

표준화재 재하조건에서 Fiber Cocktail을 혼입한 고강도 콘크리트 기둥의 강도별 화재거동에 관한 연구

A Study on Fire Performance of HPC Column with Fiber Cocktail in KS Fire Curve under Loading Condition

김 흥 열*, 채 한 식**, 김 형 준***, 전 현 규****, 염 광 수****
Kim, Heung-Youl Chae, Han-Sik Kim, Hyung-Jun Jeon, Hyun-Kyu Youm Kwang-Soo

ABSTRACT

The material and mechanical properties in the high temperature area of 40 to 100 MPa high strength concrete structural member was identified based on mixing of fiber cocktail and the structural element fire behavior simulation through the finite element analysis method (ABAQUS) was interpreted. The results are as follows.

First, it was interpreted that the test specimen with concrete fiber cocktail mixed was more controllable in the maximum shrinkage than the one with concrete fiber cocktail not mixed the controllable range was about 25% to 55%. This means that shrinkage is controllable through mixing of fiber cocktail for the high strength concrete columns. Second, this study didn't consider the explosive spalling by the pore pressure within high strength concrete. If the properties for the pore pressure within high strength concrete is considered and database by strength and by inner temperature of various high strength concrete and steel materials are established in the future, it is interpreted that the technical foundation will be laid for performance based design of fire resistant construction.

요 약

Fiber Cocktail을 혼입유무에 따른 40~100 MPa 고강도 콘크리트 구조부재의 고온영역에서 재료적 물리적·역학적 특성을 규명한 후, 유한요소해석법(ABAQUS)을 적용한 구조요소 화재거동 시뮬레이션 해석을 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 콘크리트 Fiber Cocktail을 혼입한 실험체는 무혼입 실험체에 비해 최대수축이 제어되는 것으로 해석되었으며, 그 제어 범위는 혼입실험체 대비 약 25%~55%로 분석되었다. 이는 고강도 콘크리트 기둥에서 Fiber Cocktail 혼입을 통해 기둥변위 수축제어가 가능한 것으로 분석되었다. 둘째, 본 연구는 고강도 콘크리트의 내부 공극압에 의한 폭발 특성이 반영되지 않은 화재 거동 해석으로서 향후 콘크리트 내부 공극압에 대한 특성 반영, 다양한 고강도 콘크리트 및 강재의 강도별, 내부온도별 재료 특성 DB가 구축된다면 성능기반 내화구조 설계를 위한 기술적 기반이 이루어질 것으로 판단된다.

* 정희원, 한국건설기술연구원, 선임연구원, 공학박사

** 정희원, 한국건설기술연구원, 연구원, 공학석사

*** 정희원, (주)용마엔지니어링, 연구원, 공학석사

**** 정희원, (주)GS건설 기술연구소, 과장, 공학박사

1. 서론

1.1 연구의 목적

영국, 미국 등 화재관련 선진국들은 최근 30여 년간 발전된 화재설계 성능기반 대응기술에 관한 연구를 바탕으로 시험장비의 여건, 부재의 크기 등으로 인하여 실제 화재 평가가 불가능한 구조에 대한 성능적 화재안전 설계를 수행하고 있다.

이에 본 연구는 폭렬저감재인 Fiber Cocktail이 혼입된 40~100 MPa의 고강도 콘크리트에 대하여 선행 실험결과를 바탕으로 강도영역별 구조부재의 열거동 해석을 통해 화재시 고강도 콘크리트 구조부재의 구조적 안전성을 파악하고자 하였다.

1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구는 선진외국의 연구성과 분석·검토를 기반으로 한 명확한 이론적 규명 및 실험/해석 변수 산정을 선행연구로 수행하고, 이를 토대로 관련 고온영역에서 재료의 물리적·역학적 특성을 규명한 후, 유한요소해석법(ABAQUS)을 적용한 구조요소 화재거동 기초 시뮬레이션 해석을 수행하고자 하였다. 고강도 콘크리트의 전열해석기법을 토대로 화재거동을 예측할 수 있는 FE해석으로 적용범위를 확대하여, 표준화재 조건에서 구조요소의 전반적인 화재거동 특성을 시뮬레이션 하고자 하였다.

