

화재 피해를 입은 고강도 콘크리트 기둥의 보수공법 변화에 따른 내화특성

Fire Resistance of Repaired High Strength Concrete Column Damaged by Fire

박 천 진* 백 대 현** 인 기 호*** 여 인 환**** 민 병 렬***** 한 천 구*****

Park, Chun-Jin Back, Dae-Hyun In, Gi-Ho Yeo, In-Hwan Min, Byung-Yeol Han, Cheon-Goo

Abstract

This study analyzed fire-resistant characteristics according to changes in repair methods of PFH mixed high-strength concrete roof structures having undergone fire damage. The results of the study are as follows. First, as a repulsive characteristics of structures, the remaining repulsion was shown to increase following fire-resistance tests according to increases in depth of coverings. The results of the relationship between depth of coverings and remaining repulsion rates following fire-proofing tests showed a high correlation. At a covering depth of 67.3mm, remaining repulsion rate was estimated to be 100%. For fire-resistant characteristics following repairs of structure, as for spalling, severe separation was shown in the case of general plaster while general plaster + Metal Lath showed overall superior spalling prevention. For internal structure temperatures, general plaster showed max temperatures of 705°C, average temperatures of 636°C while general plaster + metal lath showed max temperature of 660°C and average temperature of 520°C, demonstrating lower temperature distributions than use of only general plaster. In conclusion, after removing the covering of structures damaged due to high temperatures of fires within high-strength concrete installations, the use of fire-resistant mortars and applying metal laths on surfaces of general plaster will provide superior fire-resistance performance in the occurrence of a 2nd fire.

키 워 드 : 고강도 콘크리트, 내화특성, 보수공법
Keywords : High Strength Concrete, Fire Resistance, Repair Method

1. 서 론

최근 건축물들이 고층화 되어감에 따라 건축물의 주요 구조부재 인 콘크리트 또한 고강도화 되어가고 있는 추세이다. 하지만 이러한 고강도 콘크리트는 화재 시 폭발발생이 용이한 것으로 보고되고 있는데, 고강도 콘크리트의 폭발을 방지하기 위하여 국내외적으로 많은 연구가 진행된 바 있다. 특히, 그 중에서 녹는점이 낮은 유기섬유를 고강도 콘크리트 내부에 일정 부피비로 혼입하여 화재 시 콘크리트 내부 수증기를 원활히 배출하여 폭발을 방지하는 공법이 각광받고 있다.

이에 본 연구팀에서는 고강도 콘크리트의 내화성능 향상을 목적으로 폴리론 하이브리드 화이버(이하 PHF, 폴리프로필렌+나일론)를 개발하였는데, 이를 혼입한 고강도 콘크리트 기둥 구조체를 제

작하여 내화시험을 진행한 결과 폭발방지 및 내화성능의 확보가 가능한 것을 확인할 수 있었다.

하지만 고온에 노출된 콘크리트는 표면부의 강도저하 및 콘크리트 파복의 균열을 수반하게 되는데, 이는 콘크리트 내구성의 저하를 초래할 수 있어서 그에 따른 보수대책이 반드시 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 PHF를 혼입한 고강도 콘크리트 기둥 구조체를 제작하여 화재를 상정한 내화시험을 실시한 다음 구조체의 파복을 제거하고 내화 모르터를 사용하여 일반미장 및 일반미장과 메탈라스 횡구속을 병용한 보수공법을 적용하여 재 내화시험 후 내화특성을 분석함으로써 향후 화재피해를 입은 고강도 콘크리트의 보수공법에 관한 기초적 자료로 활용하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

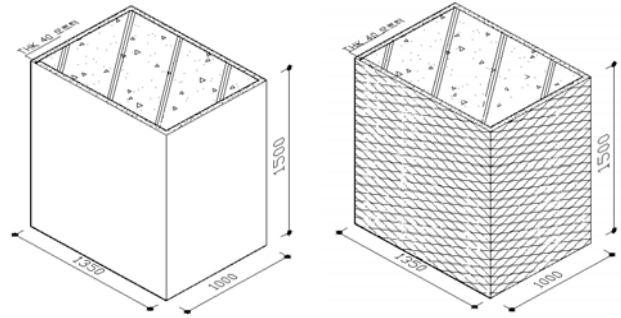
2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다.

