

고성능 콘크리트의 폭렬방지 및 내화성능 향상을 고려한 현장시공사례

Spalling Resistance of High Performance Concrete and Field Execution Considering Fire Resistance



김경민*
Kyoung-Min Kim



이보형**
Bo-Hyung Lee



이재삼***
Jae-Sam Lee



지석원****
Suk-Won Jee



이성연*****
Seong-Yeun Lee



한천구*****
Cheon-Goo Han

1. 서 언

건축구조물은 화재시 인명안전, 재산보호의 관점에서 일정 시간동안 내화성능을 확보할 필요가 있으며, 우리나라 건축법에서도 공공시설물 및 공동주택 등의 주요 구조부를 내화구조로 시공하도록 규정하고 있다. 특히 최근과 같이 건축물이 고층화 할수록 화재시 안전대책의 마련은 더욱 중요하다.^{1,2)}

인류가 개발한 많은 재료 중 콘크리트는 비강도(강도/비중), 경제성 지수(강도/단가) 등이 우수하고, 특히 내화성이 우수함에 따라 널리 사용되어지고 있는 건설재료이다. 그러나 최근에는 일반강도와 달리 고강도 등 고성능 콘크리트의 활용이 증가됨에 따라 조직 치밀화에 따른 화재시 폭렬발생 및 내화성능 저하가 문제시되고 있지만, 이에 대한 뚜렷한 내화대책은 아직 미비한 실정이다^{3,4)}. 현재 국내의 방안으로는 콘크리트의 폭렬방지 및 내화성능 향상을 목적으로 폴리프로필렌 섬유(이하 PP섬유)와 메탈라스 황구속에 의한 내화성능 향상에 대한 연구가 진행되어오고 있으나, 실구조체를 대상으로 장시간 가열에 의한 검토는 미흡한 실정이다.⁵⁾

본고에서는 고성능 RC기둥 실구조체를 재하조건에서의 3시간 내화시험을 실시한 후 폭렬성상 및 내화성능을 검토하여 실구조체에 적용한 내용을 소개하여, 화재시 고성능 콘크리트의 폭렬방지 및 내화성능 향상 방안의 참고자료로 제시하고자 한다.

2. 폭렬방지 및 내화성능 향상에 대한 연구진행 사항

- * 정회원, 두산산업개발(주) RC연구개발팀 전임연구원
km-kim@doosan.com
- ** 정회원, 두산산업개발(주) 기술연구소 과장
- *** 정회원, 두산산업개발(주) RC연구개발팀 팀장
- **** 정회원, 두산산업개발(주) 기술연구소 팀장
- ***** 정회원, 두산산업개발(주) 기술연구소 상무
- ***** 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수

현재 국내에서는 폭렬방지 및 내화성능 향상에 대한 특별한 대책이 없는 것이 현실이다. 단, 내화구조의 선진국인 일본에서는 PP섬유를 혼입하여 콘크리트의 폭렬을 방지하고 있는데, 국내의 경우에는 청주대학교 및 두산산업개발(주)에서 향후 고성능 콘크리트의 내화대책에 대한 대안으로써 PP섬유를 혼입하여 폭렬을 방지하고, 메탈라스로 황구속하여 잔존내력을 향상시키는 공법을 <표 1>과 같이 진행해 오고 있다.

3. 현장적용을 위한 Mock-up Test

본 실험에서는 현재 실무에서 적용되고 있는 고성능 RC기둥인 플레인과 가력시험 실험에서 내화성능이 입증된 PP섬유 혼입, PP섬유와 메탈라스의 황구속의 병용 및 마감재로 내화PC 판을 부착한 실제 기둥부재를 대상으로 3시간 재하 가열시험을 실시하여 실제 구조체 조건에서의 화재시 고성능 콘크리트 구조물의 폭렬 및 내화성능을 검토하였다.

