

고강도콘크리트의 내화 공법 시공사례

Site Application of Spalling Protection Technique in High Strength Concrete



이보형*
Bo-Hyeong Lee



이재삼**
Jae-Sam Lee



한천구***
Cheon-Goo Han

1. 공법 개요

인류가 개발한 많은 재료 중 콘크리트는 비강도(강도/비중), 경제성 지수(강도/단가) 등이 양호하고, 특히 내화성이 우수함에 따라 많이 사용되어지고 있는 건설재료이다. 그러나 최근에는 일반강도와 달리 고강도 등 고성능 콘크리트의 활용이 많아짐에 따라, 조직 치밀화에 기인하여 화재시 폭발현상 및 내화성 저하가 문제시되고 있다.

이중 내화성 저하를 방지하기 위하여 기존에 알려진 방안은 다음과 같다.

- (1) 내화성이 작은 철근을 보호하기 위하여 피복두께를 충분히 한다.
- (2) 내화성이 높은 골재를 사용한다.
- (3) 부재 표면을 내화재로 보호한다.
- (4) 피복부재가 박리되는 것을 방지하기 위하여 황구속재를 사용한다.

그러나 콘크리트의 폭발현상은 단순히 표현하는 부재의 내화성과 달리 고강도·고성능 콘크리트일수록 내부조직이 치밀하여 폭발이 발생하기 쉬운 것으로 알려지고 있어 내화성과는 다른 특성을 나타내고 있는데, 화재시 고성능 콘크리트의 폭발 방지 방안으로는 다음과 같은 것을 들 수 있다.

- (1) 콘크리트의 온도상승을 억제하는 방법
- (2) 빠르게 내부 수분을 이동시키는 방법
- (3) 콘크리트의 비산을 억제하는 방법

이중 (1)의 방법으로는 내화피복이나 내화도료의 적용, (3)의

방법으로는 강관피복 등에 의한 비산방지 등을 생각할 수 있지만, 이들 방법은 콘크리트 자체로 폭발을 방지하는 것이 아니라 외부조건에 의한 폭발 방지 방안이다.

두산건설에서는 40MPa 이상의 고강도콘크리트에 적용될 수 있는 폭발방지공법을 개발하여 건설신기술 제 454호로 지정 받았으며, 신기술을 당사의 콘크리트강도 40MPa 이상 적용되는 기둥부재에 대해 선별적으로 적용하였는데, 본고에서는 그 현장 적용사례에 대해 설명하고자 한다.

본 공법에서는 고성능 콘크리트의 내화대책에 대한 대안으로써 PP 섬유를 콘크리트 체적의 0.1%를 혼입하여 폭발을 방지하고, 철근배근 완료 후 메탈라스로 황구속하여 잔존내력을 향상시켜서 화재시 폭발방지 및 잔존 압축강도를 향상으로 내화성능을 향상시키기 위한 공법이다. 즉, PP섬유를 혼입하여 타설함으로써 화재시 섬유가 녹은 자리로 내부 수증기압을 방출시켜 폭발을 방지하고, 또한 화재시 팽창 이완되는 콘크리트 조직을 메탈라스로 황구속하여 잔존 압축강도를 향상시킴으로서 내화성능을 향상시키는 공법이다.

2. 현장 적용을 위한 mock-up test

본 연구 실험에서는 현재 실무에서 적용되고 있는 일반 RC기둥과 비가력 모의부재 실험에서 내화성능이 입증된 PP섬유, PP 섬유 및 메탈라스의 황구속에 의한 신공법을 적용한 RC기둥을 대상으로 내화실험을 실시하였다. 내화실험은 한국건설기술연구원 방내화 시험동의 기둥 가열로 내에 수직으로 배치하여 놓고, 최대 설계 축하중의 50%인 916 kN를 재하한 후 KS F 2257-1에서 규정하는 표준가열곡선으로 3시간 가열을 실시한 후 RC기둥 부재의 폭발성상을 관찰하였다.

