

고성능 콘크리트의 폭렬방지 공법 현장적용 사례

Field Application of Spalling Prevention Method of High Performance Concrete

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

Abstract

This paper is about manufacture of spalling resistance concrete and also investigates the spalling mechanism and spalling resistance method with diverse 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. The author 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.

키 워 드 : 고성능 콘크리트, 폭렬방지,

Keywords : High Performance Concrete, Spalling Resistance

1. 서 론

건축물에 있어서 화재의 발생은 인명손실, 재산피해 및 시설물의 훼손 등 사회적으로 심각한 영향을 미치는데, 이러한 피해를 최소화하기 위해서는 국가적인 차원에서 제도적으로 해결해 나가야 한다.

현행 국내의 내화관련 법적체계는 건축법 제40조, 건축법 시행령 제2조, 53조, 56조, 58조 및 건축물의 피난·방화 구조 등의 기준에 관한 규칙 제3조 등과 기타 특수 내화 공법에 의한 내화구조 인정방법으로 건설교통부에서 고시하는 제도로 구성되어 있다. 그러나 이는 사양적규정(Prescriptive regulation)으로써 국외 선진국(미국, 일본, 유럽 등)의 내화기준체계인 성능규정(Performance based regulation)과는 커다란 차이점을 나타내고 있다. 즉 국내 내화구조 기준의 경우는 건축물의 시설기준을 일일이 규정해 놓고 모든 대상 건축 구조물이 이러한 규정을 일률적으로 따르도록 정한 반면, 국외 선진국 유형인 성능규정의 경우는 각각의 건축물을 구성하고 있는 구조재, 마감재, 창문의 크기 및 위치에 따른 내화요구 성능이 설계 화재 성상보다 크게 하도록 정하고 있다. 다시 말해서, 국내 내화기준의 법적인 체계에서는 건축물 구성 재

료와 건물의 환기상태에 따라 달라질 수 있는 화재 성상을 간과하고 있는 것이다.

특히 국내 피난 및 방화구조 기준 등의 기준에 관한 규칙 제 3조에서는 콘크리트 기둥의 경우 그 작은 지름이 25cm 이상인 것을 내화구조로 규정하고 있음에 따라, 그간 콘크리트 기둥은 특별한 조건 없이 모든 경우에서 화재에 대하여 안전한 것으로 인식되어 왔으나 이는 일반콘크리트와 고성능 콘크리트의 구분없이 규정한 것으로 최근 사용량이 증대되고 있는 고성능 콘크리트의 경우는 조적이 밀실하고 치밀함에 따라 화재시 콘크리트의 폭렬을 유발시키는 주요 원인으로 보고되고 있으며 이러한 폭렬발생은 심각한 경우 건축구조물의 붕괴를 일으킬 수 있게 된다.

그러므로, 본 연구에서는 국내의 학자들에 의해 제기되고 있는 화재시 고성능 콘크리트의 폭렬문제를 해결하기 위하여 지난 1998년 이후 여러 가지 실험 변수를 통하여 고성능 콘크리트의 폭렬방지 및 내화성능 향상 공법 개발에 도전하였으며 2005년 4월 건설교통부 신기술 제 454호를 취득하였다. 본고에서는 이러한 기술을 바탕으로 부산시 두산 위브 포세이돈 I 현장에 적용한 사례를 중심으로 소개하고자 한다.

2. 현장 적용공법 소개

2.1 개요

화재시 고성능 콘크리트를 사용한 건축구조물의 붕괴를 방지하기 위하여 폴리프로필렌섬유와 메탈라스를 이용하여 철

* 두산산업개발(주) RC연구개발팀 전임연구원, 정회원

** 청주대 대학원 대학원생, 정회원

*** 두산산업개발(주) RC연구개발팀 팀장, 정회원

**** 두산산업개발(주) 기술연구소 팀장, 정회원

***** 두산산업개발(주) 기술연구소 상무, 정회원

***** 청주대학교 건축공학부 교수, 공학박사, 정회원

근콘크리트 기둥의 폭열을 방지하고 잔존 내력 등을 확보하여 내화성능을 향상시키고자 하였다.

