

폴리론 화이버를 혼입한 고강도 RC 보 및 슬래브의 내화특성 분석을 위한 Mock-Up 실험

Mock-Up Test for the Fire Resistance Analysis of High Strength RC Beam and Slab Using the Polylon Fiber

손 호 정* 황 동 규** 한 창 평*** 한 민 철**** 양 성 환***** 한 천 구*****
Son, Ho Jung Hwang, Dong Gyu Hann, Chang Pyung Han, Min Cheol Yang, Seong Hwan Han, Cheon Goo

Abstract

The objective of this study is to analyze the insulation characteristics of the polylon hybrid fiber inserted high-strength RC beam and slab produced as a single body and the results of this study can be summarized as follows. In the spalling mechanism as an insulation characteristic, the slab of the single body type specimen shows an exposure in concrete covers at the center of slab and that leads to the spalling, which exposures reinforcing bars. In the case of the beam, the spalling was presented at several sections as a type of peel spalling before and after 10 minutes from the insulation test. Whereas, although the internal temperature history of concrete represents the highest range as 581°C in the case of the center of the bottom of beam base, it can be considered that it satisfies the regulation of insulation certification.

키 워 드 : 고강도 콘크리트, 폴리론 화이버, 내화특성, 폭렬
Keywords : High Strength Concrete, Polylon Fiber, Fire Resistance, Spalling

1. 서 론

초고층 건축구조물에 주로 사용되고 있는 고강도 콘크리트는 보통 콘크리트에 비하여 강도 및 내구성이 우수한 장점을 가지고 있는 반면, 화재 시 콘크리트의 내부조직이 치밀하여 폭렬이 발생하므로서 경우에 따라서는 건축물이 붕괴될 수도 있는 등 치명적인 결함을 가지고 있다.

이러한 폭렬현상을 방지하기 위한 방법으로는 내열성 마감재료 등을 이용하여 콘크리트를 화기로부터 차단하는 방법, 횡구속 효과에 의해 비산을 방지하는 방법 등 여러 방법이 알려져 지고 있으나 이중 시공성 및 경제성 측면에서 가장 효과적인 것은 열에약한 유기섬유 혼입 방법으로 알려져 있다.

그러나 현재까지 보고된 유기섬유 혼입에 의한 폭렬방지 공법은 주로 공시체 조건 또는 고강도 RC 기둥을

상정한 모의구조체가 주를 이루고 있을 뿐 보 또는 바닥 콘크리트를 대상으로 장시간 가열에 의한 폭렬방지 및 내화성능에 대

한 검토는 미흡한 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 기존 연구에서 폭렬방지에 가장 효과가 있는 것으로 알려진 폴리론 화이버(Polylon Fiber : NY+PP) 혼입 공법을 고강도 RC 보 및 슬래브 부재에 적용하여 내화특성을 분석 함으로써 화재 시 고강도 콘크리트 구조물의 내화 안전성 향상에 기여하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다.

즉, 실험요인으로 W/B는 25 %인 고강도 레미콘 1수준에 대하여 폴리론 화이버 0.05 %를 혼입하여 구조체 관리용과 표준양생용 2수준으로 나누어 공시체를 제작하고, 그림 1과 같이 실구조체를 상정한 모의 구조체로 보 및 슬래브를 일체형으로 제작하였다. 또한 모의 구조체의 콘크리트는 목표 슬럼프플로우 700±100 mm, 목표 공기량 3.0±1.0 %를 만족하도록 하였다.

실험사항으로 굳지 않은 콘크리트에서는 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적질량을 측정하였고, 내화시험 후 내부 온도이력 및 폭렬유무를 측정하는 것으로 하였다.

* 청주대 대학원 석사과정, 정회원
** 두산건설(주) 기술연구소 부장, 정회원
*** (주)휴대임건축사사무소, 고문, 공학박사, 정회원
**** 청주대 건축공학부 조교수, 공학박사, 정회원
***** 인천전문대학 건축과 교수, 공학박사, 정회원
***** 청주대 건축공학부 교수, 공학박사, 정회원

