

# 고성능 콘크리트의 폭렬방지 공법 시공사례

## A Case Study on the Field Consturction of Spalling Resistance Method of High Performance Concrete

김 경 민<sup>\*</sup> 허 영 선<sup>\*\*</sup> 이 재 삼<sup>\*\*\*</sup> 지 석 원<sup>\*\*\*\*</sup> 이 성 연<sup>\*\*\*\*\*</sup> 한 천 구<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
Kim, Kyoung Min Heo, Young Sun Lee, Jae Sam Jee, Suk Won Lee, Seong Yeun Han, Cheon Goo

### ABSTRACT

This paper is the fundamental study for manufacture of spalling resistance concrete and also analyses the mechanism and spalling resistance method with materials, mixture proportion and lateral confinement. The present work with the basic experiment achieved successful method for spalling resistance using both proper amounts of fiber contents and lateral confinement using metal lath. Moreover, the developed spalling resistance method was applied for full sized column construction in the Doosan We've Poseidon I field, located in Busan city. Authors investigated the physical properties examining workability, placeability and pumpability. These studies are continuously processing to develop new technology expecting remarkable impact on the spalling resistance and fire resistance performance of high-rise building construction in the future.

### 1. 서 론

종래의 콘크리트 구조물 대부분은 일반강도의 보통 콘크리트로서 화재시 폭렬에 대한 심각한 우려가 발생하지 않아 이에 대한 검토가 거의 이루어지지 않았다. 그러나 현재 건축 구조물은 고층화·대형화와 함께 장수명화를 피하면서 콘크리트도 이에 부응하여 고강도화 및 고성능화(HPC)가 국내외적으로 꾸준히 진행되고 있는데, 최근에는 ECC(Engineered cementitious composite), RPC(Reactive powder concrete), CRC(Compact reinforced composite), SIFCON(Slurry infiltrated fiber concrete) 등 양생조건에 따라 초고강도를 발휘하는 콘크리트 개발에까지 연구가 추진 중에 있다. 이러한 시대적 흐름과 함께 국내외 여러 학자들은 고강도 콘크리트의 사용에 따른 화재시 발생하는 폭렬에 대한 검토가 신중히 제기되고 있어, 현대개념의 고유동, 고강도 및 고내구성을 동시에 갖는 고성능 콘크리트에서는 반드시 내화구조상 해결해야만 하는 중요한 문제점으로 대두되고 있다.

그러므로, 본 연구에서는 화재시 고성능 콘크리트의 폭렬방지 및 내화성능 향상에 관한 연구의 일환으로 각종 유기질 섬유와 황구속 조건 및 마감재변화 등을 변화시켜 실험실 조건 및 철근콘크리트 기둥부재를 산정한 모의 구조체 실험에 대한 검토를 실시하여 건설교통부 신기술 제 454호를 취득하였으며, 또한, 이러한 기술을 바탕으

\* 정회원, 두산산업개발(주) RC연구개발팀 전임연구원

\*\* 정회원, 청주대학교 대학원 석사과정

\*\*\* 정회원, 두산산업개발(주) RC연구개발팀 팀장

\*\*\*\* 정회원, 두산산업개발(주) 기술연구소 팀장

\*\*\*\*\* 정회원, 두산산업개발(주) 기술연구소 상무

\*\*\*\*\* 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수

로 실제 시공중인 현장에 적용하였는데, 본고에서는 이렇게 연구된 고성능 콘크리트의 화재시 폭발성상 및 내화 성능 향상에 대해 종합 검토한 사항에 관한 내용을 간략히 소개하고자 한다.

## 2. 연구진행 사항

표 1은 1998년 이후 화재시 고성능 콘크리트의 폭발방지 및 내화성능 향상 기술을 개발하기 위해 실험실 실험, 모의부재 비가력 실험, 모의부재 가력 실험 및 현장 실구조체 적용 실험 등 일련의 연구 진행 사항을 나타낸 것이다.

본 연구진은 이와같은 연구를 통하여 고성능 콘크리트의 폭발발생의 메카니즘 및 원인을 분석하고 이를 해결하기 위한 방안으로 적정량의 유기질 섬유 혼입을 통한 내부 수증기압력 저감, 횡구속재 보강에 의한 화재시 구조체의 횡변위 저항 및 잔존 내력 향상 등을 도출 하였는데 그 내용은 3, 4, 5와 같다.

