

# 비탈형 거푸집에 의한 고강도 콘크리트의 폭렬방지

## Spalling Resistance of High Strength Concrete Using Non-Stripping Form

유 지 영\*    한 창 평\*\*    지 석 원\*\*\*    한 민 철\*\*\*\*    양 성 환\*\*\*\*\*    한 천 구\*\*\*\*\*  
You, Ji Young    Han, Chang Pyung    Jee, Suk Won    Han, Min Cheol    Yang, Seong Hwan    Han, Cheon Goo

### ABSTRACT

As a part of a series of study, this study reviewed the fire proof characteristics of high performance concrete RC column members using non-stripping form that accompanied metal lath lateral confinement to prevent spalling of high performance concrete which is increasingly used recently, and the results are as follows. Flow and air amount both satisfied target range, and compressive strength, over 80MPa at age 28 days, showed high strength range. As for spalling characteristics, in the case of plain in which no fiber is mixed, severe spalling occurred, and in the case of 0.05% nylon("NY" hereinafter)+polypropylene("PP" hereinafter) fiber mixture, only surface area experienced partial spalling. Regarding non-stripping form changes, both non-stripping 25-20 and non-stripping 50-20 experienced spalling at finish material area, and non-stripping 50-20 showed better spalling proof performance than non-stripping 25-20. In the case of non-stripping 50-40, spalling was prevented, and while mass reduction rate was less than 10%, its temperature hysteresis showed the most excellent fire proof performance with base metal surface area maximum temperature 376.1°C.

### 요 약

본 연구에서는 최근 사용이 증대되고 있는 고성능 콘크리트의 폭렬현상을 방지하기 위해 일련의 연구 중 메탈라스 횡구속을 병행한 비탈형 거푸집을 사용한 고성능 콘크리트 RC기둥부재의 내화특성을 검토하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 유동성 및 공기량은 모두 목표범위를 만족하였고, 압축강도는 재령 28일에서 80 MPa이상으로 고강도범위를 나타내었다. 폭렬 특성으로는 섬유를 혼입하지 않은 플레인의 경우는 심한 폭렬이 발생하였고, 나일론(이하 NY)+폴리프로필렌(이하 PP) 섬유를 0.05%를 혼입한 경우에는 표면부에만 부분적인 박리폭렬이 발생하였다. 비탈형 거푸집 변화에 따라서는 비탈형 25-20, 비탈형 50-20의 경우에는 모두 마감재부분에 폭렬이 발생하였는데, 비탈형 50-20의 경우가 비탈형 25-20보다 양호한 폭렬방지 성능을 나타내었다. 비탈형 50-40의 경우는 폭렬이 방지되었는데 질량감소율은 10%이하로 나타났고, 온도이력은 모재표면부 최고온도가 376.1 °C로 가장 우수한 내화 성능을 나타내었다.

\* 정회원, 청주대 대학원 석사과정

\*\* 정회원, (주)한성종합기술단 건축사사무소 기술연구소 소장

\*\*\* 정회원, 두산건설(주) 기술연구소 부장

\*\*\*\* 정회원, 청주대 건축공학부 전임강사, 공학박사

\*\*\*\*\* 정회원, 인천전문대학 건축과 교수, 공학박사

\*\*\*\*\* 정회원, 청주대 건축공학부 교수, 공학박사

## 1. 서론

최근 도심부의 건축물들은 고층화, 대형화됨에 따라 고성능 콘크리트의 사용이 증대되고 있다. 그런데, 이와 같은 고강도 콘크리트는 보통 콘크리트보다 유동성 및 강도 등에서는 우수한 품질을 발휘하지만 치밀한 조직에 의해 화재시 구조체 콘크리트 내부에 구속응력보다 큰 수증기압이 발생함으로써 폭발현상이 발생할 수 있다. 이러한 폭발현상은 구조부재 피복콘크리트의 탈락으로 철근이 고온에 노출됨에 따라 심각한 구조내력저하를 초래하여 경우에 따라서는 건축물의 붕괴에 까지도 이르는 치명적인 결과를 초래할 수 있어 반드시 해결해야 할 문제점으로 지적되고 있다.

