

# 횡구속 방법에 따른 고성능 RC 기둥 콘크리트의 내화특성

## Properties of Fire Endurance of High Performance RC Column with Laterral Confinement Method

황인성<sup>\*</sup> 김기훈<sup>\*\*</sup> 배연기<sup>\*\*\*</sup> 이보형<sup>\*\*\*\*</sup> 이재삼<sup>\*\*\*\*\*</sup> 한천구<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
Hwang, Yin Seong Kim, Ki-Hoon Bae, Yeoun Ki Lee, Bo Hyeong Lee, Jae Sam Han, Cheon Goo

### ABSTRACT

This paper is to investigate the spalling and fire endurance of high performance RC column member with PP fiber and lateral confinement of metal lath and non fire resistance removal type form. According to test results, combination of PP fiber and metal lath as well as use fire resistance non removal type form had favorable fire resistance by discharging internal vapour pressure and lateral confining. After fire endurance test, compressive strength decreased markedly caused by internal expansion pressure and crack. Residual strength of plain concrete was decreased to 22%. The use of PP fiber and lateral confinement of metal lath and non removal type form enhanced the residual strength above 40%. Especially, the combination of 0.1% of PP fiber and lateral confinement with the level of 2.3T exhibited more than 51% of residual strength. Therefore, to improve fire endurance and spalling resistance, the combination of 0.1% of PP fiber and metal lath with 2.3T can be the proper measure.

### 1. 서론

최근에는 건축물이 초고층화와 함께 콘크리트도 고강도, 고유동, 고내구성과 같은 고성능 콘크리트의 사용이 꾸준히 증가하고 있다. 이러한 고성능 콘크리트는 일반강도의 보통 콘크리트와 달리 강도가 크고, 유동성 및 내구성이 우수한 반면, 조직이 치밀하여 화재시 갑작스런 고열을 받게 되면 부재표면이 심한 폭음과 함께 박리 및 탈락하는 폭열현상이 발생할 수 있고, 균열과 함께 강도저하 등도 문제점으로 제기되고 있다. 특히, 이러한 폭열현상은 피복두께의 결손과 함께 철근의 온도상승으로 RC구조체의 붕괴까지도 초래하게 된다.

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

그러므로, 본 연구에서는 고성능 콘크리트의 화재시 폭열방지 및 내화성능 향상을 목적으로, PP섬유와 메탈라스 두께 변화에 따라 제작한 RC 기둥부재에 대하여 3시간 내화시험을 실시한 후 폭열상상

\* 정회원, 청주대학교 산업과학연구소 전임연구원

\*\* 정회원, 청주대학교 대학원 석사과정

\*\*\* 정회원, 두산산업개발(주) RC연구개발팀 선임연구원

\*\*\*\* 정회원, 두산산업개발(주) 기술연구소 과장

\*\*\*\*\* 정회원, 두산산업개발(주) RC연구개발팀 팀장

\*\*\*\*\* 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수

및 잔존 압축강도 등 내화성을 검토하므로써, 화재시 고성능 콘크리트의 폭열방지 및 내화성능 향상에 기여하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1. 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 즉, 실험요인으로 W/B는 두산산업개발 부산 해운대 포세이돈 주상복합건물 신축공사 현장 배합자료인 호청강도 40MPa를 상정하여 34%의 1수준으로 하였다. 실험부재는 300×300×600mm인 RC기둥을 대상으로 플레인과 PP섬유 0.1%에 메탈라스 두께를 1.2, 1.6 및 2.3T로 구속한 3수준, PP섬유 0.1%와 메탈라스 1.6.T를 보강한

모르터 배합비 1:2인 비탈형거푸집의 두께를 3, 4 및 5cm로 제작하여 콘크리트를 부어넣어 구속시킨 3수준의 총 7배치를 실험계획하였다. 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 같다.

### 2.2. 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시멘트(비중 3.15, 분말도 3,203cm<sup>2</sup>/g)를 사용하였고, 골재로 잔골재는 경남 창녕군 현창산 강모래(밀도 2.58g/cm<sup>3</sup>, 조립률 2.81), 굵은골재는 경남 진해시 용원산 25mm 부순 굵은골재(밀도 2.61g/cm<sup>3</sup>, 조립률 6.56)를 사용하였다. 혼화재료로 고성능감수제는 국내산 B사의 폴리칼본산계, 플라이애쉬는 보령 화력산을 사용하였고, PP섬유(밀도 0.9g/cm<sup>3</sup>, 길이 15mm)는 국내산 S사 제품을 사용하였으며, 메탈라스는 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 2405에 의거 실시하였고, 내화시험은 사진 1 및 2와같이 메탈라스 횡구속인 경우 PP섬유 0.1%를 혼입한 콘크리트를 타설하였고, PP섬유와 메탈라스의 조합으로 제작한 비폭열성 비탈형거푸집은 플레인 콘크리트를 타설하여 RC기둥부재를 제작한 후 20±3℃의 표준양생조건에서 14일 살수양생한 후 14일 기중방치한 다음 한국건설기술연구원의 바닥용 가