2. 시뮬레이션의 입력 데이터

2.1 표준화재 조건 및 배합계획

시뮬레이션에 적용된 화재조건은 일반적으로 건축물 화재조건을 대표하는 ISO 834 및 KS F 2257에서 규정하고 있는 “cellulose fire”를 기반으로 한 표준화재곡선으로 하였다.

2.2 입력 데이터

기 수행된 40~100 MPa 고강도 콘크리트의 내부온도에 따른 열팽창률 특성은 표 1, 압축강도 저감계수 특성은 표 2, 탄성계수 특성은 표 3 및 강재의 열특성은 표 4와 같으며, Fiber Cocktail 혼입유무에 따른 화재거동 해석의 입력 데이터로 사용되어 졌다.

표 1. 고강도 콘크리트의 열팽창률 특성(mm/mm×10⁻⁶)

콘크리트 내부온도 (°C)	40 MPa		50 MPa		60 MPa		80 MPa		100 MPa	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
100	1102	871	942	972	987	1054	1028	999	1147	9920
200	1537	1754	1245	1736	1859	1777	1435	1388	1370	13870
400	3552	4099	2755	4490	4761	4257	3084	3275	2666	35470
600	9154	8029	6497	11443	12365	10540	8688	9096	7110	10572

표 2. 고강도 콘크리트의 압축강도 저감계수(%)

콘크리트 내부온도 (°C)	40 MPa		50 MPa		60 MPa		80 MPa		100 MPa	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
100	0.820	0.723	0.519	0.625	0.523	0.636	0.482	0.546	0.355	0.545
200	0.904	0.881	0.719	0.771	0.603	0.906	0.600	0.770	0.500	0.792
400	0.830	0.830	0.678	0.743	0.731	0.844	0.697	0.769	0.621	0.761
600	0.312	0.384	0.272	0.400	0.343	0.369	0.159	0.300	0.250	0.329

표 3. 고강도 콘크리트의 탄성계수 (N/m)

콘크리트 내부온도 (°C)	40 MPa		50 MPa		60 MPa		80 MPa		100 MPa	
	I	II	V	VI	IX	X	X III	X IV	X V	X VI
100	10688277096	10505970420	10077374602	10308539869	10086518385	10331086371	9990860455	10138096963	9665908425	10136880066
200	10837565553	10797610074	10498197634	10598533560	10262886162	10841674307	10256169008	10596141051	10033452378	10636657260
400	10706443081	10706443081	10417244928	10543948358	1,520878637	10732070840	10455068141	10594640848	10299742537	10579189209
600	9543216097	9745719989	9421357710	9787182712	9631580044	9704597216	9017850499	9507484440	9350000000	9592831213

표 4. 고온영역하 강재열특성(철근)

실험체 온도(°C)	탄성계수 (N/m)	열전도율 (W/M · K)	열팽창계수 (mm/mm × 10 ⁻⁶)	비열 (J/kg °C)
205	1.89343E+11	42.634	1270	500.2
411	1.9251E+11	39.758	1350	611
617	1.11282E+11	34.849	1440	786.7

3. 고강도 콘크리트 기둥의 해석 모델링 및 결과

3.1 판정 기준

KS F 2257의 재하조건에서는 기둥 부재의 구조적 안전성을 허용 변형량과 허용 변형속도를 모두 초과 할 경우에 구조적 붕괴상태로 판정하고 있으며, 변형률은 전체 기둥 변형량의 L/30을 초과한 이 후에 적용하고 있다. 이에 따라 허용 변형량은 100 mm, L/30이후에의 성능 기준을 제시하는 허용변형 속도는 9 mm/min으로 적용 하였다.

3.2 해석 모델링

해석모델링 산정을 위한 모델링 설계계획은 “표준화재조건에서 Fiber Cocktail을 혼입한 고강도 콘크리트 기둥의 강도별 전열 해석에 관한 연구”와 동일한 조건으로 수행되어 졌다.

3.3 해석 결과

제시된 고강도 콘크리트 재료물성을 토대로 ABAQUS 6.7.1버전으로 구조부재의 거동 해석을 수행 하였으며, 모델요소는 3CD8I로 MESH하였다. 해석된 거동값은 40, 50, 60 MPa 고강도 콘크리트의 경우에는 실험값과 비교하였으며, 80, 100 MPa 고강도 콘크리트의 경우에는 해석값만을 제시하였다.

