

현장 적용을 위한 섬유혼입 고강도콘크리트의 내화특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Fire Resistance Properties of High Strength Concrete using Fiber for Field Application

김 용 로* 송 영 찬** 정 양 희*** 김 옥 중**** 이 도 범*****
 Kim, Yong-Ro Song, Young-Chan Jungi, Yang-Hee Kim, Ook-Jong Lee, Do-Bum

Abstract

It is necessary to develop a technology for effectively controlling explosive spalling of high strength concrete caused increasing construction of high rise building and putting up the fireproof standard of high strength concrete by MLTM (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs).

Accordingly, it was investigated basic properties such as slump, air content and compressive strength, and fire resistance properties of high strength concrete using polypropylene fiber for field application as a countermeasure for explosive spalling of concrete on fire in this study, As a test result, it was confirmed that PP fiber is available as fire resistance method of high strength concrete.

키 워 드 : 고강도콘크리트, 폴리프로필렌섬유, 내화특성, 펌프압송성
 Keywords : High strength concrete, Polypropylene fiber, Fire resistance properties, Pumpability

1. 서 론

최근 초고층 건축물에 적용되는 고강도콘크리트의 폭발 현상에 의한 내화성 저하 문제가 제기됨에 따라 국토해양부에서는 이에 대한 대응방안으로 2008년 7월 21일 “고강도 콘크리트 기동보의 내화성능 관리 기준”을 고시하였다.

이에 따라 국내 건설업계에서도 향후 지속적으로 적용이 증가될 것으로 예상되고 있는 고강도 콘크리트의 내화성능을 확보하기 위해 다양한 기술개발을 수행하고 있다.

한편, 기존 자료에 따르면 고강도 콘크리트의 내화성능을 확보하기 위한 기술 중 현재까지는 콘크리트 내부에 합성섬유를 혼입하여 화재 발생시 콘크리트 내부 수증기압을 저감시켜 폭발을 제어하고자 하는 방안이 가장 경제적이며, 현장 적용이 용이한 것으로 파악되고 있다.

이에 본 연구에서는 섬유혼입 고강도 콘크리트의 물성 및 내화 특성을 검토함으로써 60MPa 수준의 고강도 콘크리트가 적용되는 건설현장에서의 내화성능 확보방안으로서 섬유혼입 공법을 적용하기 위한 기초자료를 확보하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구에서는 그림 1에 나타난 바와 같은 고강도 콘크리트의 내화공법 중 합성섬유 혼입에 의한 내부 수증기압 저감 방안을 검토하고자 하였다.

현장 적용을 위한 섬유혼입 고강도콘크리트의 내화특성 검토를 위한 실험계획은 표 1에서 보는 바와 같이 시리즈 I에서는 섬유 종류, 섬유 길이 및 혼입량에 따른 섬유혼입 콘크리트의 기초 물성을 검토하고자 하였으며, 시리즈 II에서는 섬유혼입 콘크리트의 펌프압송성을 평가하고자 하였다.

표준 온도상승 억제	내부 수증기압 저감	폭렬 미산 방지	폭렬억제형 피복 Con'c
내화보드, 내화활질, 내화도료, 내화모르타르	합성섬유 혼입	와이어메쉬, 메탈라스, 강관 등 보강	폭렬억제형 영구거푸집

그림 1. 고강도콘크리트 내화공법 분류

* 대림산업(주) 건축연구지원팀 주임연구원, 공학박사, 정희원
 ** 대림산업(주) 건축연구지원팀 연구원, 정희원
 *** 대림산업(주) 건축연구지원팀 주임연구원, 정희원
 **** 대림산업(주) 건축연구지원팀 책임연구원, 공학박사, 정희원
 ***** 대림산업(주) 건축연구지원팀 팀장, 공학박사, 정희원

표 1. 실험계획

Ser.	구 분	시험 요인 및 수준		평가 항목
		요 인	수 준	
I	섬유혼입 콘크리트 기초 물성	섬유 종류	PP, 셀룰로오스	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 슬럼프플로우 ◦ 공기량 (0, 60분) ◦ 압축강도 (18h, 3d, 7d, 28d)
		섬유 길이	6, 9, 12mm	
		섬유 혼입량	0.5, 1.0, 1.5kg/m ³	
II	섬유혼입 콘크리트 펌프압송성	펌프 압송 전후 물성		
III	섬유혼입 콘크리트 내화성능	피복 두께	40, 60mm	◦ 3시간 내화 (KS F 2257)
		섬유 혼입량	0.5, 1.0, 1.5kg/m ³	