표 1. 연구 진행사항

구분	실험요인			경화 콘크리트의 실험사항	
	W/B (%)	혼화재 (%)	폭발방지 공법 변수	실험체 사이즈 (mm)	항목
실험실 실험	30	20	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 골재 종류 변화</li> <li>· 혼화재 변수 변화</li> <li>· 물시멘트비 변화</li> <li>· 횡구속재 종류 변화</li> <li>· PP섬유 혼입률 변화</li> <li>· 횡구속 및 PP섬유 복합</li> </ul>	ø100×200	가열시험(1시간), 압축강도(3,7,28일), 잔존압축강도, 중량감소율
모의부재	비가력 실험	34	15	300×300×600	가열시험(3시간)온도이력, 압축강도(3,7,28일) 잔존압축강도, 중성화시험, 폭발깊이, 폭발면적, 중량감소율
	가력 실험				
실구조체 적용실험	34	15	· PP섬유 혼입 + 메탈라스 2.3T	-	-

## 3. 실험실 실험의 폭발 특성

사진 1은 원주형 공시체의 횡구속재 변화에 따른 1시간 내화시험 후 폭발 모습을 나타낸 것이다.

메탈라스의 경우 내부 수증기압에 의한 폭발 에너지보다 메탈라스의 횡구속력이 크기 때문에 양호한 폭발 방지성능을 보였으나, 유리섬유 및 탄소섬유의 경우는 고온에 의한 콘크리트와의 부착력 저하로 콘크리트의 횡구속 변위 저항을 견디지 못하고 폭발에 의해 섬유가 찢겨져 폭발방지에

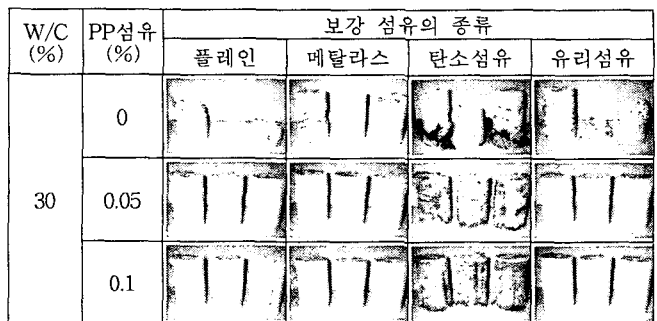


사진 1. 원주형 공시체의 내화시험 후 폭발 형상

큰 효과가 없는 것으로 나타났다. 그러나 Polypropylene 섬유(이하 PP섬유)의 혼입을 병용한 경우는 대부분 폭렬을 일으키지 않아 폭렬방지 성능이 양호함을 확인할 수 있었다.

또한, 지면 관계상 데이터를 수록하지는 않았지만 골재 종류에 따른 폭렬 특성으로는 내화골재로 알려진 현무암이 가장 우수하게 나타났고 비내화골재로 알려진 석회암, 화강암 순으로 나타났다. 혼화재 치환에 따른 폭렬 특성으로는 내열성이 큰 고로슬래그로 치환한 경우 폭렬방지 성능이 우수하였고, 다음으로 플라이애쉬, 실리카흙 순이었다. 배하변수로는 W/C가 작아 고강도로 될수록 크게 나타났는데, 일반강도 영역에도 폭렬이 어느 정도 발생하고 있음을 알 수 있었다.

#### 4. 모의부재 실험의 폭렬 특성

사진 2는 모의부재 시험체에 대하여 3시간 비가력 내화시험을 실시하고 난 후의 폭렬모습을 나타낸 것이고, 사진 3은 설계 최대하중의 50%를 재하한 상태에서 동일 시간 내화시험을 실시한 후의 폭렬 성상을 나타낸 것이다.

먼저, 비가력 내화시험 후 모의부재의 폭렬특성으로 (a)플레인은 심한 파괴폭렬을 나타내었고, (b)내화도료를 피복한 경우는 국부적으로 폭렬이 발생하였으나, 전반적으로는 건전한 면이 존재하는 것으로 나타났으며, (c)내화뿔칠로 피복한 부재의 경우는 플레인보다 오히려 심한 파괴폭렬을 나타냈다.

