

표준화재조건에서 Fiber Cocktail을 혼입한 고강도 콘크리트 기둥의 강도별 전열특성에 관한 연구

A Study on Thermal Analysis with Strength Characteristics of HPC Column with Fiber Cocktail in KS Fire Curve

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

To carry out this study efficiently, the material, physical and mechanical properties of the existing high temperature area was identified and the thermal transportation of structural elements was carried out through the finite element analysis method(ABAQUS) for 40 to 100 MPa high strength concrete based on Fiber Cocktail mixing. The results are as follows.

First, it was analyzed that 40, 50 and 60 MPa high strength concretes have a thermal transportation properties similar to the analysis model of 30 MPa normal concrete. Second, it was analyzed that the analysis model of 80 and 100 MPa high strength concrete have slightly lower thermal transportation properties compared to normal model. Third, 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

본 연구의 효율적 연구수행을 위해 우선 관련 선진외국의 연구성과 분석·검토를 기반으로 한 명확한 이론적 규명 및 실험/해석 변수 산정을 선행연구로 수행하고, 이를 토대로 관련 기 수행된 고온영역 재료적 물성·역학적 특성을 규명한 후 Fiber Cocktail 혼입 유무에 따른 40~100 MPa 고강도 콘크리트에 대한 유한요소해석법(ABAQUS)을 적용한 구조요소 전열 시뮬레이션 해석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 40, 50, 60 MPa의 고강도 콘크리트는 30 MPa 보통강도 콘크리트와 해석모델이 유사한 전열특성 경향을 나타내고 있는 것으로 해석되었다. 둘째, 80, 100 MPa의 고강도 콘크리트의 해석모델은 보통강도 모델에 비해 약간 낮은 성향의 전열특성을 나타내는 것으로 해석되었다.

-
- * 정회원, 한국건설기술연구원, 선임연구원, 공학박사
 - ** 정회원, 한국건설기술연구원, 연구원, 공학석사
 - *** 정회원, (주)용마엔지니어링, 연구원, 공학석사
 - **** 정회원, (주)GS건설 기술연구소, 과장, 공학박사

1. 서론

1.1 연구의 목적

고강도 콘크리트의 고온 내화성능 평가는 실험장비 재하능력의 한계, 높은 시험 비용 등으로 인한 반복적인 수행의 어려움 때문에 화재실험과 수치해석 방법의 병행이 요구되며, 이는 관련 변수의 영향성 및 민감성 분석을 기반으로 한 수치해석을 통한 성능적 화재안전 설계법의 개발로 귀결된다.

이에 본 연구는 폭발저감재인 Fiber Cocktail이 혼입된 40~100 MPa의 고강도 콘크리트에 대하여 선행 실험결과를 바탕으로 강도영역별 전열해석을 통해 화재시 고강도 콘크리트 구조부재의 열특성을 파악하고자 하였다.

1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구의 효율적 연구수행을 위해 우선 관련 선진외국의 연구성과 분석·검토를 기반으로 한 명확한 이론적 규명 및 실험/해석 변수 산정을 선행연구로 수행하고, 이를 토대로 기 수행된 고온영역에서 재료의 물리적 특성 규명을 규명한 후 유한요소해석법(ABAQUS)을 적용한 구조요소 전열 시뮬레이션 해석을 수행하였다.

2. 시뮬레이션의 입력 데이터

2.1 표준화재 조건

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

2.2 재료 실험 데이터

(1) 배합계획

Fiber Cocktail의 혼입 유무에 따른 40~100 MPa 고강도 콘크리트의 배합계획은 표 1.과 같다.