내화시험은 한국건설기술연구원 방내화 시험동의 기둥 가열로 내에 수직으로 배치하여 놓고, 최대 설계 축하중의 50%인

표 1. 연구 진행사항

연월	연구내용
1999. 12	PP섬유를 이용한 고성능 모르타르의 폭렬방지 특성 PP섬유를 이용한 고성능 콘크리트의 폭렬방지 특성 - 물-시멘트비 변화
2000. 10	- PP섬유 혼입률 변화 - 골재 변화 - 혼화제 치환율 변화
2001. 1	PP섬유를 이용한 RC기둥부재의 폭렬방지 특성
2002. 5	PP섬유 및 황구속 변화에 따른 내화성능 향상 방안
2003. 5	PP섬유 및 황구속에 보강에 의한 폭렬방지 및 내화성능 향상 방안
2004. 8	PP섬유 및 메탈라스를 이용한 고성능 콘크리트의 비가력 Mock-up 실험
2004. 9	PP섬유 및 메탈라스를 이용한 고성능 콘크리트의 가력 Mock-up 실험
2004.10	현장 적용

93.5 tf를 재하한 후 같이 KS F 2257-1에서 규정하는 표준 가열곡선으로 3시간 가열을 실시한 후 RC기둥 부재의 폭발성을 관찰하였다. 이때, RC기둥부재의 중심부 및 표면에 K타

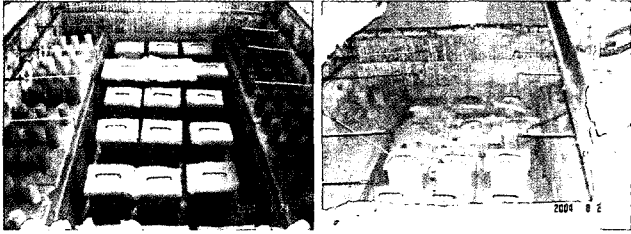
입 열전대를 매설한 후 데이터로거를 이용하여 내부 온도이력을 측정하였다.

3.1 RC기둥의 폭발성상

〈사진 3〉은 마감이 없는 플레인과 내화 PC판으로 마감한 실제 기둥부재, PP섬유를 0.1% 혼입한 실기둥부재 및 PP섬유 0.1% 혼입과 메탈라스 황구속을 병용한 실제 기둥부재를 대상으로 재하가열시험을 실시한 후의 폭발모습을 나타낸 것이다.

먼저, 플레인은 심한 파괴폭렬로 철근이 노출되었고 이후 철근이 고온을 받음으로써 구조내력이 저하하여 재하가열시험 2시간 만에 〈사진 4〉와 같이 주근이 좌굴되어 붕괴되었으며, 내화 PC판은 플레인과 유사한 경향으로 파괴폭렬이 발생하였으나, 재하가열시험 1시간 40분으로 플레인보다 오히려 빠른 시간에 붕괴되었다. 이는 내화 PC판이 재하가열시험 초기 내화 PC판에 의해 고온이 차단되었으나, 계속적인 고온에 의해 고정철물이 기능을 상실하여 내화 PC판이 탈락함으로써 갑작스런 고온이 콘크리트 표면에 접하면서 더욱 심한 파괴폭렬과 함께 철근이 노출되어 플레인보다 다소 빠른 시간에 붕괴된 것으로 사료된다.