표 1. 실험계획

실험요인				실험사항	
W/B (%)	목표 플로우 (mm)	목표 공기량 (%)	횡구속 방법	굳지않은 콘크리트	경화 콘크리트
34	600±100	4.5±1.5	플레인	· 슬럼프 · 슬럼프 플로우 · 공기량 · 단위용적질량	· 압축강도 (3, 7, 28일) · 내화시험(3시간) - 잔존압축강도 - 중량감소율 - 폭열깊이 - 폭열발생율 - 중성화깊이
			PP0.1+M1.2T		
			PP0.1+M1.6T		
			PP0.1+M2.3T		
			비탈형 거푸집 <sup>1)</sup>	3cm 4cm 5cm	

1)은 모르터 배합 1:2에 PP섬유 0.1%를 혼입한 두께별 비탈형거푸집 부재의 중앙에 메탈라스 1.6T로 보강하여 제작

표 2. 콘크리트의 배합사항

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

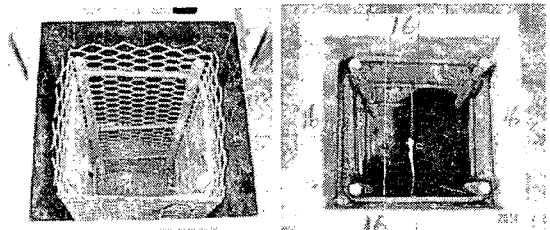


사진 1. 메탈라스 횡구속

사진 2. 비탈형 거푸집

열로 내에 수직으로 배치한 후 KS F 2257-1에서 규정한 표준가열곡선으로 3시간 가열을 실시하는 것으로 하였다.

내화시험 후 폭열여부는 육안으로 관찰하여 조사하였고, 잔존 압축강도는 코어채취하여 KS F 2405에 의거 측정하였으며, 중량감소율은 내화시험 전후 각 시험체의 중량을 측정하여 백분율로 구하였다. 또한, 폭열깊이는 기둥부재의 4면 및 모서리에 대한 최대 폭열깊이의 평균치로 구하였고, 폭열발생면적율은 폭열면적을 기둥부재의 전체면적으로 나눈 백분율로 구하였으며, 중성화 깊이는 1% 페놀프탈레인 알칼용액을 시험체 절단면에 분무하여 무색부분을 중성화깊이로 간주하여 평균치로 구하였다.

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1. 굳지 않은 콘크리트의 특성

표 1은 플레인 및 PP섬유 0.1% 혼입한 콘크리트의 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적중량을 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 없는 것으로 나타났다.

#### 3.2. 경화 콘크리트의 특성

표 2는 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 3은 횡구속 조건에 따른 RC 기둥부재의 3시간 내화시험을 실시하고 난 후의 시험체 모습을 나타낸 것이다.

횡구속 조건에 따른 RC 기둥부재의 폭열특성으로, 플레인 RC 기둥은 급격한 고온과 내부 수증기압에 의해 심한 파괴폭열로 철근이 노출되었으나, PP섬유 0.1%와 메탈라스로 횡구속을 병용한 RC 기둥부재는 모두 폭열이 발생하지 않았는데, 이는 PP섬유가 고온에 녹아 내부 수증기압의 효과적인 배출 및 메탈라스 횡구속력의 복합적인 작용에 기인된 것으로 분석된다. 또한, 비탈형거푸집으로

표 1. 굳지않은 콘크리트의 실험결과

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

표 2. 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

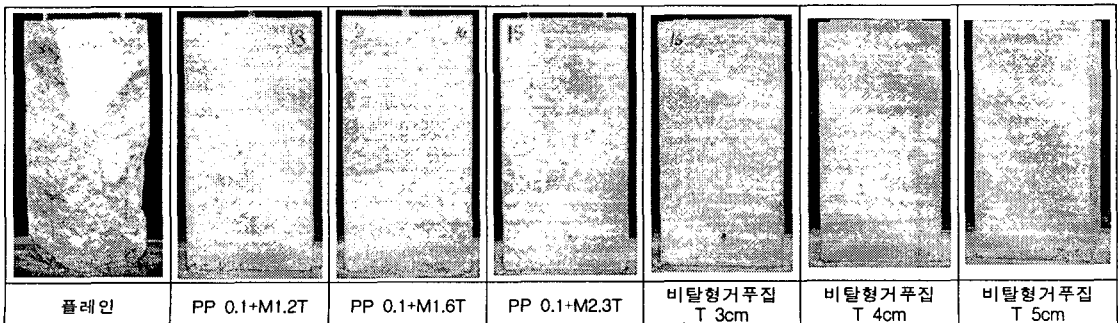


사진 3. 횡구속 조건에 따른 RC 기둥부재의 내화시험 후 시험체 모습

횡구속한 경우도 폭열이 전혀 발생하지 않았는데, 이는 비탈형거푸집의 PP섬유가 역시 고온에 녹아 표면의 폭열을 방지하고, 내부 플레인 콘크리트를 구속해 줌으로써 폭열이 효과적으로 방지된 것으로 사료된다.