한편, (d)내화 PC판을 부착한 모의 부재는 계속적인 고온에 의해 고정 철물의 기능이 상실되어 플레인보다 더욱 심한 파괴폭렬과 함께 철근이 노출되었다. 또한, 섬유 종류별 혼입률 변화에 따른 폭렬특성으로 (e)PP 섬유 및 (g)Polyvinyl alcohol fiber(이하 PVA섬유)를 혼입한 경우는 내부 수증기압을 효과적으로 배출하여 폭렬이 방지됨을 확인할 수 있었으나, (f)Cellulose fiber(이하 CL섬유)를 혼입한 모의부재의 경우는 모서리에서 일부 표면이 탈락하는 것으로 나타났다.

또한, (h)PP섬유혼입과 메탈라스 황구속을 병용한 모의부재인 경우는 모든 부재에서 폭렬발생이 나타나지 않았는데 이는 PP섬유에 의한 내부 수증기압력 감소와 메탈라스 황구속을 통하여 내부에서 작용하는 황변위에 대한 저항력이 동시에 생겨 시너지효과를 발생시킴으로써 보다 효과적으로 부재의 폭렬발생을 방지한 것으로 분석된다.

가력 내화시험 후 모의부재의 폭렬 특성으로는 (a) 플레인의 경우 심한 파괴 폭렬로 철근이 노출된 후 고온을 받은 철근의 구조내력이 저하하여 가열시간 2시간 경과 후 폭렬이 발생한 후 고온에 의해 주근이 좌굴되어 붕괴되었으나, (b)PP섬유 혼입 및 메탈라스 황구속을 병용한 RC기둥은 효과적으로 폭렬이 방지되어 기둥부재의 형상을 그대로 유지하며, 재하가열시험 3시간을 만족하는 것으로 나타났다.

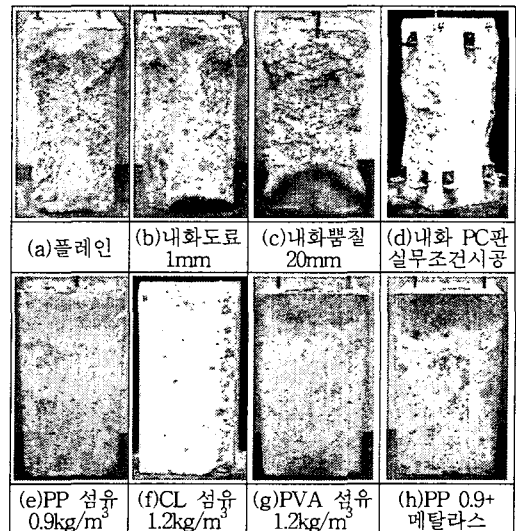


사진 2. 모의부재 비가력 내화시험 후 폭렬성상

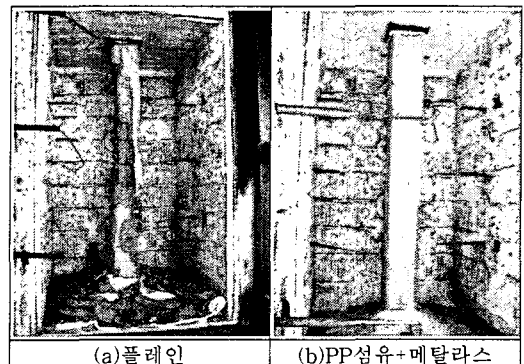


사진 3. 모의부재 가력 내화시험 후 폭렬성상

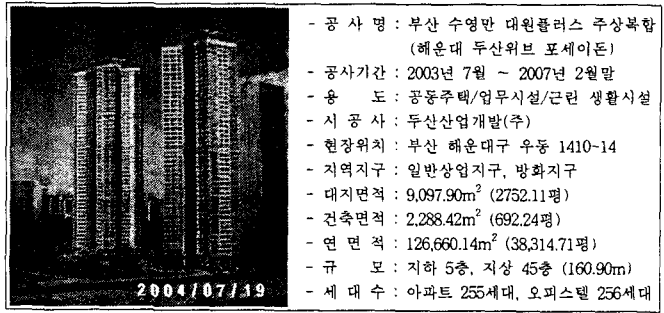
## 5. 현장 적용 사례

사진 4는 두산산업개발(주)에서 시공 중인 부산 해운대 두산 위브 포세이돈 I 현장의 공사개요 및 조감도를 나타낸 것이다.

타설되는 콘크리트는 호칭강도 40 MPa를 만족하는 고강도 콘크리트로서, 목표 슬럼프플로우 600±100mm, 목표공기량 4.5±1.5%인 플레인 콘크리트에 대하여 PP섬유를 0.1%를 혼입하고, 메탈라스 2.3T를 사용하여 횡구속하는 것으로 하였다.