그러므로 본 연구에서는 고성능 콘크리트의 화재 시 폭발방지와 관련한 일련의 연구중, 메탈라스 황구속을 병행한 비탈형 거푸집의 강도 및 두께변화에 따른 고성능 콘크리트 RC기둥부재의 내화특성을 검토하여, 고성능 콘크리트의 내화 안전성 향상에 기여하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다. 즉, 실험요인으로 W/B는 25 %에 대해, 시멘트에 대한 질량비로 플라이애시(이하 FA) 20 %와 실리카 폼(이하 SF) 10 %를 동시에 치환한 것을 플레인 배합으로 하여 RC기둥을 상정한 300×300×600 mm 기둥부재를 대상으로 섬유를 혼입하지 않은 경우와 NY섬유와 PP섬유를 1:1로 복합하여 0.05 %를 혼입한 경우 2수준과, 섬유를 무혼입한 모의구조체에 한해서 비탈형 거푸집 변수으로써 W/C 25 %에서 두께 20mm, W/C 50 %에서 두께 20mm와 40mm로 하여, 총 5수준을 실험계획 하였다. 단, 비탈형 거푸집은 황구속을 목적으로 메탈라스 2.3 mm를 내부에 삽입하여 제작하였다. 이때 모의구조체의 배합사항으로 목표 슬럼프플로우는 600±100 mm, 목표공기량 3.0±1.0 %를 만족하도록 배합설계한 후 NY+PP섬유를 혼입한 경우에도 동일한 배합 조건을 적용하였고, 비탈형거푸집용 내화 모르타의 배합사항은 표 3과 같다.

### 2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시멘트(밀도: 3.15 g/cm<sup>3</sup>, 분말도: 3,302 cm<sup>2</sup>/g)를 사용하였고, 골재는 충남 조치원산의 부순 굵은골재(밀도: 2.7 g/cm<sup>3</sup>, 조립률: 6.56)와 부순모래와 강모래를 1:1의 비율로 혼합한 혼합모래(밀도: 2.59 g/cm<sup>3</sup>, 조립률: 2.81)를 사용하였다. 혼화재료로 플라이애시(밀도: 2.21 g/cm<sup>3</sup>, 분말도: 4,061 cm<sup>2</sup>/g)는 국내산, 실리카폼(밀도: 2.21 g/cm<sup>3</sup>, 분말도: 200,000 cm<sup>2</sup>/g)은 노르웨이산을 사용하였고, 고성능감수제는 국내산 E사의 폴리칼본산계와 음이온계 AE제를 사용하였으며, NY섬유(직경: 0.012 mm, 밀도: 1.15 g/cm<sup>3</sup>) 및 PP섬유(직경: 0.04 mm, 밀도: 0.91 g/cm<sup>3</sup>)는 국내산 S사의

표 1. 실험계획

구분	실험요인						실험사항	
	W/B (%)	목 표 슬럼프 (mm)	목 표 공기량 (%)	비탈형거푸집			굳지않은 콘크리트	경화 콘크리트
				W/C (%)	두께 (mm)	메탈라스		
모의구조체 (섬유 무혼입)	25	600±100	3.0±1.0	-	-	-	· 공기량 · 슬럼프플로우	· 압축강도 (3, 7, 28일) · 내화실험 -폭렬유무 -폭렬성상 -질량감소율 -온도이력 <sup>1)</sup>
25				20	2.3 T			
50				20 40	2.3 T			
모의구조체 (NY+PP 0.05%)	-	-	-	-	-	-		

1) 온도이력은 비탈형 50-40구조체에만 주근부와 표면부를 측정하는 것으로 한다.