본 실험은 가력 실험으로서, 본 신공법을 현장 실구조체에 적용하기 위하여 3시간 내화실험을 통하여 고성능 콘크리트를 사용한 RC기둥의 폭발 특성 및 잔존내력 등을 검토하고자 하였다.

* 정희원, 두산건설 기술연구소 차장
bhlee44@doosan.com

** 정희원, 텍스콘 연구개발팀 부장

*** 정희원, 청주대학교 건축공학부 교수

재는 모두 폭렬이 발생하지 않고 3시간 내화규정에 합격하는 것으로 나타났는데, 이는 PP섬유가 고온에 녹아 내부 수증기압을 효과적으로 배출할 수 있는 통로를 형성하고, 메탈라스의 횡구속력이 PP 섬유와 복합적인 작용에 기인된 것으로 분석된다. 하지만 PP 섬유를 혼입한 경우는 상기의 비가력 모의부재 실험결과에 서와 같이 잔존압축강도가 저하하였을 것으로 예상된다.

3. 현장시공 방법

3.1 적용 부위 선정

고강도콘크리트 적용 현장이며, 대부분이 수직수평 분리타설 현장으로 층별 기둥의 콘크리트강도를 고려하여야 하며, 적용부위에 대해서는 구조설계팀의 검토를 거쳐 적용부재를 결정하여, 최종적으로 적용위치 및 적용부재를 결정하였다<그림 1>.

3.2 현장 shop drawing 작성

부재의 크기를 고려한 현장시공용 메탈라스 shop drawing을 작성하며, 현장시공성을 고려하여, 절곡부위, 이음부위 등을 결정한다<그림 2>.

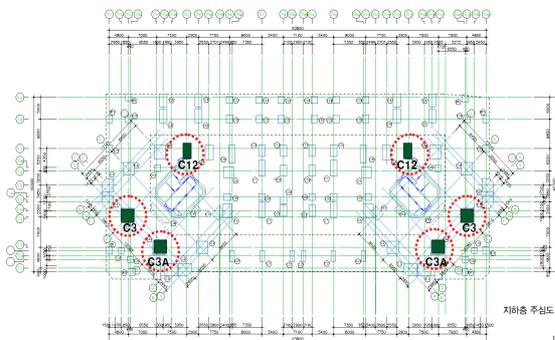
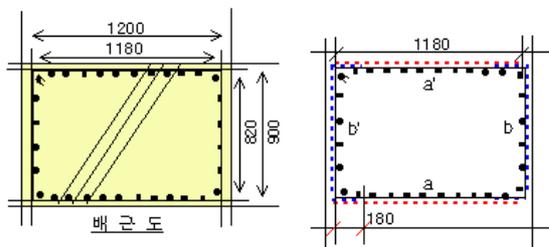


그림 1. 공법적용 부재



AC36, AC37(900×1200, 42-D32, D13@100)

그림 2. 메탈라스 가공 shop drawing도

3.3 메탈라스 공장가공

사용된 메탈라스의 규격은 <표 3> 과 같다. 본 기술에서는 메탈라스를 적용하기 전 메탈라스의 눈금 크기를 결정하기 위하여 메탈라스의 여러 눈금크기 변수로 실험을 실시하였다. 실험결과 가장 적합한 크기로 결정된 것이 본 기술에 적용한 KS D 3601에 규정되어있는 최대크기 눈금으로 단목 22mm, 장목 50mm로 하였다.

Shop drawing에 의해 메탈라스를 공장 가공<사진 3, 4>하여 현장에 반입한 다음, 기둥철근 배근 후 현장에서 조립 시공한다<사진 5>.

