lee, Seong-Yeun Han, Cheon Goo

ABSTRACT

This study discusses spalling and fire enduring performance of high performance concrete (HPC) RC column subjected to loading under heating for 3 hours. According to the test, both the plain concrete and the concrete attached with fire enduring PC panel exceed allowable temperature after 60 minutes due to the exposure of steel bar and falling off of concrete resulting from severe spalling failure. It leads to buckling of main bar and at the same time, occurrence of collapse of plain HPC column member is observed after 2 hours and 1 hour 40 minutes's exposure to fire, respectively. On the other hand, HPC applying both PP fiber of 0.1% by mass of concrete and PP fiber+lateral confinement by metal lath maintains their original cross section, which is satisfied with the 3 hours fire endurance criteria, by discharging internal vapour pressure and enhanced lateral confinement force.

1. 서 론

최근의 건축 구조물은 초고층화, 대형화와 함께 콘크리트도 고강도, 고유동, 고내구성을 갖는 고성능 콘크리트의 사용이 증가하고 있다. 이러한 고성능 콘크리트는 일반강도의 보통 콘크리트와 달리 조직이 치밀하여 화재시 갑작스런 고열을 받게 되면 부재표면이 심한 폭음과 함께 박리 및 탈락하는 폭열 현상이 발생함에 따라 철근이 노출되어 철근콘크리트(이하 RC라 함) 구조체의 내력 저하를 초래하므로서 구조물의 붕괴를 일으킬 수 있는 원인이 되기도 한다.

따라서, 국내에서는 화재시 고성능 콘크리트의 폭열방지 및 내화성능 향상을 목적으로 폴리프로필렌 섬유(이하 PP섬유)와 메탈라스 횡구속에 의한 폭열방지 연구가 일부 진행되었으나, 실구조체를 대상으로 재하가열시험에 의한 폭열방지 및 내화성능에 대한 검토는 미흡한 실정이었다.

그러므로, 본 연구에서는 고성능 콘크리트의 화재시 폭열방지 및 내화성능 향상을 목적으로, 플레인 과 마감재로 내화 PC판 부착, PP섬유 혼입 및 PP섬유와 메탈라스 횡구속을 병용한 고성능 RC 기둥 부재를 대상으로 3시간 재하가열시험을 실시한 후 폭열성상 및 내화성능을 검토하므로써 화재시 고성능 콘크리트의 폭열방지 및 내화성능 향상에 기여하고자 한다.

* 정회원, 두산산업개발(주) RC연구개발팀 연구원, 박사과정

** 정회원, 청주대학교 대학원 석사과정

*** 정회원, 아세아시멘트(주) 연구개발팀 주임연구원

**** 정회원, 두산산업개발(주) RC연구개발팀 팀장

***** 정회원, 두산산업개발(주) 기술연구소장

***** 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수

2. 실험계획 및 방법

2.1. 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 즉, 실험요인으로 W/B는 호칭강도 40MPa를 만족하는 실무 시공조건을 고려하여 플라이애쉬를 15% 치환한 34%의 1수준에 대하여 섬유를 혼입하지 않고 제치장 마감인 플레인과 마감재로 내화 PC판 부착, PP섬유 0.1%혼입 및 PP섬유 0.1%에 메탈라스 두께 2.3T로 횡구속한 4수준으로 300×300×3,000mm의 RC 기둥 부재를 제작하여 3시간 재하가열 시험을 실시하는 것으로 하였다. 이때, 플레인은 목표 슬럼프플로우를 고유동 콘크리트의 범위인 600±100mm, 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 배합설계하였고, PP섬유 0.1% 혼입에 따라서도 동일하게 적용하였다. 굳지않은 콘크리트 및 경화 콘크리트의 실험사항은 표 1과 같고, 배합사항은 표2와 같다.

표 1. 실험계획

실험요인				실험사항	
W/B (%)	목표 플로우 (mm)	목표 공기량 (%)	구조체 종류	굳지않은 콘크리트	경화 콘크리트
34	600±100	4.5±1.5	· 플레인 · 내화PC판 ¹⁾ · PP 0.1% · PP0.1+M2.3T	· 슬럼프 · 슬럼프 플로우 · 공기량 · 단위용적 질량	· 압축강도 (3, 7, 28일) · 재하가열시험 (3시간) - 폭열성상 - 온도이력

1) 모르타르 배합 1:2에 PP섬유 0.1%를 혼입한 후 3cm 부재의 중앙에 메탈라스 1.6T를 보강하여 제작

표 2. 콘크리트의 배합사항

W/B (%)	단위 수량 (kg/m ³)	S/a (%)	SP/C (%)	AE제 (%)	절대용적배합 (ℓ/m ³)				질량배합 (kg/m ³)			
					C	FA	S	G	C	FA	S	G
34	168	46	1.0	0.014	157	34	274	322	420	74	708	840

2.2. 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시멘트(밀도 3.15g/cm³, 분말도 3,203cm²/g)를 사용하였고, 골재로 잔골재는 경남 창녕군 현창산 강모래(밀도 2.58g/cm³, 조립률 2.81), 굵은골재는 경남 진해시 용원산 25mm 부순 굵은골재(밀도 2.61g/cm³, 조립률 6.56)를 사용하였다. 혼화재료로 고성능감수제는 국내산 B사의 폴리칼본산계, 플라이애쉬는 보령 화력산을 사용하였고, PP섬유(밀도 0.9g/cm³, 길이 15mm)는 국내산 S사의 단섬유를 사용하였으며, 메탈라스(24-48-2.3T)는 국내에서 시판되는 일반적인 것을 사용하였다.