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준	
배합 사항	W/B(%)	1	25
	목표 슬럼프플로우(mm)	1	700 ± 100
	목표 공기량(%)	1	3.0 ± 1.0
	혼화재 치환율(%)	1	OPC : FA : SF = 7 : 2 : 1
	섬유 혼입율(%)	1	•폴리론 화이버 0.05 % (Polylon Fiber : NY+PP)
부재 사이저	보 슬래브	2	500×700×4 500 mm
		2	200×2 300×4 500 mm
실험 사항	굳지 않은 콘크리트	2	•슬럼프 플로우 •공기량 •압축강도
	경화 콘크리트	3	•폭렬성상 •내부온도이력

표 2. 레미콘 배합사항

W/B (%)	단위수량 (kg/m³)	S/a (%)	AE제 (%)	SP제 (%)	질량배합 (kg/m³)				
					C	FA	SF	S	G
25	160	45	0.038	1.20	448	128	64	660	837

표 3. 섬유의 물리적 특성

구분	형상비	길이 (mm)	직경 (mm)	밀도 (g/cm³)	인장강도 (MPa)	융해점 (°C)
NY 섬유	1 000	12	0.012	1.15	918	220
PP 섬유	475	19	0.04	0.91	560	160

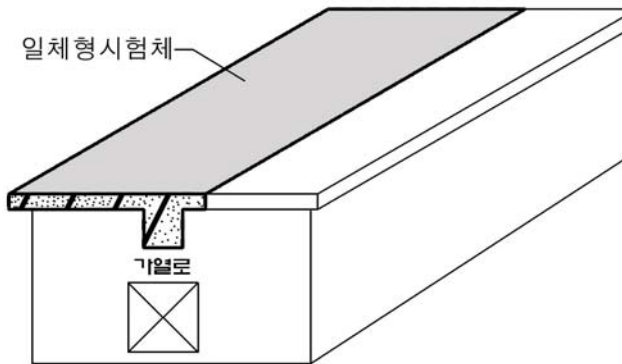


그림 1. 바닥전용 가열로 내의 시험체 배치 계획

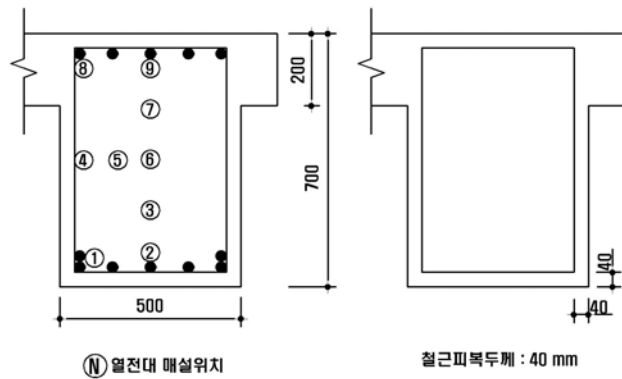


그림 2. 열전대 매설 위치

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 플로우는 KS F 2594 규정에 의거하여 실시하였고, 공기량 및 단위용적질량은 KS F2421 및 KS F 2409 규정에 의거 실시하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축 강도는 계획된 재령에서 KS F 2405의 시험방법에 의거 실시하였고, 내화 시험은 한국건설기술 연구원의 보·바닥가열로에 시험 체를 배치한 후 ISO 834의 표준 온도가열곡선에 의하여 3시간 내화시험을 실시 하였다. 내화시험 후 폭렬성상은 육안으로 관찰하였고, 내부온도이력은 시험체에 미리 매설한 K 타입 열전대를 이용하여 측정하였다.

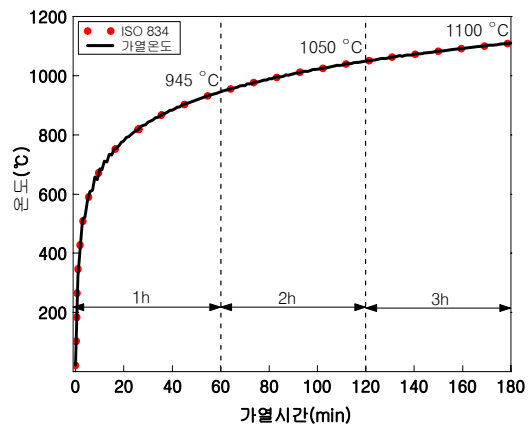


그림 3. ISO 834 표준온도가열곡선

2.2. 사용재료

본 실험의 사용 재료로서 레미콘은 국내 H사산을 사용하였고, 콘크리트의 배합사항은 표 2와 같다.