메탈라스 시공은 한번에 기둥에 부착하지 않고, 메탈라스는 4×8(1,200×2,400mm) 크기이므로 부재의 크기를 고려하여 몇 등분으로 나누어 결속한다. 현장에서 기둥에 메탈라스를 부착할 때에는 4×8 메탈라스를 세로로 세워서 높이 2,400mm에 열

표 3. 사용 메탈라스

메탈라스 규격 (mm)			
SW	LW	T	
22	50	2.3	



사진 3. 가공기에 의한 공장가공

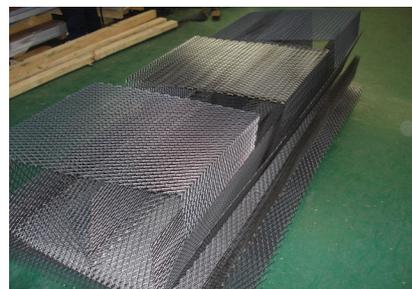


사진 4. 가공된 후의 메탈라스



사진 5. 메탈라스 현장조립 및 시공 모습

으로 메탈라스를 미리 결속하여 ‘ㄷ’자 형상으로 절곡하여 철근에 결속한다.

3.4 콘크리트 배합설계시 유의사항

PP섬유를 혼입한 본 기술의 콘크리트 배합설계시 특별히 주의할 사항은 없으며, 고강도콘크리트의 배합설계와 동일하다.

PP섬유 혼입률은 외할 치환으로서 콘크리트 1m³ 당 용적비 0.1%를 혼입한다. 다만, 혼입의 균일성을 확보하기 위해서 레미콘 공장 배치에서 혼입함을 원칙으로 한다<사진 6>.

PP섬유는 직경이 0.05~0.10mm, 길이 15~50mm의 섬유를 사용하고, 내산성 내염기성 및 내알카리성이 확보 되어야 한다.

3.5 콘크리트 타설

콘크리트 타설 전에 철근, 메탈라스의 부착상태, 거푸집 등은 설계도에 따라 시공되었는지를 확인한다.



사진 6. 레미콘 공장 배치에서 PP섬유의 혼입



사진 7. 메탈라스 현장 조립 후 검사



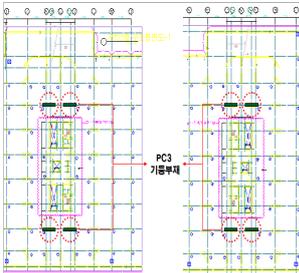
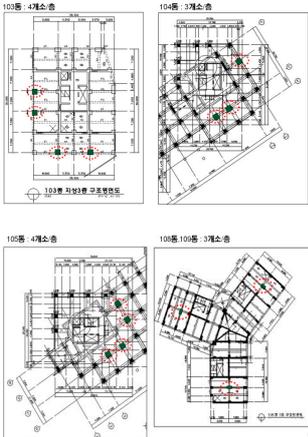
사진 8. 현장 반입 콘크리트 플로우치 확인 및 공시체 제작

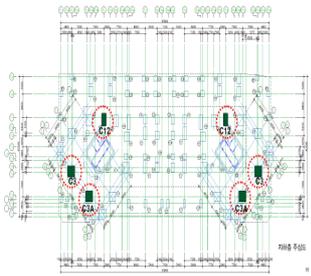
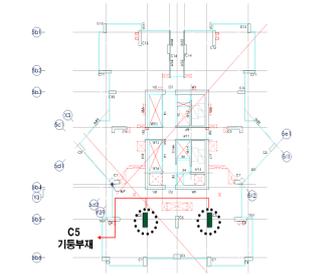
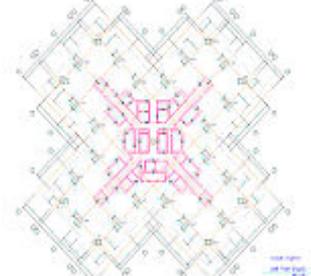
부어넣는 순서는 구조물의 형상, 콘크리트 공급상태, 거푸집 등의 변형을 고려하여 부어 넣는다. 부어넣기의 낙하고는 1m 이하로 하고 또한, 재료분리가 발생하지 않도록 한다.