2.2 적용 범위

고성능콘크리트를 사용한 철근콘크리트 기둥에서 메탈라스의 단목(6~30mm)과 장목(15~60mm)을 1.2~5.0mm 두께로 콘크리트 주철근 외부에 단목방향으로 절곡하여 설치한 후 직경 0.05~0.10mm와 길이 15~50mm인 폴리프로필렌섬유를 콘크리트 체적의 0.1% 이상 혼입하여 적용하였다.

2.3 내용

그림 1. 화재시 고성능 콘크리트의 폭열발생 원인과 방지 방안을 모식화 한 것이다.

폭열이란 화재시 갑작스런 고열을 받게 되면 부재표면이 심한 폭음과 함께 박리 및 탄락하는 현상으로 구조부재의 피복두께 결손과 함께 철근의 온도상승으로 철근콘크리트 구조체의 내력저하를 초래하게 된다. 그림 1과 같이 화재시 고열을 받은 콘크리트는 각각의 온도범위에서 모세관 공극속에 잉여수와 시멘트 수화물로 형성돼 있는 화학적 결합수 등이 수증기로 발생하게 되는데, 이때 일부는 외부로 방출하여 아무런 문제점을 발생시키지 않으나 내부로 이동한 수증기는 고성능 콘크리트의 경우 조직의 치밀성으로 말미암아 외부로 빠져나가지 못하고 계속해서 내부에 쌓이면서 수증기 압력을 높이게 된다. 이 영역을 준 습윤지대(Quasi saturated zone)라 일컬으며 이 영역의 압력이 콘크리트가 갖는 횡변위에 저항에 대한 인장력보다 커지게 될 때 폭열이 발생하게 되는 것이다.

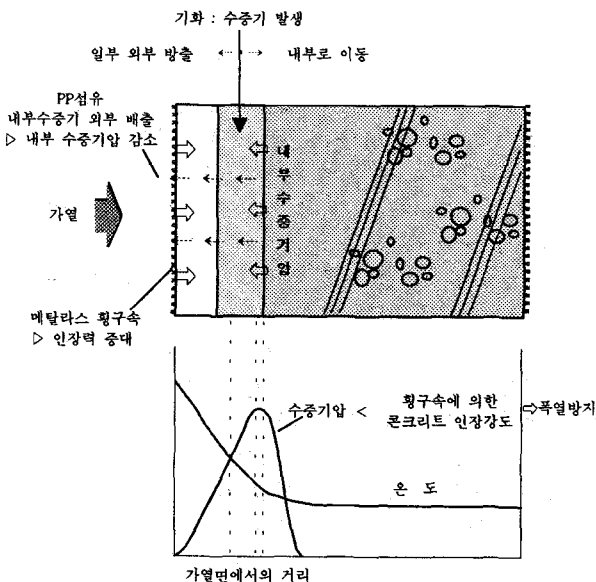


그림 1. 폭열발생 및 방지방안 모식도

따라서 본 연구에서는 폭열발생의 주원인으로 작용하는 콘크리트의 내부 수증기압을 낮추기 위하여 사진 1에서 보이는 폴리프로필렌섬유(이하 PP섬유) 0.1%를 콘크리트내부에 혼입하였다. 이는 녹는점이 낮은 유기질 섬유로써 콘크리트의 폭

열발생 가능온도에 도달하기 전에 그림 2에서 보는 바와 같이, 섬유가 녹음으로써 생긴 공극과 화재에 의해 발생한 골재와 시멘트와의 계면간의 균열이 복합적으로 네트워크를 형성하여 수증기의 원활한 배출통로를 만들게 되는 것이다. 또한 화재시 콘크리트 내부의 수증기 압력에 의한 횡변위에 저항하기 위하여 사진 2와 같은 메탈라스를 철근 바깥쪽에 횡구속 함으로써 화재시 축하중에 대한 구조체의 내력저하를 방지하고 구조물의 안전을 유지할 수 있는 성능을 갖게 된다.