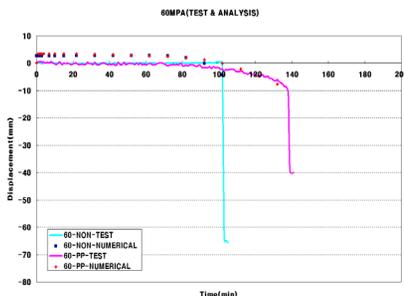


그림 1. 60 MPa 실험값과 해석값의 거동 특성 비교

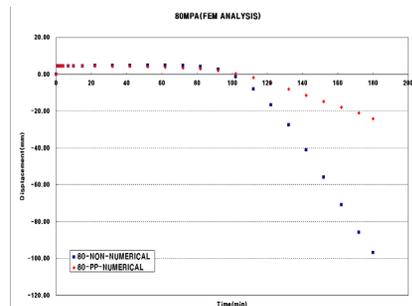


그림 2. 80 MPa 해석값의 거동 특성 비교

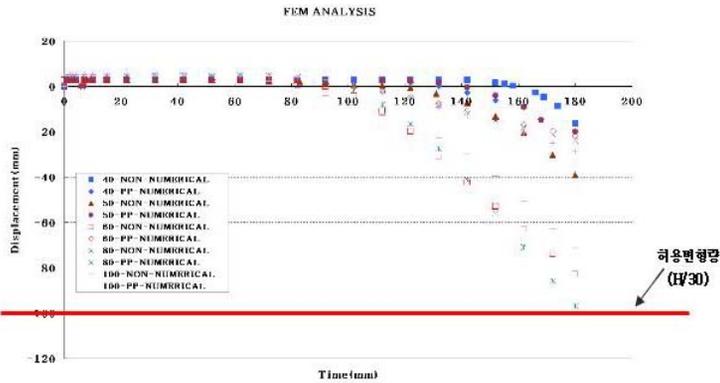


그림 3. 거동해석을 통한 고강도 콘크리트 기둥의 내화성능

Fiber Cocktail이 혼입되지 않은 60 MPa 해석모델과 80 MPa 모델의 변형경향은 거의 140분 화재 노출시까지 유사하게 나왔으며, 그 이후에는 MODEL-VII의 기둥 축소성향이 증대하여 최대 96.8 mm 까지 기둥 변형이 진행되었다. 100 MPa 해석모델인 IX, X의 경우, 강도증가로 인한 하중재하가 높음에도 불구하고, 80 MPa 모델보다 강성효율이 높은 것으로 해석되었다.

Fiber Cocktail을 혼입한 콘크리트의 변형은 MODEL-II, IV(40 MPa, 50 MPa)의 경우 유사한 처짐 경향을 나타내는 것으로 해석되었다. 또한 MODEL-VIII, X(80 MPa, 100 MPa)의 경우 약 100분정도에 화재로 인한 강도저하로 인해 기둥축소가 시작되는 것으로 해석되었다.

4. 결론

40~100 MPa 고강도 콘크리트의 내부온도별 재료특성을 바탕으로 콘크리트 구조부재의 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 화재 거동 특성을 분석하고 이를 실제 구조부재의 내화성능 평가 결과와 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 콘크리트 Fiber Cocktail을 혼입한 실험체는 무혼입실험체에 비해 최대수축이 제어되는 것으로 해석되었으며, 그 제어 범위는 혼입실험체 대비 약 25%~55%로 분석되었다. 이는 고강도 콘크리트 기둥에서 Fiber Cocktail 혼입을 통해 기둥변위 수축제어가 가능한 것으로 분석되었다.
- (2) 본 연구는 고강도 콘크리트의 내부 공극압에 의한 폭발 특성이 반영되지 않은 화재 거동 해석으로서 향후 콘크리트 내부 공극압에 대한 특성 반영, 다양한 고강도 콘크리트 및 강재의 강도별, 내부온도별 재료 특성 DB가 구축된다면 성능기반 내화구조 설계를 위한 기술적 기반이 이루어질 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 건설교통부 지원 건설기술혁신사업(06건설핵심 D07 - CFT구조의 내화성능 평가 및 표준화 추진 기술 개발)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. V.K.R. Kodur, T.C. Wang, F.P. Cheng, " Predicting the Fire Resistance Behaviour of High Strength Concrete Column", Cement & Concrete Composite 26 pp141-153, 2004.