표 2. 사용재료의 물리적 성질

구 분	물리적 성질
시 멘 트	◦ 1종 보통포틀랜드시멘트, 밀도 3.15g/cm ³
혼 화 재	◦ 고로슬래그 미분말 3종, 밀도 2.91g/cm ³
골 재	◦ 잔골재 : 바다모래, 밀도 2.59g/cm ³ ◦ 굵은 골재 : 수순모래, 밀도 2.67g/cm ³
섬 유	◦ 폴리프로필렌 섬유, 밀도 0.91g/cm ³ ◦ 셀룰로오스 섬유, 밀도 1.10g/cm ³ , 길이 2.3mm

표 3. 콘크리트 배합

규 격	W/B (%)	s/a (%)	단 위 질 량 (kg/m ³)				
			W	C	BFS	S	G
20-60-600	28.0	45.0	165	413	177	729	901

또한, 시리즈 III에서는 시리즈 I 및 II에서 검토된 물성을 기초로 하여 설정된 섬유혼입 고강도콘크리트의 내화특성을 평가하고자 하였다.

2.2 사용재료 및 콘크리트 배합

본 연구에 사용한 재료의 물리적 특성을 표 2에 나타냈으며, 현장 적용 대상으로 설정된 20-60-600 규격의 콘크리트 배합을 표 3에 나타냈다.

2.3 실험방법

섬유혼입 고강도콘크리트의 성능 검토를 위한 실험방법으로서 콘크리트의 기초 물성 평가는 각 평가항목별 KS에 준하여 평가하였다.

또한, 내화성능 검토를 위한 내화시험은 KS F 2257-1 건 축부재의 내화시험방법에서 제시한 표준가열곡선에 의해 3시간 내화시험을 실시하였다.

가열로는 국토해양부에서 고시된 고강도콘크리트 내화성능 관리기준의 시험방법과 동일하게 진행하기 위하여 사진 1과 같은 수평가열로에서 내화시험을 진행하였다.



사진 1. 고강도콘크리트 내화시험 장면

표 4. 섬유혼입 고강도콘크리트 기초 물성 평가 결과

종 류	구 분	슬럼프플로우 (mm)	공기량 (%)		압축강도 (MPa)					
			init.	60m	18h	3d	7d	28d		
PP	6	1.0	620	610	2.3	2.2	5.5	47.1	64.5	76.2
	9	1.0	590	600	2.6	2.6	5.2	47.7	65.9	76.4
	12	0.5	620	615	2.4	2.4	5.3	48.0	65.3	77.4
		1.0	590	635	2.4	2.2	5.6	48.6	63.8	79.4
		1.5	560	615	2.4	2.2	4.7	43.2	57.7	73.4
	Cel	2	1.0	550	600	2.0	2.0	4.6	47.2	63.3

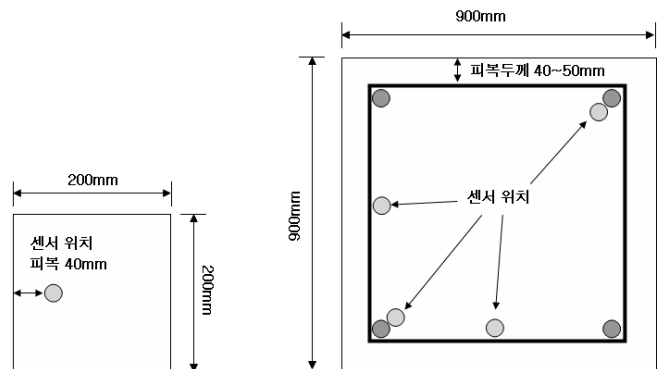


그림 2. 내화성능 평가용 시험체 단면



사진 2. 고강도콘크리트 펌프압송 시험 장면

내화시험을 위한 시험체는 그림 2에서 보는 바와 같이 사전 검토를 위하여 PP 섬유혼입량에 따른 내화성능을 평가하기 위해 200×200×400mm 크기의 시험체를 제작하였으며, 실제 부재를 대상으로 한 내화성능 평가를 위한 모의부재는 900×900×1500mm 크기로 제작하였다.