한편, PP섬유를 0.1% 혼입한 RC기둥과 메탈라스 황구속을 병용한 경우는 효과적으로 폭렬이 방지되어 기둥부재의 형



a. 가열전
b. 가열 후
사진 1. 고성능 콘크리트의 비가력 Mock-up 실험 모습

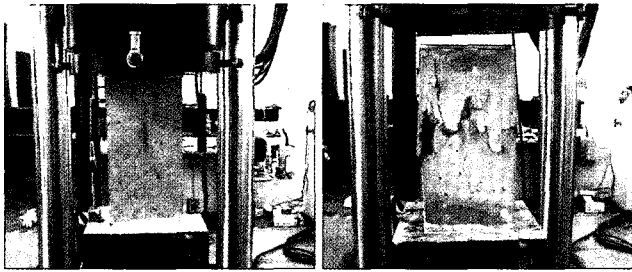
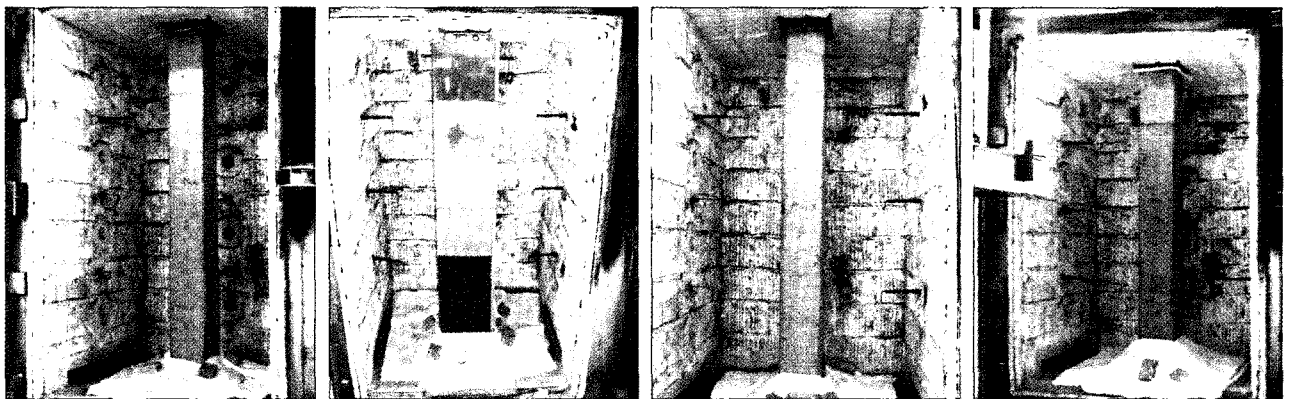


사진 2. 고성능 콘크리트의 비가력 Mock-up 실험 모습 (모의부재 압축강도 측정 모습)



a. 플레인
b. 내화 PC판
c. PP섬유
d. PP섬유 + 메탈라스
사진 3. 가력 Mock-up 내화시험 전·후 모습

상을 그대로 유지하고, 재하가열 3시간의 내화성능을 만족하는 것으로 나타났다.

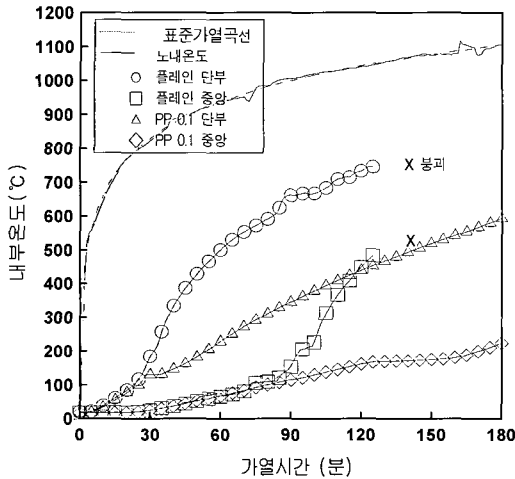


그림 1. 플레인 및 PP섬유를 0.1% 혼입 RC기둥부재의 재하가열시 내부온도이력



사진 4. 내화시험 후 기둥 주근의 좌굴 모습

3.2 RC기둥의 내부 온도이력

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

먼저, 기둥 가열로 내부온도는 표준가열곡선을 만족하는 온도이력으로 나타났고, 마감이 없는 콘크리트기둥의 온도이력은 피복두께 40mm의 락철근 위치에 매설한 단부의 경우 가열시간 30분 이후, 중앙부분은 90분 이후부터 온도가 급격히 상승하였는데, 이는 폭발에 의해 피복 콘크리트가 탈락한 것에 기인하여 단부 및 중앙부의 온도가 급격히 상승한 것으로 판단된다. 또한, 플레인은 지속적인 폭발발생으로 〈그림 1〉과 같이 철근이 노출되어 가열시간 60분 이후부터 강재의 허용온도인 500°C를 초과하였고, 이후 지속적인 온도상승으로 구조내력이 상실되어 120분만에 플레인 기둥부재가 붕괴되었다. 한편, PP섬유를 0.1% 혼입한 RC기둥은 PP섬유에 의한 폭발방지 효과로 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°C, 중앙부 최고온도는 220°C로 나타났다.