폭렬 방지용 유기섬유로서 NY 섬유 및 PP 섬유는 국내 W사산 제품을 사용하였고, 그 물리적 성질은 표 3과 같다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 콘크리트의 기초적 특성

표 4는 보 및 슬래브 부재 용 콘크리트의 실험 결과를 나타낸 것이다.

먼저 모재 콘크리트의 슬럼프 플로우는 675 mm로 목표 범위

인 700 ± 100 mm를 만족하는 것으로 나타났고, 공기량 역시 2.4%로 목표 공기량 3.0 ± 1.0 %의 범위를 만족하였다.

그림 4는 재령별 압축강도를 나타낸 것이다. 양생 조건에 따라 표준양생 공시체에 비하여 구조체 관리용 공시체가 다소 높은 강도 범위를 나타내었으며, 재령 28일 압축강도는 모두 목표 범위인 설계기준강도 60 MPa를 충분히 만족하는 것으로 나타났다. 즉, 재령 28일에서의 압축강도로 표준양생 공시체의 경우 80.1 MPa, 구조체관리용 공시체의 경우 94.8 MPa로 나타났고, 91일에서는 표준양생 공시체의 경우 101.6 MPa, 구조체관리용 공시체의 경우 109.6 MPa로 나타났다.

표 4. 모재 콘크리트의 실험 결과

구분	섬유 무혼입
슬럼프플로우(mm)	675
공기량(%)	2.4
단위용적질량(kg/m^3)	2 422

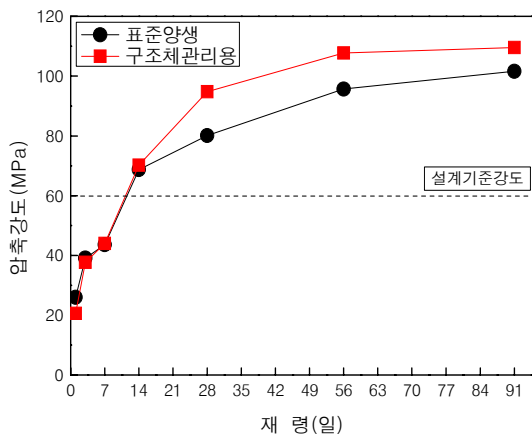


그림 4. 양생조건별 재령 경과에 따른 압축강도

3.2 내화특성

사진 2 및 사진 3은 폴리론 화이버 혼입에 따른 일체형 시험체의 폭렬성상을 나타낸 것이다.

먼저, 일체형 시험체의 슬래브 부분은 극심한 고온에 노출되면서 슬래브 중앙에 콘크리트 피복이 탈락되어 내부철근이 노출되는 폭렬 현상이 발생하였고, 보의 경우 내화시험 10분 전후로 여러 번의 폭렬현상으로 인하여 보의 여러 면에 박리폭렬이 발생하는 것으로 나타났다.

또한 3시간 내화 후 콘크리트의 내부온도 이력으로는 먼저 슬래브 상부의 경우 화기에 직접적으로 큰 영향을 받지 않아 3시간 내화 후 최고온도 113°C를 나타낸 반면 화기에 직접 노출되는 슬래브 하부의 경우에는 85분 경과 후 내화인증 최고온도 범위인 64

9°C를 초과하였고, 180분 경과 후 최고온도가 860 °C를 나타냈다. 한편 보의 경우는 여러 번의 박리 폭렬이 발생하였으나, 콘크리트의 내부온도이력은 전반적으로 양호한 경향을 나타내었다.



사진 1. 보 및 슬래브의 내화실험 모습



사진 2. ISO 온도가열 곡선에 따른 시험체의 폭렬 성상(슬래브)



사진 3. ISO 온도가열 곡선에 따른 시험체의 폭렬 성상(보)

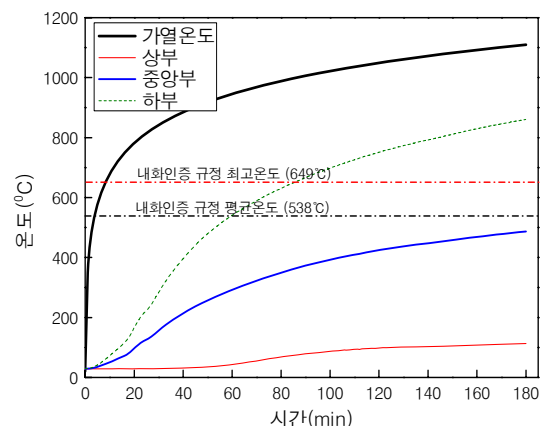


그림 5. 내화시험 후 내부 온도이력(슬래브)