현장에 적용한 메탈라스는 KS D 3601에 규정되어있는 규격품으로서 단목 22mm, 장목 50mm, 두께 2.3mm 제품으로, Shop Drawing을 실시한 후 사진 5와 같이 공장 가공하여 현장에 반입한 다음, 기동철근 배근 후 현장에서 조립하였고, PP 섬유는 레미콘 공장의 배척플랜트에서 투입 혼합하였는데, 투입시 비닐 봉투에 밀봉되어 있는 상태이었으므로 취급에 어려움은 없었다.

또한, 콘크리트 타설시 PP섬유가 혼입된 콘크리트의 펌프 압송에는 별다른 문제가 없었으며 메탈라스 횡구속된 기동 타설에도 재료분리 및 섬유의 엉킴현상(fiber ball) 등 악영향은 나타나지 않았다. 최종적으로 선행연구에서 얻어진 결과를 토대로, 본 현장에 적용한 고성능 콘크리트의 폭발방지 및 내화성능 향상공법은 화재시 구조체 콘크리트의 안전성면에서 크게 향상된 것으로 분석된다.



- 공사명 : 부산 수영만 대원플러스 주상복합 (해운대 두산위브 포세이돈)
- 공사기간 : 2003년 7월 ~ 2007년 2월말
- 용도 : 공동주택/업무시설/근린 생활시설
- 시공사 : 두산산업개발(주)
- 현장위치 : 부산 해운대구 우동 1410-14
- 지역지구 : 일반상업지구, 방화지구
- 대지면적 : 9,097.90m<sup>2</sup> (2752.11평)
- 건축면적 : 2,288.42m<sup>2</sup> (692.24평)
- 연면적 : 126,660.14m<sup>2</sup> (38,314.71평)
- 규모 : 지하 5층, 지상 45층 (160.90m)
- 세대수 : 아파트 255세대, 오피스텔 256세대

사진 4. 현장 조감도 및 공사개요

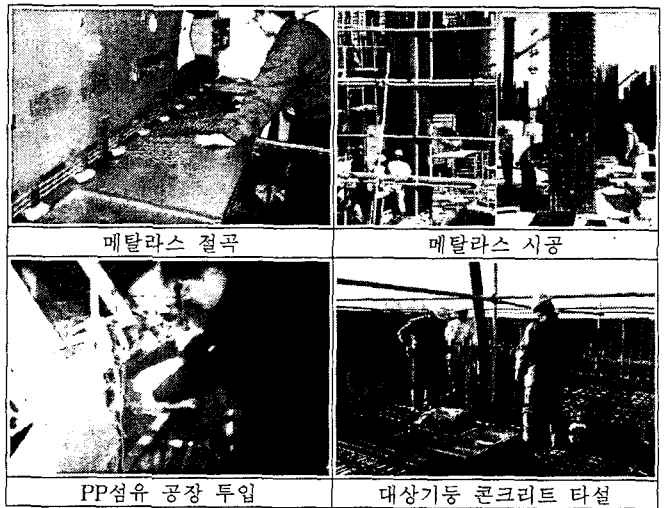


사진 5. 현장시공 모습

## 6. 결론

본고에서는 화재시 고성능 콘크리트의 폭발방지 및 내화성능 향상을 위한 방안으로써 실험실 실험부터 현장 적용사례에 이르는 일련의 내용을 정리한 것으로 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 메탈라스로 횡구속한 경우 두께가 두꺼울수록 폭발방지 성능이 우수했으며, 기타 유리섬유 및 탄소섬유는 효과가 없는 것으로 나타났다.
- 2) PP섬유 0.1%이상 혼입한 경우 폭발방지 성능이 우수했으며, 메탈라스 횡구속을 병행한 경우 폭발방지 뿐만 아니라 잔존내력도 크게 향상되었다.
- 3) 마감재를 이용한 경우 폭발방지에 효과가 있는 것으로 나타났으나 일부 플레인보다 심한 파괴폭렬을 나타내어 사용에 신중한 고려가 필요할 것으로 분석된다.
- 4) 현장 적용결과 고성능콘크리트의 시공성, 충전성, 메탈라스 통과성 등은 양호한 결과를 나타냈으며, 향후 화재시 폭발방지 및 내화성능 향상에도 크게 기여할 것으로 분석된다.