2.3. 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 혼합하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402 규정에 의거 실시하였고, 슬럼프플로우는 슬럼프 측정이 끝난 후 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 하였으며, 공기량 및 단위용적질량은 KS F 2421 및 2409의 규정에 따라 실시하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2405의 규정에 의거 실시하였고, RC 기둥은 사진 1과 같이 실험요인별로 거푸집을 제작한 후 콘크리트를 부어넣어 제작하였으며, PC판 부착은 28일 양생 후 실무조건으로 시공하였다. 내화시험은 한국건설기술연구원의 기둥 가열로 내에 수직으로 배치한 후 최대 설계축하중의 50%를 재하한 후 KS



사진 1. RC 기둥 거푸집 제작

F 2257-1에서 규정한 표준가열곡선으로 3시간 가열을 하였다. 내화시험 후 폭열여부는 육안으로 관찰하여 조사하였고, 온도이력은 거푸집 제작시 사전 매설한 K타입 열전대를 이용하여 데이터 로거로 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1. 굳지 않은 콘크리트의 특성

표 3은 플레인 및 PP섬유 0.1% 혼입한 콘크리트의 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적질량을 나타낸 것이다.

플레인 콘크리트는 목표 슬럼프플로우 및 공기량의 범위를 만족하였고, PP섬유를 0.1% 혼입한 경우는 유동성이 저하하였으나, 목표 슬럼프플로우의 범위를 만족하였으며, 공기량은 플레인과 큰 차이가 없었다.

3.2. 경화 콘크리트의 특성

표 4는 플레인 및 PP섬유 0.1% 혼입한 콘크리트의 재령경과에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 압축강도는 재령이 경과할수록 증가하였고, 플레인 콘크리트는 53MPa 정도의 고강도로 나타났으며, PP섬유를 0.1% 혼입한 콘크리트는 플레인보다 다소 저하하였으나, 큰 차이는 아닌 것으로 사료된다.

3.3. 폭열 및 내화 특성

사진 2는 재하가열시험 후 RC 기둥부재의 폭열모습을 나타낸 것이다.

먼저, 플레인은 심한 파괴폭열로 철근이 노출되었고, 이후 철근이 고온을 받으므로써 구조내력이 저하하여 재하가열시험 2시간만에 사진 3과 같이 주근이 좌굴되어 붕괴되었다.

내화 PC판은 플레인과 유사한 경향으로 파괴폭열이 발생하였는데, 이 경우는 재하가열 1시간 40분

표 3. 굳지않은 콘크리트의 실험결과

구분	슬럼프 (mm)	슬럼프 플로우 (mm)	공기량 (%)	단위용적 질량 (kg/m ³)
플레인	270	670	4.5	2,353
PP 0.1%	250	538	4.5	2369