그림 2는 횡구속에 따른 RC 기둥부재의 내화시험 후 코어압축강도 및 잔존압축강도율을 나타낸 것이다.

횡구속에 따른 RC 기둥부재의 내화시험 후 압축강도는 고온에 의한 팽창압과 내부균열로 크게 저하하였는데, 플레인인 경우 잔존압축강도율이 22% 정도로 나타난 반면, PP섬유에 메탈라스 횡구속 및 비폭열성 비탈형거푸집으로 횡구속한 경우는 대부분 40% 이상으로 크게 증진되어 나타났다. 특히, PP섬유 0.1%와 메탈라스 2.3T로 횡구속을 병용한 경우는 잔존압축강도율이 51.4%로 내화능력이 가장 양호하였다.

그림 3은 횡구속에 따른 RC 기둥부재의 내화시험 후 중량감소율 및 중성화 깊이를 나타낸 것이다.

먼저, 중량감소율은 플레인인 경우 파괴폭열로 인하여 20% 이상 감소되게 나타난 반면 기타 횡구속 조건에 따른 기둥부재는 폭열은 방지되었으나, 가열건조의 영향으로 7~8% 정도 감소하였고, 중성화 깊이는 플레인이 8mm, 기타 횡구속 기둥부재는 5mm 전후로 플레인보다 다소 얇게 나타났다.

한편, 폭열깊이는 플레인인 경우 모서리가 표면보다 깊게 나타났고, 폭열발생면적율은 63%로 크게 나타난 반면, 횡구속에 따른 RC 기둥부재는 폭열이 발생하지 않아 측정되지 않았다.

#### 4. 결론

본 연구는 고성능 RC 기둥부재의 내화능력 향상을 목적으로, PP섬유와 메탈라스의 횡구속 및 비폭열성 비탈형거푸집으로 횡구속한 RC 기둥부재의 내화시험 후 폭열성상 및 내화능력을 검토한 것으로, 그 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 내화시험 후 폭열특성으로, 플레인은 심한 파괴폭열이 발생하여 철근이 노출되었으나, PP섬유와 메탈라스로 횡구속한 경우 및 비폭열성 비탈형거푸집으로 횡구속한 경우는 PP섬유에 의한 내부 수증기압의 효과적인 배출 및 횡구속력에 의해 모두 폭열이 방지되었다.

2) 내화시험 후 압축강도는 고온에 의한 팽창압과 내부균열로 크게 저하하였는데, 플레인인 경우 잔존압축강도율이 22% 정도로 나타난 반면, PP섬유와 메탈라스 및 비탈형거푸집으로 횡구속한 경우는 대부분 40% 이상으로 크게 증진되게 나타났다. 특히, PP섬유 0.1%와 메탈라스 2.3T로 횡구속을 병용한 경우는 잔존압축강도율이 51.4%로 내화능력이 가장 양호하였다.

3) 횡구속에 의한 RC 기둥부재의 중량감소율은 플레인의 20% 이상에 비해 가열건조의 영향으로 7~8% 정도 감소하였고, 중성화 깊이는 5mm 전후로 플레인 8mm보다 다소 얇게 나타났으며, 폭열깊이 및 폭열발생면적율은 폭열이 방지됨에 따라 측정되지 않았다.

그림 3. 횡구속에 따른 RC기둥부재의 내화시험 후 중량감소율 및 중성화 깊이

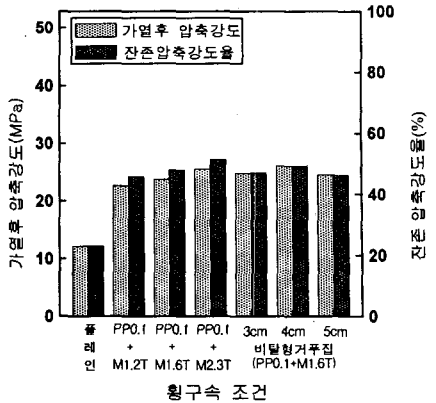
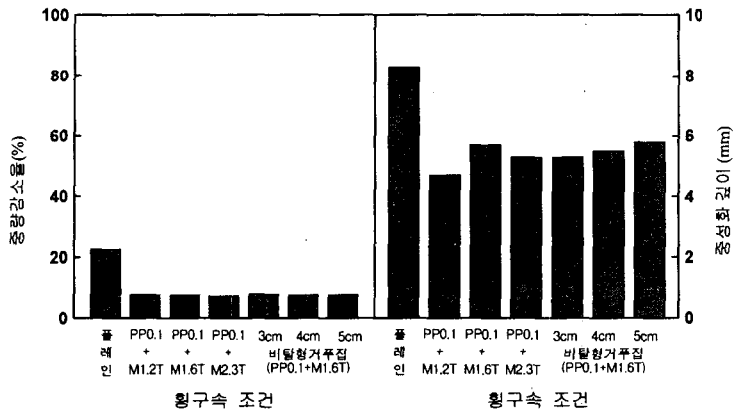


그림 2. 횡구속에 따른 RC기둥부재의 내화시험 후 압축강도 및 잔존압축강도율