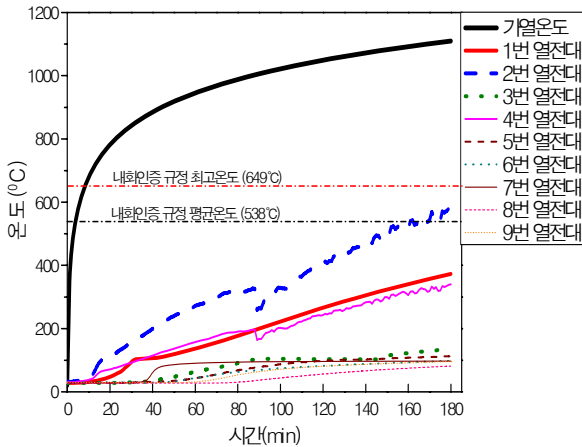


그림 6. 3시간 내화실험후 내부 온도이력(보)

즉, 화기에 직접적인 영향을 받는 보 바닥 표면의 경우 가장 높은 온도이력을 나타내어 가열시간 180분에 최고온도 581°C도를 나타내었지만, 내화인증 규정의 최고온도 649°C에는 미치지 않는 것으로 나타났고, 표면 및 모서리 부분의 경우 다소 높은 온도 범위를 나타내었지만 모두 내화 인증 규정에는 만족하는 것으로 나타났다. 또한 화기에 직접 노출되는 바닥 표면(2번열전대)과 화기에 노출되지 않는 보 상부(9번 열전대)의 내부온도 차는 485°C로 화기에 노출되지 않는 보의 상부 온도가 하부에 비하여 낮은 것을 확인 할수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 일체형으로 제작한 폴리론 화이버 혼입 고강도 RC 보 및 슬래브의 내화특성을 분석하기 위한 연구로 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 콘크리트의 기초적 특성으로, 먼저 슬럼프플로우는 675 mm로 목표 범위인 700±100 mm를 만족하는 것으로 나타났고, 공기량 역시 2.4 %로 목표 공기량 3.0±1.0 %의 범위를 만족하였다. 양생조건 변화에 따른 압축강도는 80 MPa 이상으로 설계기준강도 60 MPa를 만족하였는데, 표준양생 공시체에 비하여 구조체 관리용 공시체가 다소 높은 강도 범위를 나타내었다.
- 2) 내화특성으로 폭발성상은 일체형 시험체의 슬래브 부분은 극심한 고온에 노출되면서 슬래브 중앙에 콘크리트 피복이 탈락하여 내부철근이 노출되는 폭발 현상이 발생 하였다.
- 3) 보의 경우는 내화시험10분 전후에서 보의 여러 면에 박리 폭발이 발생하였다. 단, 콘크리트의 내부온도이력은 보바닥

면의 중앙인 경우 최고온도는 581°C로 가장 높은 온도 범위를 나타내었지만 내화인증규정에는 만족하는 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 '콘크리트 코리아연구단'에서 주관하여 시행한 2006년도 건설핵심기술연구개발사업 「05 - CCT - D11, 고성능·다기능 콘크리트의 개발 및 활용기술」 지원으로 수행되었으며, 이에 감사한다.

참 고 문 헌

1. 고강도 콘크리트의 기동·보의 내화성능관리기준, 국토해양부, 2008
2. 김무한, 윤현도, 유재철, 강선중, 김규용, 초고강도 콘크리트의 내화성능에 관한 일본건설사의 연구동향 및 성능인증 현황 콘크리트 학회지 제17권 제5호, 2005
3. 한천구, 비폭렬성 콘크리트, 콘크리트 학회지, pp.5~10, 1998
4. 한천구, 양성환, 지식원, 김호림, 배장춘, 장기현, NY과PP 섬유이 길 이조합 및 혼입률 변화에 따른 고성능 콘크리트의 폭발방지 특성, 대한건축학회 논문집(구조계), 제24권 제11호, pp.69~77, 2008