

섬유복합모르터의 뿔칠마감에 의한 고강도콘크리트 기둥부재의 폭렬방지

Spalling Resistance of High Strength RC Column Covering Spray-on Materials of Fiber Composite Spray Mortar(FCSM)

송용원* 한동엽** 이건철*** 고경택**** 김진수***** 한천구*****
Song, Yong-Won Han, Dong-Yeob Lee, Gun-Cheol Goh, Kyoung-Taek Kim, Jin-Soo Han, Cheon-Goo

Abstract

High strength concrete has been increasingly used in high rise building and it is very obvious to consider fire resistance performance of that. Unlike the normal strength concrete, high strength concrete in sudden elevating temperature at fire is susceptible to spalling with severe explosion and surface split, due to high density of concrete. In order to endure the spalling, inner space temperature of concrete should be control less than certain point. Therefore this study investigated the influence of covering materials on high strength concrete finishing spray-on materials of fiber composite spray mortar(FCSM). Both polypropylene(PP) and polyvinyl alcohol(PVA) fiber were used in this test. Test showed that concrete, covering 18mm mortar containing PVA fiber and confining metal lath 2.3mm thickness, decreased 50% of main bar ambient temperature, compared with control concrete. In addition, concrete covering 18mm mortar without fiber caused falling of covering materials and then it was exposed in elevating temperature. As a result, spalling of the concrete occurred same as control concrete. However, concrete covering spray-on mortar containing PVA or PP fiber resisted spalling occurrence.

키 워 드 : 고강도콘크리트, 폭렬현상, 섬유복합모르터, 뿔칠마감

Keywords : High Strength Concrete, Spalling Phenomenon , Fiber Composite Spray Mortar(FCSM), Covering Spray

1. 서론

건축구조물의 내화규정과 관련하여 KS F 2257-1에서는 주요한 강재의 온도는 표 1에서 나타내는 허용온도를 초과하지 않아야 한다고 규정하고 있다. 그런데, 고강도콘크리트는 화재 시 고온을 받게 되면 폭렬을 일으키고, 이러한 폭렬현상은 피복 콘크리트의 박락과 함께 구조체내 강재의 허용온도를 초과하여 내화성이 작은 철근이 고열에 노출되면서 결국 치명적인 구조내력저하를 초래하게 된다. 따라서, 강재의 허용온도를 초과하지 않게 하기 위해서는 고열에 의해 콘크리트의 표면이 박락되거나 파괴되지 않도록 해야 한다.

고강도 콘크리트의 폭렬을 방지하는 방법으로는 다양한 방법이 제안되고 있지만, 콘크리트 타설시 유기질 섬유를 혼입하여 화재발생 시에는 섬유가 녹으므로써 내부의 수분을 빠르게 이동시켜 폭렬을 방지하는 방법이 주로 연구되고 있다.¹⁾ 하지만, 이미 지어진 건축물의 경우에는 이방법의 적용이 불가능하

기 때문에 다른 방법의 강구가 필요하게 되는데, 필자 등은 이와 관련하여 마감재 등을 변화시켜, 온도상승을 억제시키는 방법, 콘크리트의 비산을 방지하여 잔존강도를 증가시키는 방법 등에 대하여 검토해 온 바 있다.^{2), 3)}

그러므로, 본 연구에서는 이와같은 연구의 연속으로 콘크리트구조체의 표면을 섬유복합모르터로 뿔칠마감한 부재를 내화 실험한 후 폭렬성상을 검토함으로써, 궁극적으로는 고성능 콘크리트를 사용한 기존 건축물의 내화성 보강공법의 한 방법으로 제안하고자 한다.

표 1. 강재의 허용온도(KS F 2257-1)

구조종류		구조부분	
		기둥, 대들보	바닥, 처마벽
철골철근콘크리트조 철근콘크리트조 철근콘크리트 패널 등	최고온도	500℃ 이하	550℃ 이하
	PC 콘크리트조	최고온도	400℃ 이하
강 구조	최고온도	450℃ 이하	500℃ 이하
	평균온도	350℃ 이하	400℃ 이하

* 청주대학교 건축공학부 석사과정, 정회원

** 서울대학교 건축학과 석사과정, 정회원

*** 청주대학교 산업과학연구소 전임연구원, 정회원

**** 한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원, 정회원

***** 원하중합건설(주)

***** 청주대학교 건축공학부 교수, 정회원

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 2와 같고, 구조체 콘크리트의 배합 사항은 표 3과 같다. 먼저 구조체 콘크리트는 W/B 34%, 슬럼프플로우 655mm, 공기량 3%, 28일 압축강도 42MPa의 시험체를 이용하였다. 실험부재는 모의RC기둥(300×300×600mm) 구조체를 상정하여 제작하였고, 또한 마감재 변화로써 마감을 하지 않은 것을 플레인 시험체(a부재)로 하고 섬유무혼입 모르타르 마감(b부재), PVA섬유를 혼입한 뿔칠마감(c부재), PP섬유를 혼입한 뿔칠마감(d부재) 및 메탈라스(2.3T)로 보강 후 PVA섬유를 혼입한 뿔칠마감(e부재)의 총 5배치를 실험계획 하였다.