이와 같이 초고층 건물 등에 사용되는 고성능 콘크리트의 폭열방지 및 내화성능향상을 목적으로 본 연구는 PP섬유 혼입과 메탈라스 횡구속을 통하여 비화재시 구조체의 제반 강도를 증가시키고, 수축균열저감 등 내구성 향상으로 우수한 품질을 확보하며, 화재시 폭열방지 효과뿐만 아니라 잔존강도 향상에 따른 내화성능을 향상시켜 향후 초고층 건축물의 내화설계에 중요한 01048808108참고자료로 제시하고자 한다.

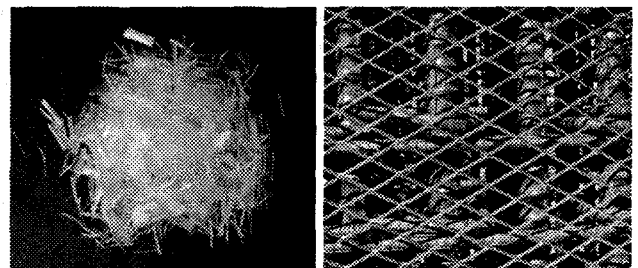


사진 1. PP섬유

사진 2. 메탈라스

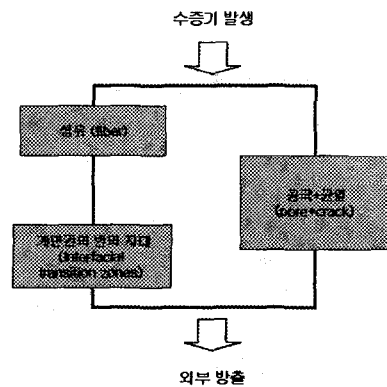


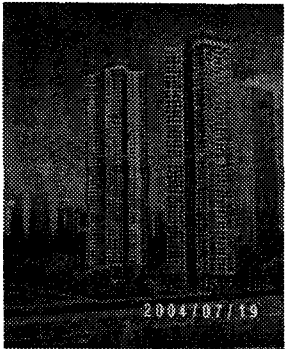
그림 2. 섬유의 혼입을 통한 조직 내의 네트워크 형성

3. 현장적용 사례

3.1 현장 개요

본 신기술을 적용한 현장은 두산산업개발(주)에서 시공 중인 부산 해운대 두산위브 포세이돈 I 현장으로 공사개요 및 조감도는 사진 3과 같다. 즉, 대지면적 9,097.90m², 건축면적 2,288.42m²으로 지하 5층, 지상 45층 규모의 건물로써 적용부재는 그림 3에서와 같이 외부에 노출되지 않고 SRC 구조를 제외한 4개의 주요 기둥인 AC12, AC22, AC36 및 AC37의 4개를 선정하여 1층부터 15층까지 적용하는 것으로 하였다. 이때, 적용부재의 콘크리트는 고강도 범위의 호칭강도 40MPa

로써 목표 슬럼프플로우 $600 \pm 100\text{mm}$, 목표공기량 $4.5 \pm 1.5\%$ 를 만족하도록 하였다.



- 공사명 : 부산 수영면 대원플러스 주상복합 (해운대 두산위브 포세아돈)
- 공사기간 : 2003. 7~2007. 2. (44month)
- 용도 : 공동주택/업무시설/근린생활시설
- 시공사 : 두산산업개발(주)
- 대지면적 : 9,097.90㎡ (2,752.11 py)
- 건축면적 : 2,288.42㎡ (692.24py)
- 연면적 : 126,880.14㎡ (38,314.71py)
- 규모 : 지하 5층, 지상 45층
- 세대수 : 아파트 255세대, 오피스텔 256세대