표 4. 경화 콘크리트의 압축강도 실험결과

구분	압축강도(MPa)		
	3일	7일	28일
플레인	29.7	39.5	52.9
PP 0.1%	29.5	39.1	49.6

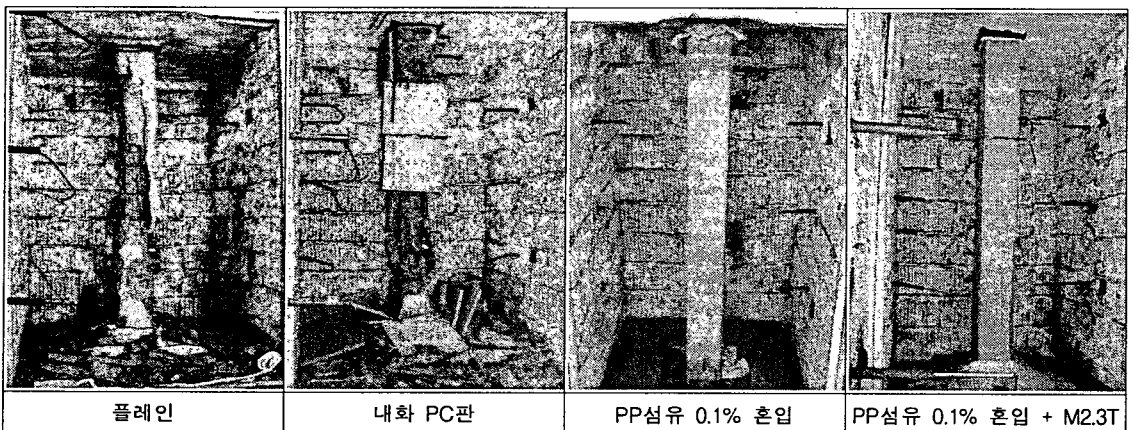


사진 2. 재하가열시험 후 RC 기둥부재의 폭열 모습

만에 붕괴되어 오히려 플레인보다 빠른 시간에 붕괴되었다. 이는 내화 PC판이 재하가열시험 초기 내화 PC판에 의해 고온이 차단되었으나, 계속적인 고온에 의해 고정 철물의 기능이 상실되어 내화 PC판이 탈락하므로써 갑작스런 고온이 콘크리트 표면에 접하게되어 더욱 심한 파괴폭열과 함께 철근이 노출되어 플레인보다 다소 빠른 시간에 붕괴된 것으로 사료된다.

한편, PP섬유를 0.1% 혼입한 RC기둥은 효과적으로 폭열이 방지되어 기둥부재의 형상을 그대로 유지하였고, 재하가열 3시간을 만족하는 것으로 나타났다.

또한, PP섬유와 메탈라스 황구속을 병용한 부재는 PP섬유에 의한 내부 수증기압의 효과적인 배출 및 메탈라스 황구속력의 복합적인 작용으로 재하가열 3시간을 만족하였다.

그림 1은 플레인과 PP섬유를 0.1% 혼입한 재하가열 기둥부재에 대한 내부온도이력을 나타낸 것이다.

먼저, 기둥 가열로 내부온도는 표준가열곡선을 만족하는 온도이력으로 나타났고, 마감이 없는 플레인 기둥의 온도이력은 피복두께 40mm의 띠철근 위치에 매설한 단부의 경우 가열시간 30분 이후, 중앙부분은 90분 이후부터 온도가 급격히 상승하였는데, 이는 폭열에 의해 피복 콘크리트가 탈락한 것에 기인하여 단부 및 중앙부의 온도가 급격히 상승한 것으로 판단된다. 또한, 플레인은 계속적인 폭열발생으로 철근이 노출되어 가열시간 60분 이후부터 강재의 허용온도인 500℃를 초과하였고, 이후 계속적인 온도상승으로 구조내력이 상실되어 120분만에 플레인 기둥부재가 붕괴되었다.

한편, PP섬유를 0.1% 혼입한 RC 기둥은 PP섬유에 의한 폭열방지효과로 단부 및 중앙부 모두 가열로내 온도상승에 따라 비례적으로 증가하였고, 단부의 경우 가열시간 150분부터 강재의 허용온도를 초과하였으나, 3시간 내화는 만족하였다. 이때, 3시간 내화시험 후의 단부 최고온도는 590℃, 중앙부 최고온도는 220℃로 나타났다.

4. 결 론

본 연구는 제치장마감인 플레인, 내화PC판 부착, PP섬유 0.1% 혼입 및 PP섬유 0.1%와 메탈라스 황구속을 병행한 고성능 RC 기둥 부재를 대상으로 3시간 재하가열시험을 실시한 후 폭열 및 내화성을 검토한 것으로, 그 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 플레인과 내화PC판 마감인 RC 기둥은 심한 파괴폭열에 의해 단면결손 및 철근의 노출로 60분만에 강재의 허용온도를 초과하였고, 구조내력이 저하되어 2시간 및 1시간 40분만에 주근이 좌굴되어 붕괴되었다.

2) PP섬유 0.1%혼입 및 PP섬유 0.1%와 메탈라스 황구속을 병용한 경우는 내부 수증기압의 효과적인 배출로 폭열이 방지되어 3시간 내화성능을 만족하였다.

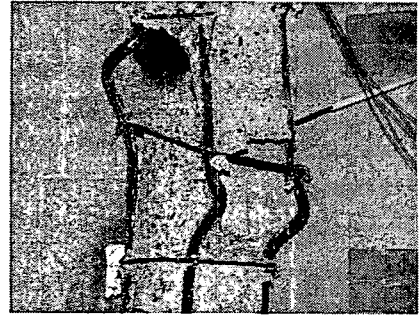


사진 3. 내화시험 후 기둥주근의 좌굴 모습

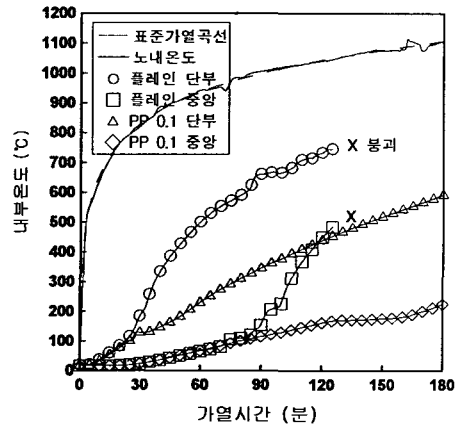


그림 1. 플레인 및 PP섬유를 0.1% 혼입한 재하가열 기둥부재의 내부온도이력