4. 현장적용 사례

실구조체 적용현장은 두산산업개발(주)에서 시공 중인 부산 해운대 두산위브 포세이돈 I 현장으로써, 공사개요 및 조감도는 아래 〈사진 5〉와 같다. 적용 기둥은 여러 기둥 중 외부에 노출되어 있지 않고, SRC 구조를 제외한 중요 기둥 AC 12, AC 22, AC 36 및 AC 37 등 4개의 부재를 선정하여, 1층부

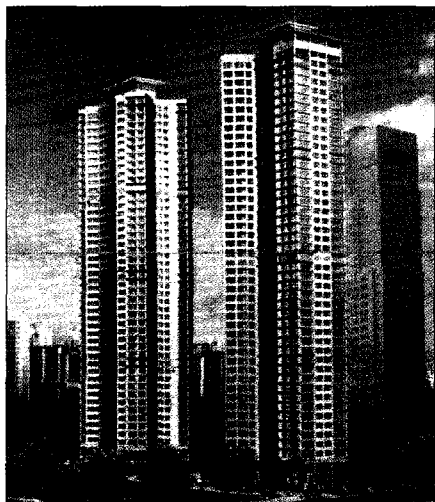


사진 5. 현장 조감도 및 공사개요

- 공 사 명 : 부산 수영만 대원플러스 주상복합 (해운대 두산위브 포세이돈)
- 공사기간 : 2003년 7월 ~ 2007년 2월말
- 용 도 : 공동주택/업무시설/근린 생활시설
- 시 공 사 : 두산산업개발(주)
- 현장위치 : 부산 해운대구 우동 1410-14
- 지역지구 : 일반상업지구, 방화지구
- 대지면적 : 9,097.90 m² (2752.11평)
- 건축면적 : 2,288.42 m² (692.24평)
- 연 면 적 : 126,660.14 m² (38,314.71평)
- 규 모 : 지하 5층, 지상 45층 (160.90m)
- 세 대 수 : 아파트 255세대, 오피스텔 256세대

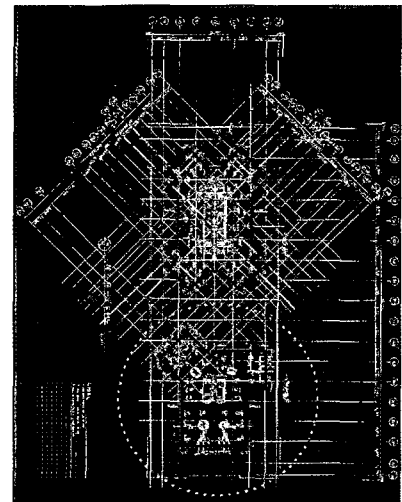


그림 2. 대상현장 도면 및 대상기둥 위치

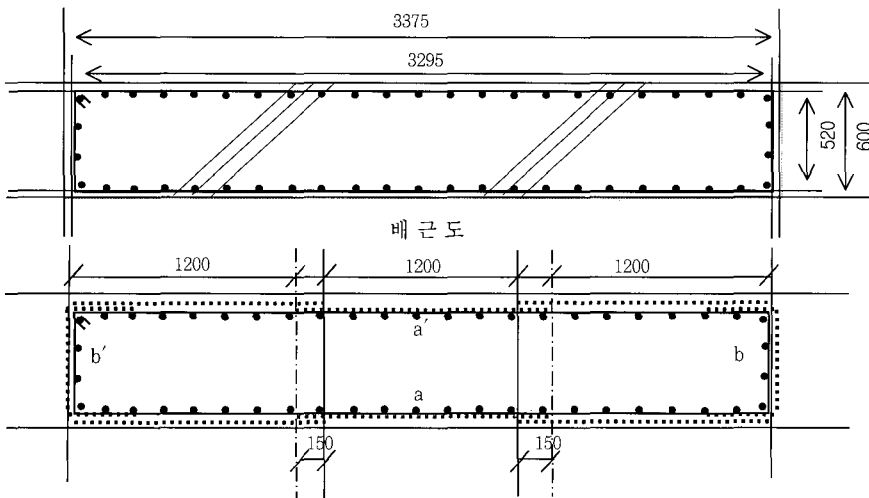


그림 3. 메탈라스 횡구속 Shop Drawing 일예 (AC12(600×3375mm, 56-D32, D13@100))