사진 3. RC 기둥의 압축강도 시험

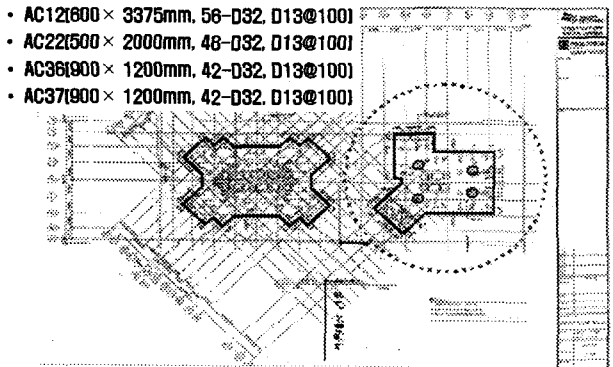


그림 3. RC 기둥의 압축강도 시험

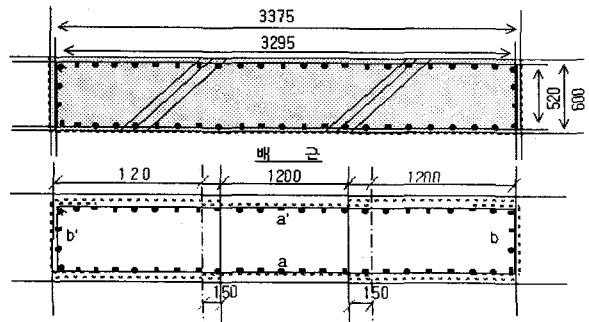


그림 4. 메탈라스 횡구속 shop drawing(AC 12)

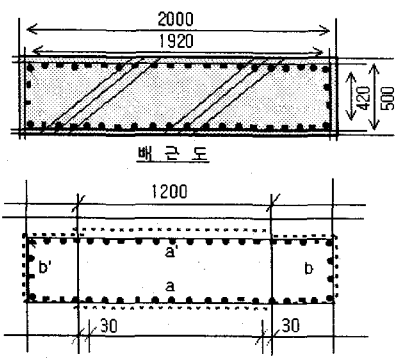


그림 5. 메탈라스 횡구속 shop drawing(AC 22)

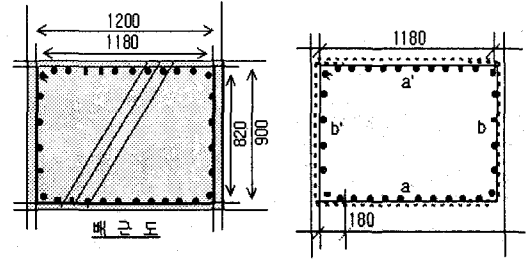


그림 6. 메탈라스 횡구속 shop drawing(AC 36, 37)

3.2 메탈라스 현장 시공 및 PP섬유 혼입

현장에 적용한 메탈라스는 KS D 3601에 규정되어 있는 규격품으로서 단목 22mm, 장목 50m, 두께 2.3mm로 그림 4-6과 같이 AC12 기둥에 $600 \times 3,375\text{mm}$, AC22 $500 \times 2,000\text{mm}$, AC36과 AC37에 각각 $900 \times 1,200\text{mm}$ 크기로 횡구속 하였다.

공장가공은 사진 4와 같이 메탈라스를 절곡하여 현장에 반입한 다음, 기둥 철근 배근 후 사진 5와 같이 현장에서 직접 조립 시공하였으며, 메탈라스 시공은 한번에 기둥에 부착하지 않고, 두 번으로 나누어 결속하였다. 현장에서 기둥에 메탈라스를 부착할 때에는 메탈라스를 세로로 세워서 높이 2,400mm에 옆으로 메탈라스를 미리 결속하여 'c' 자 형상으로 절곡하여 철근에 결속하였고, 이후 아래 부분에 거푸집을 대고, 그 거푸집을 밟고 올라서서 다시 'c' 자로 절곡된 메탈라스를 둘러서 시공하였다.