표 2. 마감재변화에 따른 콘크리트의 내화성능 실험계획

콘크리트 구조체	마감재 변화	실험사항
·W/B 34% ·슬럼프플로우 655mm ·공기량 3% ·28일압축강도 42MPa	·마감하지 않은 구조체 (a부재) ·섬유 무혼입 마감 (b부재) ·PVA 혼입 마감 (c부재) ·PP 혼입 마감 (d부재) ·PVA 혼입 + 2.3t 메탈라스 보강마감 (e부재)	·마감재의 압축강도 ·가열시험 (3시간) ·온도이력 ·폭렬유무 ·폭렬깊이 ·폭렬면적 ·중량변화

* 뿔칠두께는 18mm를 적용한다.

표 3. 구조체 콘크리트의 배합사항

W/B (%)	S/a (%)	FA/C (%)	SP/C (%)	AE제 (%)	절대용적배합 (l/m ³)				질량배합 (kg/m ³)			
					C	FA	S	G	C	FA	S	G
34	46	15	0.9	0.03	157	34	274	322	420	74	708	840

* C :시멘트, FA :플라이애시, S :모래, G :골재

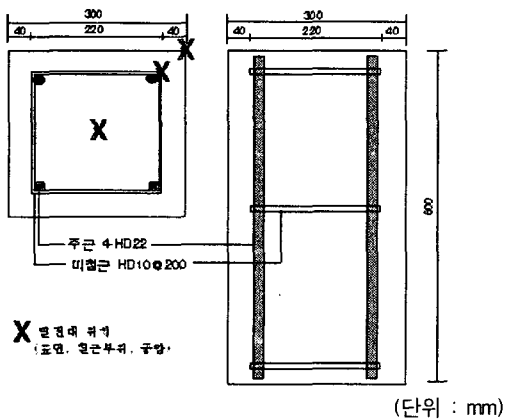


그림 1. 구조체 철근배근도 및 열전대 매설 위치

온도이력 측정에는 a부재와 e부재에 대하여 측정하는 것으로 하였는데, a부재의 경우 구조체의 중심과 주근에 열전대를 매립하였고, e부재의 경우에는 선행연구를 통해 폭렬이 발생하지 않을 것으로 예상되는 메탈라스(2.3T)로 보강한 구조체로 중

심, 주근 및 콘크리트표면에 열전대를 매립하였다. 그림 1은 구조체의 철근배근도 및 열전대 매설 위치를 나타낸 것이다.

2.2 사용재료

구조체 콘크리트 제작용 재료로써 시멘트는 국내산 보통포틀랜드시멘트를 사용하였고, 잔골재와 굵은 골재는 충북 청원군 옥산산 강모래와 굵은 골재를 사용하였다. 섬유복합모르타르는 국내 A사의 제품을 사용하였는데, 사용재료의 물리적 성질은 표 4~8과 같다.

표 4. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ³ /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	중결	3일	7일	28일
3.15	3,265	0.15	210	300	22.0	28.9	38.9

표 5. 골재의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm ³)	조립률 (FM)	흡수율 (%)	단위용적질량 (kg/m ³)	0.08mm채 통과량(%)
잔골재	2.55	2.95	1.12	1,614	1.15
굵은골재	2.67	6.9	0.8	1,526	0.3

표 6. 플라이애시의 물리적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ³ /g)	강열감량 (%)	압축강도 비(%)	이산화규소 (%)	습도 (%)	단위수량비 (%)
2.3	3,850	4.2	92	67.5	0.2	100

표 7. 혼화제의 물리적 성질

구분	주성분	색상	형태	밀도(g/cm ³)
고성능감수제	폴리칼본산계	연황색	액상	1.14

표 8. 섬유의 물리적 성질

구분	밀도(g/cm ³)	길이(mm)	직경(mm)	녹는점(°C)	인장강도(MPa)
PVA섬유	1.26	6	0.016	220	165
PP섬유	0.9	19	0.07	162	56

2.3 실험방법

구조체 콘크리트는 KS 규정의 표준적인 방법에 의거 제작하였고, 20±3°C의 표준양생 조건에서 14일 살수양생한 후, 14일 기중 방치한 다음, 뿔칠 마감 후 다시 28일간 기중에서 방치하였다. 구조체 콘크리트의 28일 압축강도는 KS F 2405에 의거 ø100×200mm공시체를 제작 후 소정의 채령에서 측정·확인하였다.