터 15층까지 적용하는 것으로 하였다.
 이때, 타설되는 콘크리트는 호칭강도 40 MPa를 만족하는 고강도 콘크리트로 써, 목표 슬럼프 플로우 600±100 mm, 목표공기량 4.5±1.5%를 만족하는 플레인 콘크리트에 대하여 PP섬유를 0.1%를 혼입하고, 메탈라스 2.3T를 사용하여 횡구속 하는 것으로 하였다.

4.1 메탈라스 횡구속 현장 시공

현장에 적용한 메탈라스는 KS D 3601에 규정되어있는 규격품으로서 단목 22mm, 장목 50mm, 두께 2.3mm 제품이다. 먼저, <그림 3>과 같이 Shop drawing을 실시한 후 <사진 6>과 같이 공장 가공하여 현장에 반입한 다음, 기둥 철근 배근 후 <사진 7>과 같이 현장에서 조립 시공한다. 메탈라스 시공은 한번에 기둥에 부착하지 않고, 두 번으로 나누어 결속하는데, 4×8(1,200×2,400mm) 크기로, 현장에서 기둥에 메탈라스를 부착할 때에는 메탈라스를 세로로 세워서 높이 2,400mm에 옆으로 메탈라스를 미리 결속하여 'ㄷ'자 형상으로 절곡하여 철근에 결속하였다. 그 후 아래 부분에 거꾸집을 대고, 그 거꾸집을 밟고 올라서서 다시 'ㄷ'자로 절곡된 메탈라스를 돌려서 시공하였다.

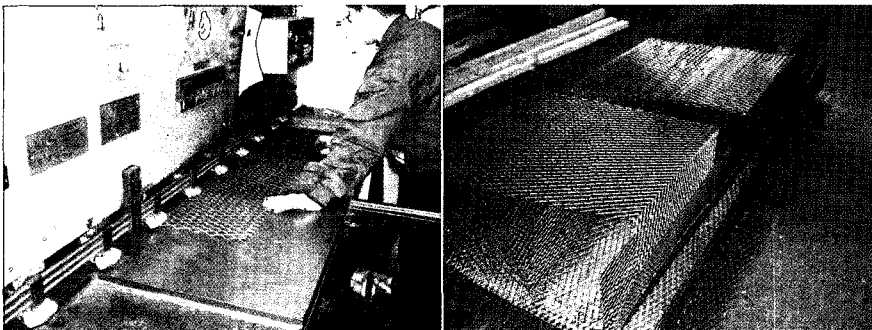


사진 6. 메탈라스 절곡 모습



사진 7. 메탈라스 시공 모습

사진 8. PP섬유 공장 투입

4.2 PP섬유 혼입 및 타설

먼저 PP 섬유는 레미콘 공장의 배척플랜트 상에서 투입되어 혼합하여야 하며 레미콘 트럭에서의 투입은 곤란하다. PP 섬유는 비닐봉투에 밀봉되어있는 상태로 취급되기 때문에 <사진 8>과 같이 투입시 특별한 어려움은 없다.

아래 <사진 9>는 PP섬유 혼입 콘크리트 펌핑 모습이며, <사진 10>은 다짐 모습, <사진 11>은 콘크리트 타설 모습이다. PP섬유가 혼입된 콘크리트의 펌프 압송성에는 문제가 없었으며, 메탈라스로