표 2. 플레인 콘크리트의 배합

W/B (%)	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	S/a (%)	AE제 (%)	SP제 (%)	질량배합 (kg/m <sup>3</sup> )				
					C	FA	SF	S	G
25	160	45	0.06	1.4	448	128	64	678	838

표 3. 비탈형거푸집 내화모르타의 배합

W/B (%)	S/a (%)	SP제 (%)	질량배합 (kg/m <sup>3</sup> )						
			C	W	FA	SF	S	NY	PP
25	50	2	502	179	143	72	1432	0.288	0.228
50	50	0.45	485	303	121	0	1213	0.288	0.228

제품을 사용하였다.

### 2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 혼합하였고, 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프플로우는 KS F 2594, 공기량은 KS F 2421의 규정에 의거 실시하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 재령경과에 따른 압축강도는  $\varnothing 100 \times 200$  mm 원주형 공시체를 제작하여, KS F 2405 규정에 의거 실시하였고, 내화시험은 한국건설기술연구원의 바닥용 가열로내에 모의구조체를 수직으로 배치한 후 KS F 2257-1에서 규정한 표준가열곡선에 의거하여 3시간동안 가열을 실시하였다. 또한, 내화시험 후 공시체의 폭렬유무와 폭렬성상은 육안으로 관찰하여 조사하였고, 질량감소율은 내화시험전후 각 시험체의 질량을 측정하여 백분율로 구하였다. 내화시험 중 온도이력은 비탈형 50-40의 경우 1수준에 대해서만 K타입 열전대선으로 데이터로그를 이용하여 측정하였다.

## 3. 실험 결과 및 분석

### 3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

그림 1은 섬유 혼입에 따른 구조체 콘크리트의 슬럼프플로우와 공기량을 나타낸 것이다. 전반적으로, NY+PP섬유를 0.05% 혼입한 경우 슬럼프플로우와 공기량은 약간 감소하는 경향이 있지만, 목표범위는 만족하는 것으로 나타났다.

### 3.2 경화 콘크리트 특성

#### 3.2.1 강도특성

그림 2는 재령경과에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 전반적으로 섬유를 무혼입한 플레인의 경우 재령 7일에서 60 MPa이상, 재령 28일에서는 80 MPa이상의 고강도범위를 나타내었다. 단, NY+PP섬유를 0.05% 혼입한 경우는 섬유를 무혼입한 플레인에 비해 미세하게 강도가 증가하는 경향을 나타내었는데, 이는 섬유혼입에 의한 부착력 증대에 기인한 것으로 분석된다.

#### 3.2.2 폭렬특성

사진 1은 비탈형 거푸집 종류변화에 따른 시험체의 내화시험 후의 폭렬모습을 나타낸 것이다.

먼저, 섬유를 혼입하지 않은 플레인의 경우는 급격한 고온에 의한 내부 수증기압의 영향으로 전체적으로 박리 및 탈락되어 철근이 노출되는 심한 폭렬이 발생하였고, NY+PP 0.05%를 혼입한 경우에는 섬유가 고온에 녹아 수증기배출이 원활해져 표면부에만 부분적인 박리폭렬이 발생하였다. 비탈형 거푸집 종류 변화에 따라서는 먼저 비탈형 25-20의 경우 플레인과 마찬가지로 급격한 고온에 의해 마감재에 전체적인 박리 및 탈락현상이 발생하였고, 비탈형 50-20의 경우 역시 마감재에 부분적 폭렬이 발생하였지만 비탈형 25-20의 경우보다 마감재의 강도가 낮아 그 조직치밀성이 저하하여 폭렬에 보다 양호한 성능을 나타내었다. 단, 비탈형 50-40의 경우는 가장 우수한 성능을 나타내었는데, 이는 마감재가 40mm로 구조체 콘크리트의 급격한 온도상승을 억제하여 폭렬이 방지된