* 청주대학교 건축공학과 석사과정, 정회원
** 청주대학교 건축공학과 박사과정, 정회원
*** 한국건설기술연구원 화재안전연구실 주임연구원, 정회원
**** 한국건설기술연구원 화재안전연구실 선임연구원, 정회원
***** 한국건설기술연구원 화재안전연구실 책임연구원, 정회원
***** 청주대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 정회원

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준	
배합 사항	모의 구조체	W/B(%)	1 27.5
		PHF 혼입율 (vol.%)	1 0.05
	내화 모르터	W/B(%)	1 20
		PVA 혼입율 (vol.%)	1 1.2
		보수 공법	2 · 일반미장 · 일반미장 + 메탈라스 2,3 T
실험 사항	경화 콘크리트	2 · 내화시험 전 - N형 슈미트 해머(표면) · 1차 내화시험 후 - N형 슈미트 해머 (표면, 15, 30, 40 mm깊이) · 2차 내화시험 후 - 폭발성상 - 내부온도이력	



(1) 일반미장 (2) 일반미장+메탈라스
그림 1. 모의 구조체



사진 1. 반발도 측정모습



사진 2. 구조체 보수모습

표 2. 레미콘 배합사항

배합비	단위재료량 (kg/m³)							
	W	OPC	BSC	S1	S2	G	AD	PHF*
	165	420	180	497	213	914	4.8	0.51

* PHF : Poylon Hybrid Fiber

표 3. 내화모르터 배합사항

배합비	W/C (%)	단위재료량 (kg/m³)			
		W	OPC	S	PVA*
C : S = 1 : 0.65	45	200	445	290	15.6

* PVA : Poly Vinyl Alcohol

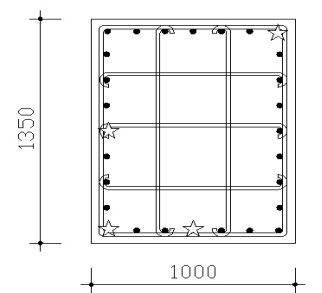
표 4. 섬유 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm³)	길이 (mm)	직경 (mm)	인장강도 (MPa)	융융점 (°C)
PP	0.91	19	0.04	560	160
NY	1.15	12	0.012	918	225
PVA	1.30	8	0.04	1600	220

즉, 배합사항으로 60 MPa급 고강도 콘크리트 1수준에 대하여, PHF를 혼입한 모의구조체 2개를 제작하여 1차 내화시험을 실시한 다음 보수공법 변화로써 내화 모르터(PVA섬유 1.2 vol.% 혼입)를 사용하여 일반미장 및 일반미장 + 메탈라스 2,3 T의 2 수준으로 실험계획 하였다. 실험사항으로 1차 내화시험을 실시하기 전-후의 구조체에서는 표면 및 피복깊이별 반발도를, 2차 내화시험을 실시한 구조체에서는 폭발 성상 및 내부온도이력을 측정하는 것으로 하였다.



사진 3. 구조체 내 화시험



☆ : 열전대 위치
그림 3. 열전대 매설위치

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 재료로서 고강도콘크리트는 국내 R사의 레미콘을 사용하였고, 화재 후 보수재료로써 내화모르터는 국내 W사의 것을 사용하였는데 그 레미콘 및 내화모르터의 배합사항은 표 2 및 3과 같다. 또한, 고강도 콘크리트 및 내화모르터의 내화성능 향상용 섬유로써 PP 및 NY는 국내 S사의 것을 사용하였고, PVA 섬유는 국내 W사의 것을 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 4와 같다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 1000 × 1350 × 1500 mm크기의 기둥 구조체 2개를 제작하여 내화시험을 실시한 후 구조체 4면의 피복을 40 mm깊이까지 일정한 단계별로 제거하면서 사진 1과같이 N형 슈미트해머로 반발도를 측정하였다. 즉, 측정위치는 표면,

피복깊이 15, 30, 40 mm에서 부재를 상·중하로 3등분하여 반발도를 측정하였다.

부재의 보수방법으로 구조체의 피복 제거 후 내화 모르터를 이용하여 그림 1 및 사진 2와 같이 일반미장 및 일반미장과 메탈라스 황구속을 병용한 2 수준을 40 mm두께로 마감하였다

내화시험은 사진 3과 같이 한국 건설기술연구원 바닥 가열로에 구조체를 배치하고 KS F 2257-1의 표준가열곡선에 의거 실시하였다. 또한 내부온도이력은 그림 3과같이 구조체에 미리 매설한 열전대를 이용하여 측정하였고, 폭렬유무는 육안으로 관찰하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 구조체의 반발도 특성

그림 4는 내화시험 전 구조체의 표면반발도와 내화시험 후 표면 및 피복 깊이에 따른 반발도를 정규분포곡선으로 나타낸 것이다.

먼저 내화시험을 하기 전 표면 반발도는 평균 약 82로 나타났고, 내화시험 후에는 표면 반발도가 약 23정도로 매우 낮게 나타났다. 또한 피복깊이 15 mm에서는 약 41, 30 mm에서는 약 48, 40 mm에서는 약 57로 피복 깊이가 증가함에 따라 비교적 높은 평균값을 나타내었는데, 이는 구조체 콘크리트의 수열온도가 콘크리트 내부로 들어갈수록 표면보다 상대적으로 낮아지는 것에 기인한 것으로 사료된다.