사진 9. 콘크리트 거푸집제거 후 검사

4. 공법 적용 현장

구분	적용사례 1	적용사례 2	적용사례 3
1. 현장명	부산 해운대 두산 위브 포세이돈	청주 사직 두산위브 더 제니스	대구 두산 위브 더 제니스
2. 위치	부산광역시 해운대구 우동 1410-14	충북 청주시 흥덕구 사직동 265-5번지 일대	대구광역시 수성구 범어동 179-1번지 외
3. 조감도			
4. 규모	지하 5층, 지상 45층 2개동 연면적 : 126,660.14 m ²	지하4층 - 지상 41층 2개동 연면적 : 134,809.39 m ²	지하7층, 지상48층-54층 9개동 연면적 : 503,076.64 m ²
5. 공사 기간	'03년 7월 - '07년 2월	'06년 2월 - '09년 7월	'05년 12월 - '09년 12월
6. 적용 범위	1F-15F AC12, AC22, AC36, AC37 기둥부재 	B3-1F 17-19열 PC3 (8개소/층) 	B7-3F(C1, C2, C3) 기둥 부재 

구분	적용사례 4	적용사례 5	적용사례 6
1. 현장명	울산 신정 두산위브 더 제니스	청주 G-Well City 1B/L	해운대 두산 위브 더 제니스
2. 위치	울산시 남구 신정동 453-1일대	청주시 흥덕구 복대동 555번지	부산광역시 해운대구 우동 1407번지 외
3. 조감도			
4. 규모	지하6층 - 지상 48층 2개동 연면적 : 82,527.71 m ²	지하3층 - 지상 45층 9개동 연면적 : 570,463.0 m ²	지하5층 - 지상 70/75/ 80층 3개동 연면적 : 572,534.18 m ²
5. 공사 기간	'06년 4월- '10년 1월	'07년 3월- '10년 7월	'07년 12월- '12년 1월
6. 적용 범위	B6-20F(C3, C3A, C12) 기둥부재 6개소/층	1F-15F(A2, A6열 C5) 2개소/층	B5-60F 외주 전 기둥 (28개소/층) 국토부고시 제2008-334호 에 의한 시험후 적용
			

5. 맺음말

콘크리트의 폭발을 방지하기 위한 방법으로 콘크리트에 PP섬유를 혼입하고, 공장가공 메탈라스를 현장 반입하여 조립함으로써 강한 횡구속을 통한 폭발방지 및 강도저하를 사전에 예방하고자 하였으며, 현재까지의 실험결과와 현장적용 결과는 만족할만하다고 판단된다. 지난 7월 21일자로 국토해양부 고시 제2008-334호 “고강도콘크리트 기둥/보의 내화성능 관리기준”이 고시되었으므로 향후 건설되는 50MPa 이상의 콘크리트를 사용한 콘크리트 기둥/보는 모두 내화대책을 세워 시공하게 되어있으므로 이에 적합하도록 사전에 설계기준강도 50MPa 이상의 콘크리트를 사용한 기둥/보의 내화성능을 확인받아 현장에 적용하고, 관리하여야 한다. 또한 현재까지의 연구결과와 이와 관련한 실험 및 기술개발 연구가 지속적으로 수행되어 미래에 우려되는 화재로 인한 폭발현상 및 강도저하에 효과적으로 대처하여야 할 것이다. 

참고문헌

1. 지식원의 5인, “마감재변화에 따른 고성능 RC기둥의 내화특성에 관한 연구,” 대한건축학회 논문집, 24권, 2호, Oct. 2004.
2. 한천구, 양성환, 이병렬, 황인성, 전선천, “폴리프로필렌 섬유 혼입률 및 부재크기 변화에 따른 고성능 콘크리트의 내화 특성,” 콘크리트학회논문집, 14권, 4호, Aug. 2002, pp. 449~456.
3. 한천구, 황인성, 정덕우, “PP纖維 혼입 및 橫拘束에 의한 高性能 콘크리트의 爆裂 防止 性能,” 대한건축학회 구조계 논문집, 19권, 1호, Jan. 2003, pp. 61~68.
4. 山崎 庸行, 西田 朗, “耐爆裂性 콘크리트,” 콘크리트工學, Vol. 36, No. 1, Jan. 1998, pp. 44~47.
5. 池尾陽作, “高強度 콘크리트의 耐火性能(爆裂)에 關する 研究,” 콘크리트工學, Vol. 37, No. 8, Aug. 1999, pp. 53~57.