마감재의 특성으로 플로우치는 KS L 5111에 규정하는 플로우테이블을 이용하였고, 압축강도는 KS L 5105에 의거하여 소정기간 양생 후 측정하였다.

내화시험은 한국건설기술연구원의 바닥용 가열로 내에 수직으로 배치한 후 KS F 2257-1에서 규정한 표준가열곡선으로 3시간 가열을 실시하는 것으로 하였다. 이때, RC기둥의 온도가

력은 그림 1과 같이 계획된 위치에 매설하여 1분 간격으로 측정하였다.

내화시험 후 마감재 변화에 따른 RC기둥 모의부재의 폭렬 여부는 육안으로 관찰하여 조사하였고, 폭렬깊이, 면적 및 중량 등은 직각자, 줄자 및 저울을 이용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 마감재의 기초적 특성

그림 2는 마감재의 섬유혼입 종류별 플로우치를 나타낸 그래프이다. 전반적으로 마감재 모르터에 섬유를 혼입할수록 유동성이 저하하는 것으로 나타났다. 특히, PP섬유를 혼입한 경우가 플로우치가 가장 작은 것으로 나타났는데, 섬유를 혼입하지 않은 마감재 보다 약 22%의 유동성 저하하는 경향을 나타냈다.

그림 3은 마감재 종류별 재령경과에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다. 전반적으로 섬유를 혼입함에 따라 압축강도가 증가하는 것으로 나타났는데, PVA섬유를 혼입한 경우 PP섬유 혼입 및 섬유를 혼입하지 않은 것에 비해 현저히 증가하는 것을 알 수 있었다.

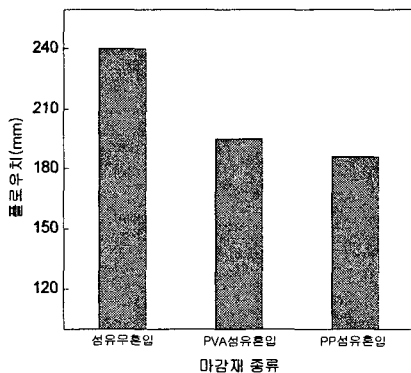


그림 2 마감재의 섬유혼입 종류별 플로우치

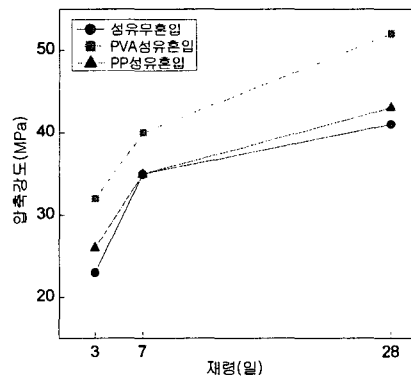


그림 3 마감재 종류별 재령경과에 따른 압축강도

3.2 폭렬 및 내화 특성

그림 4는 표준가열곡선에 따른 RC기둥 모의구조체의 온도변화를 나타낸 그래프이고, 그림 5는 a부재와 e부재의 중심과

주근위치의 온도변화를 비교한 막대그래프이다. 표 9는 a부재와 비교한 e부재의 시간경과에 따른 온도 감소율을 나타낸 것이다. 주근위치의 온도는 시간경과에 따라 약 48~51%의 감소율을 나타냈고, 중심의 온도는 3시간 경과시 약 40%의 감소율을 나타냈다.