그림 5는 내화시험 전 구조체의 표면 반발도에 대한 내화시험 후 구조체의 표면 및 피복 깊이에 따른 잔존반발도율을 나타낸 그래프이다. 전반적으로 피복 깊이가 증가할수록 잔존반발도율 역시 증가하는 것으로 나타났다. 즉, 표면의 잔존반발도율은 약 27%, 피복깊이 40 mm는 약 78 %로 표면부에 비하여 51 %가 증가하였

다. 또한, 내화시험 후 구조체의 피복깊이와 잔존반발도율의 관계를 회귀식으로 도출한 결과 상관계수가 0.921의 높은 값을 나타내어 실용상 큰 문제가 없는 것으로 나타났다. 참고적으로, 도출된 회귀식으로부터 100 % 반발도를 나타내는 콘크리트의 피복깊이는 67.3 mm인 것으로 추정되었다.

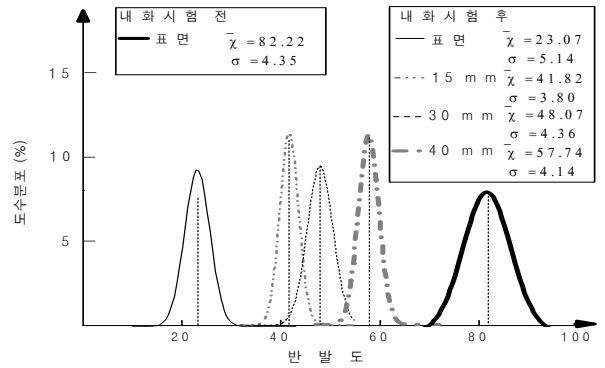


그림 4. 내화시험 후 피복깊이에 따른 구조체의 반발도

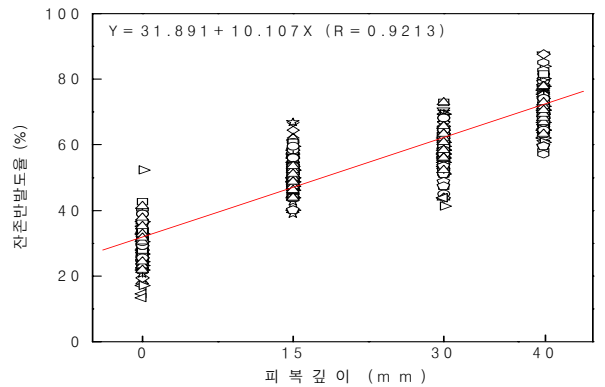
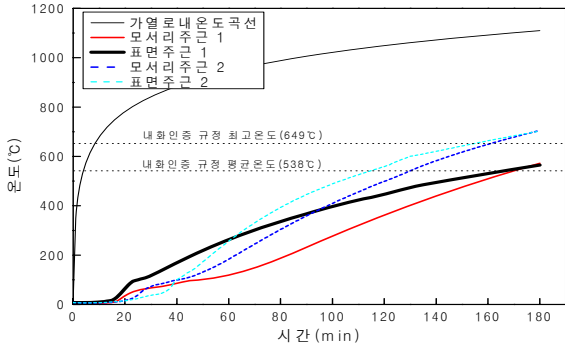


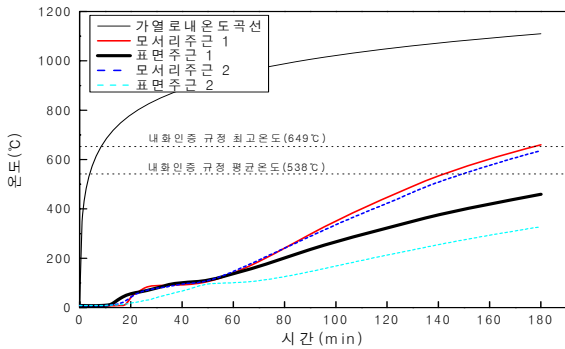
그림 5. 내화시험 후 피복깊이에 따른 구조체의 반발도

구분	내화시험전	내화시험 후			
		A	B	C	D
일반 미장					
일반 미장 + 메탈라스					

사진 4. 보수 공법 변화에 따른 폭렬성상



(1) 일반미장



(2) 일반미장+메탈라스

그림 6. 보수 공법 변화에 따른 구조체 내부온도이력

3.2 내화특성

사진 4는 화재 후 콘크리트의 보수공법 변화에 따른 내화시험 후 폭발현상을 나타낸 것이다.