한편, 섬유혼입 고강도콘크리트의 펌프압송성을 검토하기 위하여 사진 2에서 보는 바와 같이 52m 펌프카를 활용하여 기둥 모의부재에 대한 시험타설을 실시하였으며, 압송전후의 콘크리트 물성을 평가하여 펌프압송이 섬유혼입 고강도콘크리트의 물성에 미치는 영향을 검토하고자 하였다.

3. 실험결과 검토 및 분석

3.1 섬유혼입 고강도콘크리트의 기초 물성

섬유 종류, 길이 및 혼입량에 따른 고강도 콘크리트의 기초 물성 평가 결과를 표 4에 나타냈다.

또한, 그림 3은 시험요인별 슬럼프플로우 측정 결과를 나타낸 것으로서 PP 섬유 길이의 경우 본 연구의 범위에서는 길이에 관계없이 목표 슬럼프플로우 범위를 나타냈으며, 경시변화에 있어서도 유의할만한 경향은 보이지 않았다.

PP 섬유 혼입량에 따른 슬럼프플로우는 비빔직후의 경우 혼입량 1.5kg/m³에서 슬럼프플로우가 다소 낮게 나타났으나, 경시60분에서는 혼입량에 따른 큰 차이가 보이지 않고 있어본 연구에서 검토된 PP 섬유 혼입량 1.5kg/m³ 이하에서는 고강도콘크리트의 슬럼프플로우에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 나타났다.

한편, 섬유 종류에 따른 슬럼프플로우 측정 결과 섬유혼입량 1.0kg/m³ 수준에서는 PP 섬유에 비해 셀룰로오스 섬유가 다소 유동성이 저하되는 것으로 나타났다.

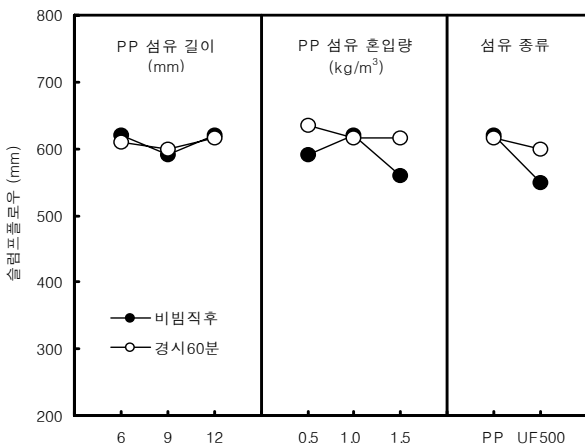


그림 3. 섬유혼입 고강도콘크리트 슬럼프플로우

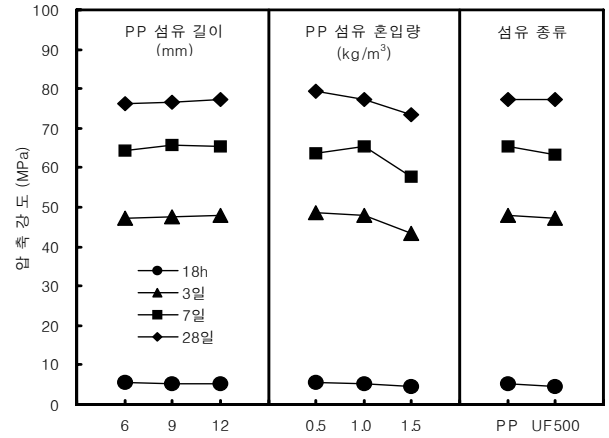


그림 4. 섬유혼입 고강도콘크리트 압축강도

또한, 섬유 길이, 혼입량 및 종류에 따른 공기량의 경우 본 연구의 실험요인 내에서는 유의할만한 경향은 보이지 않았다.

그림 4는 시험요인별 섬유혼입 고강도콘크리트의 압축강도 측정 결과를 나타낸 것으로 압축강도에 있어서 PP 섬유 길이 및 섬유 종류에 따른 영향은 크지 않은 것으로 나타났다.