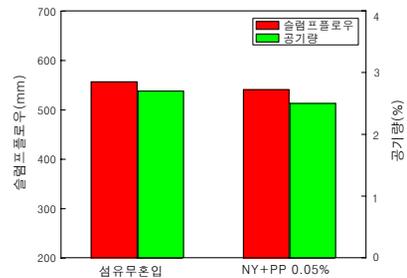


그림 1. 슬럼프 및 공기량

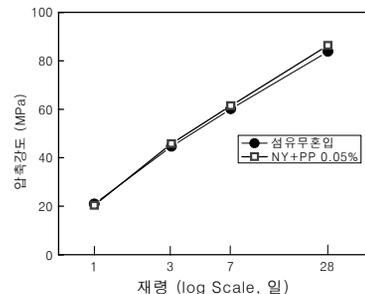


그림 2. 재령경과에 따른 압축강도



사진 1. 섬유 및 황구속제 조합에 따른 시험체의 폭발모습

것으로 판단된다. 그림 3은 폭발시험 직후의 질량감소율을 나타낸 것인데, 플레인과 비탈형 25-20의 경우 25% 이상으로 비교적 크게 나타났으나, NY+PP를 0.05% 혼입한 경우와 비탈형 50-20의 경우는 모두 15% 이하로 비교적 작게 나타났고, 특히 비탈형 50-40은 질량감소율이 10% 이하로 가장 양호한 결과를 나타내었다. 그림 4는 비탈형 50-40의 주근부와 표면부의 온도이력 곡선으로 나타낸 것인데, 주근부와 모재표면부의 최고온도가 각각 202.2℃, 376.1℃로 마감재에 의한 급격한 온도상승억제 효과로 우수한 내화 성능을 나타내었다.

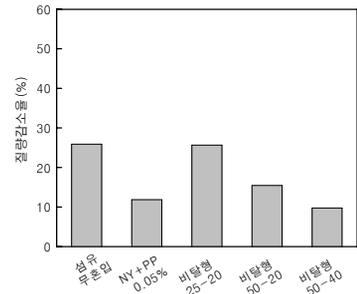


그림 3. 질량감소율

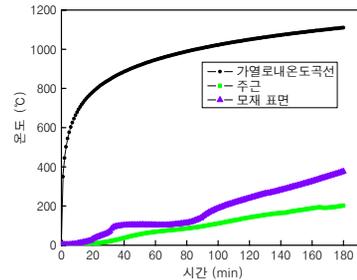


그림 4. 비탈형 50-40 시험체 온도이력곡선

#### 4. 결론

본 연구에서는 메탈라스 황구속을 병행한 비탈형거푸집의 사용에 따른 고강도 콘크리트의 내화특성을 분석한 것으로, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 굳지않은 콘크리트의 특성으로 섬유를 무혼입한 플레인 및 NY+PP섬유를 0.05% 혼입한 것은 큰 차이 없이 모두 목표범위를 만족하였다.

(2) 내화특성으로 섬유를 무혼입한 플레인은 심한 폭발이 발생하였지만, NY+PP섬유를 0.05% 혼입한 경우는 표면부에만 부분적인 폭발이 발생하였다. 비탈형 거푸집 변화에 따라서는 비탈형 25-20, 비탈형 50-20의 경우 모두 마감재부분에 전체적 또는 부분적인 폭발이 발생하였으나, 비탈형 50-40의 경우는 폭발이 방지되었는데, 질량감소율은 10% 이하로 나타났고 모재표면부 최고온도는 376.1℃로 마감재에 의한 급격한 온도 상승 억제 효과로 우수한 성능을 나타내었다.

#### 감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 '콘크리트 코리아 연구단'에서 주관하여 시행한 2006년도 건설핵심기술연구개발사업 「05-CCT-D11, 고성능·다기능 콘크리트의 개발 및 활용기술」 지원으로 수행되었으며, 이에 감사한다.