표 9. e부재의 시간경과에 따른 온도 감소율

	1시간경과	2시간경과	3시간경과
시험체 중심	80%감소	5%감소	40%감소
시험체 주근	49%감소	51%감소	48%감소

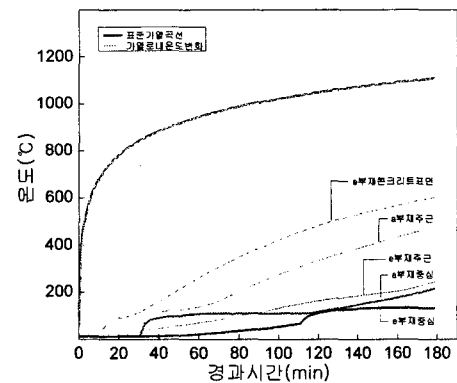


그림 4 표준가열곡선에 따른 RC기둥 모의구조체의 온도변화

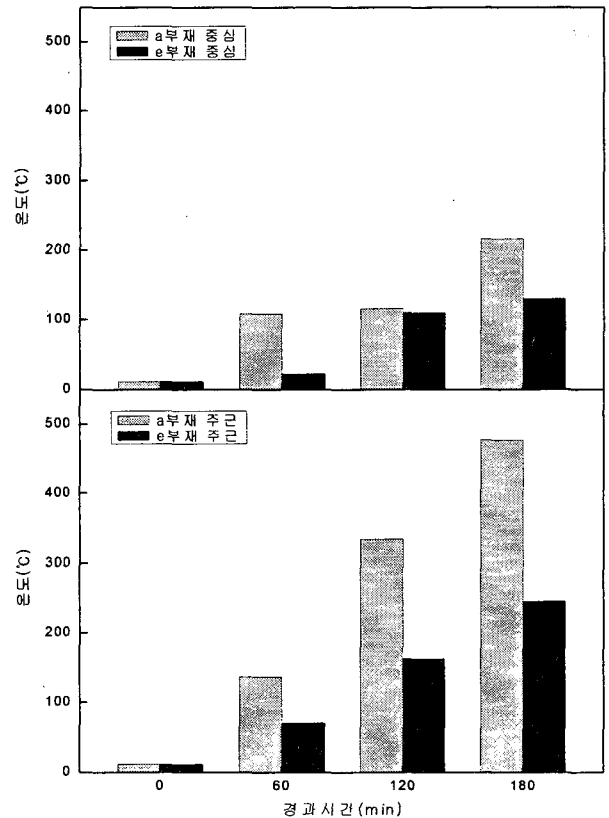


그림 5 a, e부재의 중심 및 주근의 경과시간에 따른 온도

표 10은 RC기둥 모의부재의 폭렬 특성을 나타낸 것이다. 사진 1에서 보는바와 같이 a부재와 b부재는 구조체 콘크리트에 폭렬이 발생하였고, c부재, d부재 및 e부재는 폭렬이 발생하지