그러나 섬유 혼입량에 따른 압축강도 시험 결과 재령18시간의 초기 재령에서는 큰 차이가 보이지 않았으나, 재령이 경과함에 따라 섬유 혼입량이 증가할수록 고강도콘크리트의 압축강도는 저하하는 경향이 나타났다.

3.2 섬유혼입 고강도콘크리트의 펌프압송성

섬유혼입 고강도콘크리트의 펌프압송 시험 결과 6m³의 콘크리트를 토출하는데 약 3분이 소요되는 것으로 나타나 본 연구의 범위에서 섬유혼입이 고강도콘크리트의 펌프압송성에 미치는 영향은 크지 않은 것을 확인할 수 있었다.

표 5. 펌프압송 전·후 고강도콘크리트 기초 물성 평가 결과

구 분	슬럼프플로우 (mm)		공기량 (%)		압축강도 (MPa)			
	init.	60m	init.	60m	1d	3d	7d	28d
압송전	570	580	3.7	3.5	13.6	35.5	47.2	61.6
압송후	560	550	3.6	3.5	14.7	37.3	48.5	62.6

표 5는 펌프압송 전·후 고강도콘크리트의 기초 물성 측정 결과를 나타낸 것이며, 그림 5는 펌프압송 전·후 고강도콘크리트의 재령에 따른 압축강도 측정 결과를 나타낸 것이다.

펌프압송에 의해 섬유혼입 고강도콘크리트의 슬럼프플로우는 다소 저하하는 것으로 나타났으나 유의할만한 수준은 아닌 것으로 판단되며, 펌프압송 전·후의 압축강도 평가 결과 펌프압송 후에 섬유혼입 고강도콘크리트의 강도가 다소 증가되는 것으로 나타나, 본 연구에서 검토한 섬유혼입 고강도콘크리트의 경우 펌프압송성능이 양호한 것을 확인할 수 있었다.

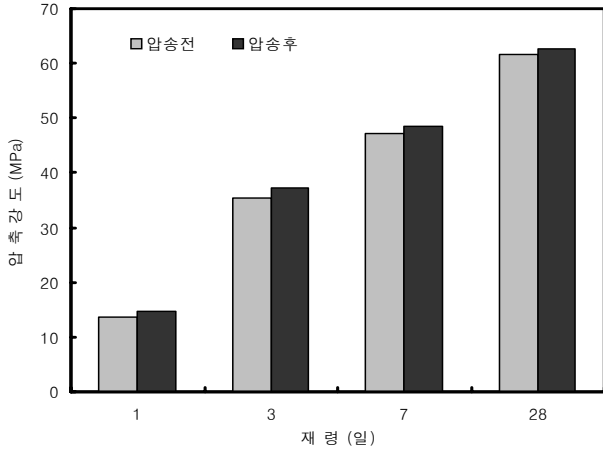


그림 5. 재령에 따른 펌프압송 전·후의 압축강도 변화

3.3 섬유혼입 고강도콘크리트의 내화성능

그림 6은 PP 섬유 혼입량에 따른 3시간 내화시험 결과를 나타낸 것으로서 PP 섬유 혼입량이 증가할수록 고강도콘크리트 내부의 온도상승이 지연되는 것으로 나타났다.

또한, 피복두께 40mm 위치에서의 온도는 섬유혼입량에 관계없이 가열개시 120분 경과시 국토해양부 관리기준인 평균 538℃를 초과하는 것으로 나타났다. 그러나, 3시간 내화시험 종료 후, 시험체의 외관 관찰 결과 사진 3에서 보는 바와 같이 폭발현상은 발생하지 않은 것으로 나타났다.

한편, 그림 7은 실제 부재를 대상으로 하여 피복두께에 따른 섬유혼입 고강도콘크리트의 내화시험 결과를 나타낸 것으로서 피복두께에 관계없이 국토해양부 관리기준을 모두 만족하는 것으로 나타났다.