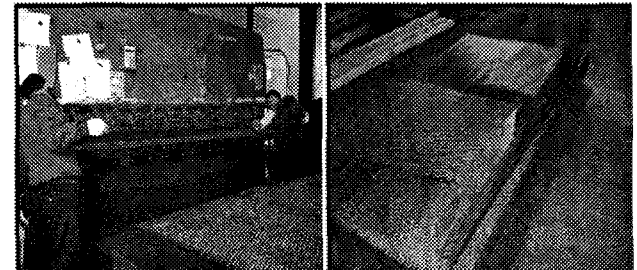


사진 4. 메탈라스 공장 가공 모습

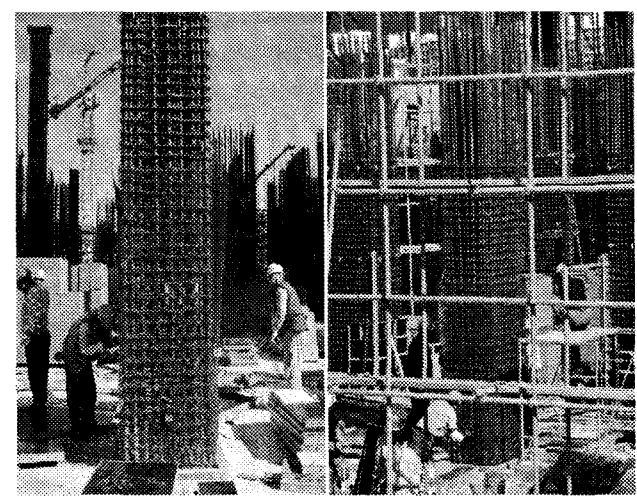


사진 5. 메탈라스 현장 시공 모습

한편, PP섬유는 레미콘 공장의 배척플랜트 상에서 투입되어 혼합하였고 투입시 비닐봉투에 밀봉되어 있는 상태로 취급되어 큰 어려움은 없는 것으로 나타났다.

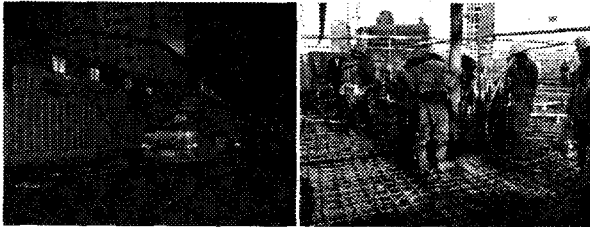


사진 6. 콘크리트 펌핑 및 다짐 모습

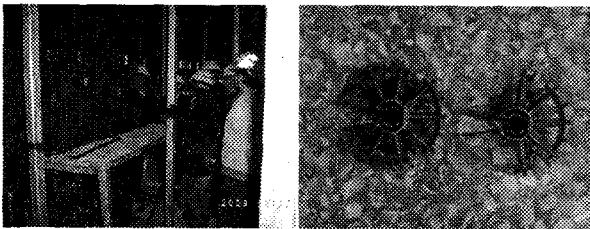


사진 7. 메탈라스 시공 현장 조사 및 스페이서 가공 모습



사진 8. 굳지않은 콘크리트 및 경화 콘크리트 현장조사

표 1. 현장 적용한 콘크리트의 실험 결과

구 분	굳지않은 콘크리트			경화콘크리트		
	슬럼프 플로우 (mm)	공기량 (%)	염화물량 (kg/m ³)	압축강도 (MPa)		
				3일	7일	28일
일반 콘크리트	550	4.0	0.035	19.2	37.1	48.1
PP섬유 혼입 콘크리트	520	3.5	0.033	20.5	34.9	49.5

3.3 콘크리트 타설 및 현장 조사

사진 6은 레미콘 공장에서 PP섬유를 혼합한 콘크리트의 펌핑 및 다짐모습을 나타낸 것이다.

콘크리트의 펌프압송 및 타설시 PP섬유 혼입에 따른 파이버 볼(fiber ball)현상 등의 악영향은 없었으며 메탈라스로 횡구속된 기둥 타설에도 골재의 통과성, 콘크리트의 충전성 및 시공성 모두 양호한 것으로 나타났다.

사진 7은 메탈라스 시공 현장조사 및 스페이서 가공모습을 나타낸 것이다. 메탈라스 부착 후 스페이서 설치하는 기존의 스페이서를 2마디 잘라내어 현장에서 가공하여 설치하였다. 또한, 사진 8은 본 기술을 적용한 콘크리트의 굳지않은 상태 특성과 거푸집 탈형 이후의 현장조사 실시 모습을 나타낸 것이다. 표 1에서와 같이 일반 콘크리트와 PP섬유 혼입 콘크리트의 슬럼프플로우, 공기량 및 염화물량은 모두 목표치를 만족

하였고, 경화콘크리트의 특성으로 재령 28일 후 압축강도 역시 고강도 범위인 40MPa이상의 값을 모두 만족하였다.