사진 9. PP섬유 혼입 콘크리트 펌핑 모습

사진 10. 대상기둥 콘크리트 다짐 모습

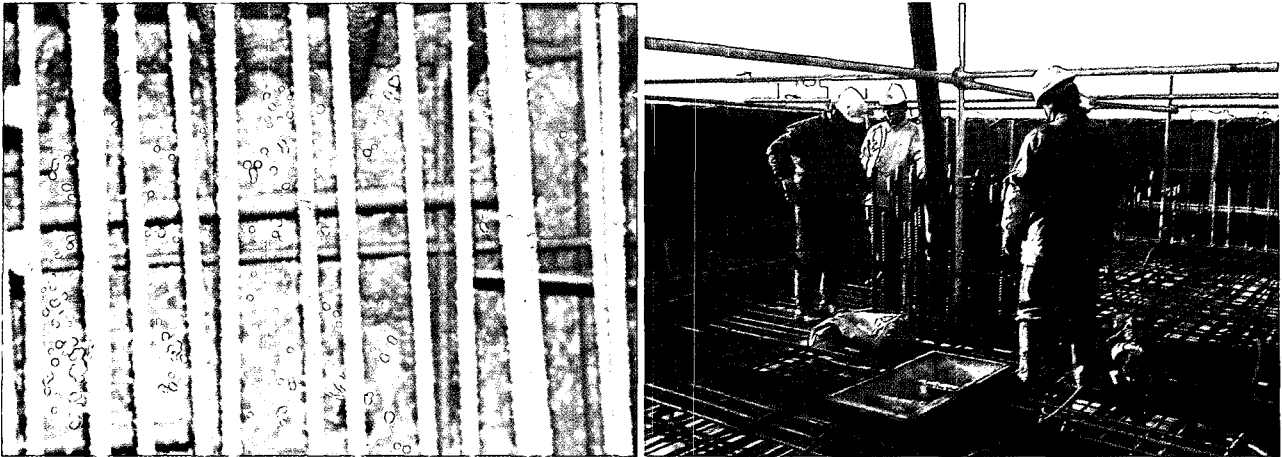


사진 11. 대상기둥 콘크리트 타설 모습

횡구속된 기둥 타설에도 재료분리, 파이버볼(fiber ball) 등 악 영향을 미치지 않았다.

5. 맺음말

본고에서는 향후 초고층 건축물에 주로 사용되어질 고성능 콘크리트의 화재시 폭발방지 및 내화성능 향상에 대한 대처방안의 하나로써 Mock-up 및 현장적용을 중심으로 소개하였다.

선진국인 일본의 경우에는 PP섬유만으로도 폭발을 방지하고 있으나, 이는 콘크리트의 주재료인 골재가 불에 강한 안산암인 경우로, 국내의 불에 약한 화강암이 주재료인 경우에는 폭발방지 뿐만 아니라 잔존내력을 향상시켜야 한다는 결론을 얻게 되었다. 따라서 본 방법과 같은 메탈라스로 부재를 횡구속하여야만 잔존내력 향상에 의한 내화성능을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

현재까지의 연구결과를 토대로 기술개발을 지속시켜 향후 고성능 콘크리트의 내화성능 향상을 위한 효과적인 방법으로 활

용되길 기대해 본다. □

참고문헌

1. 한천구, 양성환, 이병열, 황인성, "골재종류 및 폴리프로필렌 섬유 혼입률 변화에 따른 고성능 콘크리트의 폭발특성에 관한 연구", 콘크리트학회논문집, 통권53호 제11권 5호, 1999, pp.69~78.
2. 한천구, 양성환, 이병열, 황인성, "혼화제 종류 및 폴리프로필렌 섬유의 혼입률 변화에 따른 고성능 콘크리트의 폭발 특성", 구조물진단학회지, 통권11호 제4권 제1호, 2000, pp.85~92.
3. 한천구, 양성환, 이병열, 황인성, "W/C 및 폴리프로필렌 섬유의 혼입률 변화에 따른 콘크리트의 고온시 손상", 대한건축학회 구조계 논문집, 제16권 10호, 2000. 10, pp.81~88.
4. 오창희, 강병희, "고온수열 콘크리트의 성상에 관한 실험적 연구 (I)", 대한건축학회논문집, 제3권 제6호, 1987, pp.163~171.
5. 강병희, 오창희, "고온수열 콘크리트의 성상에 관한 실험적 연구 (II)", 대한건축학회논문집, 제5권 제4호, 1989, pp.285~292.