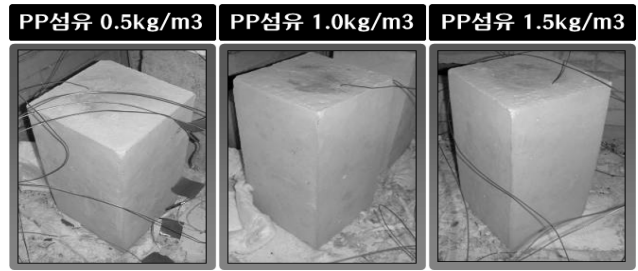


사진 3. 3시간 내화시험 종료 후 시험체 외관

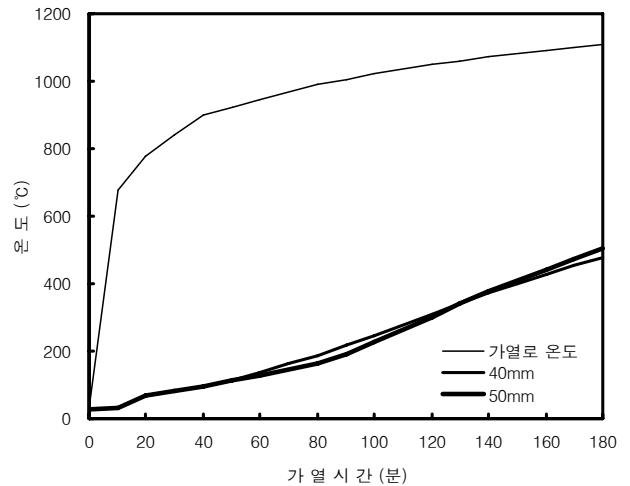


그림 7. 피복두께에 따른 3시간 내화시험 결과

이와 같은 내화시험 결과에 의해 섬유혼입에 의한 고강도콘크리트 내화성능 확보 방안의 적용성을 확인할 수 있었으며, 화재에 의한 고강도콘크리트의 내부온도 상승에 있어서 부재의 크기도 중요한 요인인 것으로 판단되며, 이에 대한 추가 검토가 필요할 것으로 사료된다.

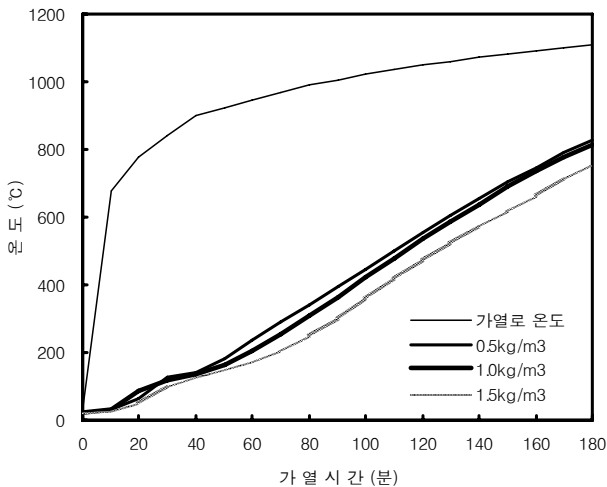


그림 6. PP 섬유 혼입량에 따른 3시간 내화시험 결과

4. 결론

현장적용을 위해 60MPa 수준의 고강도콘크리트에 있어서 섬유혼입에 따른 기초 물성 및 내화 특성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) PP 섬유 1.5kg/m³ 이하의 범위에서는 섬유혼입이 고강도콘크리트의 시공성 및 강도발현에 미치는 영향은 크지 않은 것을 확인하였다.
- 2) 실제 부재크기를 대상으로 한 시험체의 3시간 내화시험 결과 국토해양부 관리기준을 만족하는 것으로 나타나 섬유혼입에 의한 내화성능 확보 기술의 적용성을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 권영진 외, 대한건축학회의 구조내화설계 가이드라인에 관한 연구, 한국건축시공학회 학술기술논문발표회 논문집, 제8권 1호, 2008. 5, pp.21~25
2. 김무한 외, 고온가열을 받은 고강도 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구, 한국건축시공학회 학술기술논문발표회 논문집, 제7권 1호, 2007. 4, pp.9~12
3. 한천구 외, PP와 NY섬유의 형상비 및 혼입률 변화에 따른 고강도 콘크리트의 폭렬방지 특성, 대한건축학회 논문집, 제24권 7호, 2008. 7, pp.69~76
4. 한천구 외, 나일론 및 셀룰로스 섬유 혼입률 변화가 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 영향, 한국건축시공학회 논문집, 제7권 3호, 2007. 9, pp.83~90