4. 본 공법의 활용방안 및 기대효과

과거 국내의 건축공사 현장에는 고성능 콘크리트의 사용이 미약하였으나 향후 초고층 건축물의 시공 등으로 고성능 콘크리트의 활용은 점차 증가될 것이다. 이러한 상황에서 앞으로 건축되어지는 고성능 콘크리트 구조물에서는 3시간의 내화규정을 충족시킬 수 있는 내화 기술이 적용되어야 할 것이며 현재 내화규정을 만족하는 다른 공법이 없는 상황에서 본 공법의 활용은 점차 확산되어 질 것으로 사료된다.

또한, 본 공법의 적용에 따른 파급효과로써 화재시 폭발방지 뿐만 아니라 잔존내력을 향상시키는 새로운 기술로 국내 초고층 건축물이 시공되어지는 모든 현장에서 내화구조의 품질향상에 큰 역할을 할 것이며, 비화재시 건조수축저감 및 자기수축저감 등 균열저감 측면에서 유리하고, 횡구속에 의한 강도증진 및 내충격성 향상 등 유지관리 측면에서도 유리한 공법이 될 것으로 분석된다. 현재까지의 연구결과를 토대로 기술개발을 지속시켜 향후 국내의 내화성능 향상에 대한 기술적 우위를 점 할 수 있길 기대해본다.

참 고 문 헌

1. 신기술 454호, 폴리프로필렌 섬유와 메탈라스를 이용한 철근 콘크리트 기둥의 폭발방지 및 내화성능 향상 공법, 건설교통부,
2. 한천구; 비폭열성 콘크리트, 콘크리트 학회지, 제 10권 6호, pp.5-10, 1998. 12
3. 한천구, 양성환, 이병열, 황인성; 골재종류 및 폴리프로필렌 섬유 혼입률 변화에 따른 고성능 콘크리트의 폭발 특성에 관한 연구, 콘크리트학회 논문집, 통권 53호 제 11권 5호, pp.69-78, 1999. 10
4. 황인성; 화재시 고성능 콘크리트의 폭발에 미치는 재료 및 배합요인의 영향, 청주대학교 석사학위논문, 1999. 12
5. 한천구, 황인성; 고성능 콘크리트의 폭발 방지에 관한 연구, 계간 전자재, 99년 봄호, 통권 17호, pp. 226-235, 1999
6. 한천구, 채민수, 이병열, 양성환; 폴리프로필렌 섬유의 혼입률 변화에 따른 고성능 시멘트 모르타르의 폭발방지에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 통권 134호 15권 12호, pp. 89-96, 1999. 12
7. 한천구, 양성환, 이병열, 황인성; 혼화재 종류 및 폴리프로필렌 섬유의 혼입률 변화에 따른 고성능 콘크리트의 폭발 특성, 구조물진단학회지, 통권 11호 제4권 제1호, pp. 85-92, 2000. 1
8. 이병열; 화재시 고성능 콘크리트의 폭발 방지에 관한 연구, 청주대학교 박사학위논문, 2001.12
9. 韓千求, 金敬民, 韓敏喆, 李建哲, 許榮善; 高強度コンクリートを使用したRC柱の爆裂性状に関する模擬部材試験(その1: 仕上げ材の種類による爆裂特性), A-2, pp.83-84
10. 韓千求, 韓敏喆, 李建哲, 金敬民, 許榮善; 高強度コンクリートを使用したRC柱の爆裂性状に関する模擬部材試験(その2: 有機質の繊維および横拘束による爆裂特性), A-2, pp.85-86
11. Cheon-Goo Han, Yin-Seong Hwang, Seong-Hwan Yang, N. Gowripalan; "Performance of spalling resistance of high performance concrete with polypropylene fiber contents and lateral confinement, Cement and Concrete Research 35, pp.1747-1753, 2005