먼저, 일반미장의 경우는 심한 탈락현상이 발생하였고, 또한 탈락된 모르터 마감부분에서는 일부 섬유가 녹지 않은 모습을 확인할 수 있었는데, 이는 콘크리트 구조체와 모르터의 접촉면이 고온에 의한 열응력 차이로 섬유가 고온에 녹기 전에 모르터 마감면이 먼저 박리된 것으로 사료된다. 한편, 일반미장 + 메탈라스의 경우에는 최대깊이가 약 20 mm 정도의 국부적인 박리현상이 일어났지만 구조체 콘크리트는 비교적 양호한 내화성능을 나타내었는데, 이는 메탈라스가 구조체 및 미장마감부분을 감싸고 있어, 이에 따른 미장면 탈락현상을 방지한 황구속 효과에 기인한 것으로 분석된다.

그림 6은 보수공법 변화에 따른 구조체 내부의 온도이력을 나타낸 그래프이다.

전반적으로 시험 시작 약 15분경에서 급격한 온도상승을 나타내어 박리가 시작된 것을 알 수 있었고, 또한 일반미장의 경우는 주근부 최고온도 705°C, 평균온도 636°C로 나타났고, 일반미장 + 메탈라스의 경우는 주근부 최고온도 660°C, 평균온도 520°C로 일반미장의 경우보다 낮은 온도분포를 나타내었는데, 이는 메탈라스와 구조체의 사이에 있는 내화모르터 층이 메탈라스의 황구속 효과에 의하여 박리되지 않아 고온을 차단함으로써 구조체의 주근부에 매설되어 있는 열전대를 보호함에 기인한 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 화재 피해를 입은 PFH 혼입 고강도 콘크리트 기둥 구조체의 보수 공법 변화에 따른 내화특성을 분석한 것으로 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 구조체의 반발도 특성으로 먼저, 구조체의 피복 깊이가 증가함에 따라 내화시험 후 잔존반발도는 증가하는 것으로 나타났다. 즉 구조체의 잔존반발도율은 표면에서 약 23 %, 피복 깊이가 40 mm에서 약 78 %로 51 %만큼 증가하였다. 또한 내화시험 후 구조체의 피복 깊이와 잔존반발도율의 관계를 회귀식으로 도출한 결과 상관계수가 0.921의 높은 값을 나타내었는데 100 %의 잔존반발도율을 나타내는 구조체의 피복 깊이는 67.3 mm인 것으로 추정되었다.
- 2) 구조체의 보수 후 내화특성으로 먼저, 폭발현상은 일반미장의 경우는 미장부분이 심한 박리 및 탈락현상을 나타내었으며, 일반미장 + 메탈라스의 경우는 국부적인 박리현상이 일어났지만 전체적으로 양호한 폭발방지성상을 나타내었다. 구조체 내부온도이력으로 일반미장은 주근부 최고온도 705°C, 평균온도 636°C로 나타났고, 일반미장+메탈라스는 주근부 최고온도 660°C, 평균온도 520°C로 일반미장의 경우보다 낮은 온도분포를 나타내었다.

이상을 종합하면, 고강도 콘크리트의 화재 후 보수공법으로 고온에 의하여 손상된 구조체의 피복을 제거하고 내화 모르터를 사용하여 일반적인 미장방법에 메탈라스를 표면쪽으로 황구속 시켜 줄 경우에는 향후 발생할 수 있는 2차 화재 시 우수한 내화성능을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 배정렬, 황인성, 한민철, 한천구, 반호용, 메탈라스로 황구속된 고성능 콘크리트의 화재시 폭발방지성능에 관한 기초적 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 구조계, 제22권 제1호, pp.357~360, 2002.4
2. 이종원, 최광호, 홍갑표, 고온에 노출된 콘크리트의 손상 깊이에 따른 색상변화와 잔존압축강도, 대한건축학회 논문집 구조계 제22권 제8호, pp.77~84, 2006.8
3. 한천구, 김성수, 김상식, 裴長春, 폴리프로필렌섬유의 길이조합 및 각종 유기섬유의 종류조합 변화에 따른 고강도 콘크리트의 폭발방지, 대한건축학회 논문집 구조계, 제24권 제2호, pp.61~68, 2008.2
4. 한천구, 황인성, 정덕우, PP섬유 혼입 및 황구속에 의한 고성능 콘크리트의 폭영 방지 성능, 대한건축학회 논문집 구조계, 제19권 제11호, pp.61~68, 2003.1
5. 황인성, 김기훈, 김경민, 이진우, 지석원, 한천구, 마감재 변화에 따른 고성능 RC 기둥의 내화특성에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제24권 제2호, pp.519~522, 2004.10