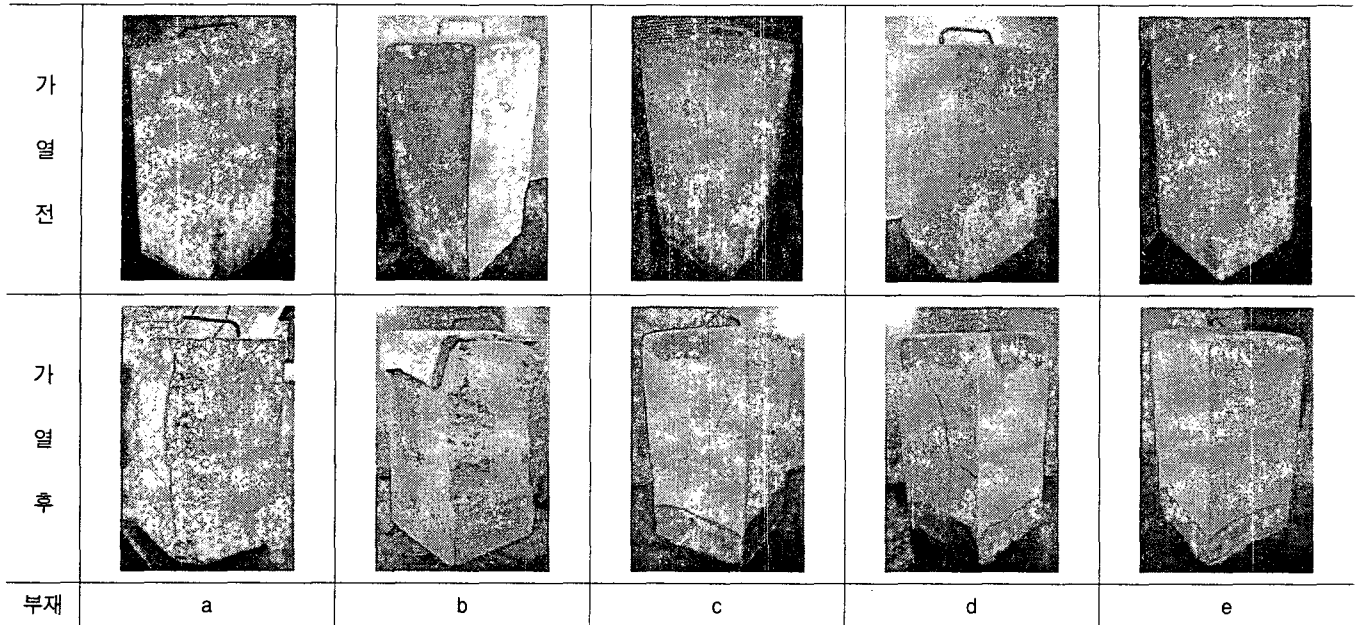


사진. 1 고강도 RC기둥 모의구조체의 내화시험 후 폭열 현상

않았다. 폭열이 발생한 a부재와 b부재의 경우 폭열깊이는 2~5cm 정도로 나타났고, 폭열면적은 시험체측면면적의 약 8~13%로 나타났다. 또한 중량은 a부재의 경우 약 10%, b부재의 경우는 마감면이 시험체와 박락되면서 약 30%의 감소율을 나타냈다.

섬유를 혼입하지 않은 경우 열에 의해 먼저 모르타가 팽창하면서 균열이 발생하고 콘크리트면과 박락되어 결국 콘크리트 면이 직접 열에 노출되어 고강도콘크리트에서는 폭열이 발생하는 것으로 나타났으나, 섬유를 혼입한 모르타로 18mm 정도 마감 한 경우는 PVA섬유, PP섬유 공히 균열은 발생하였으나 파괴나 박락되지 않았고, 구조체 콘크리트의 폭열도 발생하지 않았다. 특히 2.3T 메탈라스로 보강 후 섬유복합모르타로 마감 하였을 경우에는 메탈라스 보강하지 않은 경우보다 적은 균열 폭을 나타내고 있으며, 또한 섬유복합모르타로 마감한 경우 가열 후 섬유는 인장력을 거의 상실해 마감면이 적은 충격에도 박락되었으나 메탈라스 보강하였을 경우 메탈라스의 횡구속력에 의해 모르타가 팽창하여 박락하는 것을 방지함으로써 가열 후에도 마감면이 보존되는 것으로 나타났다.

- 1) 내화시험 후 폭열성향으로 플레인 및 섬유를 혼입하지 않은 모르타로 마감한 경우는 폭열이 발생하여 콘크리트 표면이 박락되었으나, PVA섬유 및 PP섬유를 혼입한 모르타로 마감한 경우는 폭열이 발생하지 않았고, 균열만 발생하고 마감면은 파괴되지 않아 구조체가 보존되고 있었다.
- 2) PVA섬유 및 PP섬유를 혼입한 모르타를 1.8mm 두께로 뿔칠마감한 경우는 양호하게 고열을 차단하여 주근위치의 온도를 약 50%정도 저감시키는 것으로 나타났다.
- 3) 이상을 종합하여 볼때, 설계기준강도 40MPa 전후로 이미 시공되어져 있는 기존 고성능 RC기둥은 2.3T 정도의 메탈라스로 횡구속하고, 18mm 두께의 PVA섬유 혼입 모르타로 뿔칠 마감하면 3시간 정도의 내화성능은 확보될 수 있는 내화 보강공법임을 알 수 있었다.

표 10. 폭열 특성

부재	a	b	c	d	e
폭열유무	유	유	무	무	무
폭열깊이	약 2~3cm	약 3~5cm	-	-	-
폭열면적	약 600cm ²	약 900cm ²	-	-	-
중량변화	약 10%감소	약 30%감소	-	-	-

참고 문헌

1. 한천구, 채민수, 이병열, 양성환 ; 폴리프로필렌 섬유의 혼입률 변화에 따른 고성능 시멘트 모르타의 폭열방지에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 통권 134호 15권 12호, pp. 89~96, 1999. 12
2. 한천구, 이재삼, 이보형, 배연기, 김기훈, 황인성 ; 횡구속 방법에 따른 고성능 RC 기둥 콘크리트의 내화특성, 콘크리트학회논문집, 통권 제31집 제16권 2호 pp. 553~556, 2004. 11
3. 한천구, 황인성, 지석원, 김경민 ; 고성능 RC 기둥의 마감재 변화에 따른 폭열 및 내화특성에 관한 연구, 구조물진단학회지, 통권 36호 제10권 2호 pp. 143~152, 2006. 3

4. 결론

본 연구는 이미 시공되어져있는 기존 고성능 RC기둥부재의 폭열방지를 목적으로, PVA섬유와 PP섬유를 혼입한 모르타로 마감한 RC기둥 모의부재의 비가력 내화시험 후 폭열성상을 검토한 것이고, 그 실험결과를 요약하면 다음과 같다.