표 1. 고강도 콘크리트 배합계획

규격	W/C (%)	S/a (%)	Fiber Cocktail		단위 재료량(kg/m ³)				
			PP섬유 (kg/m ³)	강섬유 (Vol. %)	W	C	F/A	S/F	AD(%)
I - 25-400-23(F/A:0%)	35	47	0	0	163	466	-	-	1.4
II - 25-400-23(F/A:0%)	35	47	0.5	0.5	163	466	-	-	1.4
III - 25-400-23(F/A:15%)	35	47	0	0	163	396	70	-	1.4
IV - 25-400-23(F/A:15%)	35	47	1.0	0.5	163	396	70	-	1.4
V - 25-500-23(F/A:0%)	30	45	0	0	163	544	-	-	1.4
VI - 25-500-23(F/A:0%)	30	45	0.5	0.5	163	544	-	-	1.4
VII - 25-500-23(F/A:15%)	30	45	0	0	163	462	82	-	1.4
VIII - 25-500-23(F/A:15%)	30	45	1.0	0.5	163	462	82	-	1.4
IX - 20-600-23(F/A:0%)	27.5	45	0	0	163	593	-	-	1.5
X - 20-600-23(F/A:0%)	27.5	45	0.5	0.5	163	593	-	-	1.5
XI - 20-600-23(F/A:15%)	27.5	45	0	0	163	504	89	-	1.5
XII - 20-600-23(F/A:15%)	27.5	45	1.0	0.5	163	504	89	-	1.5
XIII - 20-800-23(F/A:10%)	24.9	41.5	0	0	162	533	65	52	1.9
XV - 20-800-23(F/A:10%)	24.9	41.5	0.5	0.5	162	533	65	52	1.9
XV - 20-100-23(F/A:10%)	18	33	0	0	145	604	81	121	2.9
XVI - 20-100-23(F/A:10%)	18	33	1.0	0.5	145	604	81	121	2.9

(2) 물리적 특성

기 수행된 40~100 MPa 고강도 콘크리트의 내부온도에 따른 비열 특성은 표 2, 열전도율 특성은 표 3 및 강재의 열특성은 표 4와 같으며, Fiber Cocktail 혼입 유무에 따른 구조부재의 전열 해석의 입력 데이터로 사용되어 졌다.

표 2. 고강도 콘크리트의 비열 특성(J/kg℃)

콘크리트 내부온도(℃)	40 MPa				50 MPa				60 MPa				80 MPa		100 MPa	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	X III	X IV	X V	X VI
100	497	546	543	587	646	609	588	633	676	754	795	809	797	838	840	837
200	625	551	580	583	634	631	609	576	683	743	745	706	733	738	716	822
400	721	677	722	734	779	815	794	794	789	707	691	735	729	710	739	725
600	903	797	882	857	776	805	892	909	849	869	871	880	853	846	844	823

표 3. 고강도 콘크리트의 열전도율 특성(w/m×k)

콘크리트 내부온도(℃)	40 MPa				50 MPa				60 MPa				80 MPa		100 MPa	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	X III	X IV	X V	X VI
25	2.28	2.33	2.23	1.82	2.18	2.09	2.13	2.07	2.00	1.94	2.05	2.18	2.27	1.95	1.81	1.73
100	1.86	1.82	2.03	1.53	1.76	2.00	2.19	1.91	2.00	1.75	1.91	1.90	2.03	1.83	1.76	1.70
200	1.65	1.81	1.60	1.60	1.81	1.70	1.63	1.58	1.57	1.69	1.67	1.42	1.90	1.43	1.58	1.46
400	1.50	1.55	1.37	1.47	1.40	1.62	1.73	1.93	1.56	1.35	1.43	1.35	1.55	1.25	1.68	1.36
600	1.37	1.33	1.23	1.35	1.69	1.00	1.31	1.48	1.09	1.25	1.49	1.18	1.44	1.15	1.31	1.6

표 4. 강재 열특성(철근)

온도(℃)	열확산계수(cm^2/s)	비열(J/gK)	열전도율($W/m \cdot K$)	밀도(g/cm^3)
20	0.1341	0.4404	45.563	7.72
205	0.1105	0.5002	42.634	
411	0.843	0.6110	39.758	
617	0.574	0.7867	34.849	

3. 고강도 콘크리트 기둥의 해석 모델링 및 결과

3.1 해석 모델링

해석모델링 산정을 위하여 아래 표 5와 같이 모델링 설계계획을 수립하였다. 강도특성 및 Fiber Cocktail의 첨가특성에 따른 구조요소의 전열 해석을 수행하였다.

표 5. 표준화재조건 고강도 콘크리트 전열해석 모델

실험체	길이(m)	B×D(mm)	사용재료	철근재료	강도변수(MPa)	pp첨유(kg/m ³)
기둥	3	270×270	콘크리트, 철근	SD 400	40,50,60,80,100	0, 1.0

3.2 해석 결과

제시된 고강도 콘크리트 재료물성을 토대로 ABAQUS 6.7.1버전으로 전열 해석을 수행하였으며, 모델요소는 3CD8I로 MESH하였다. 해석된 전열값은 40, 50, 60 MPa 고강도 콘크리트의 경우에는 실험값과 비교하였으며, 80, 100 MPa 고강도 콘크리트의 경우에는 해석값만을 제시하였다.

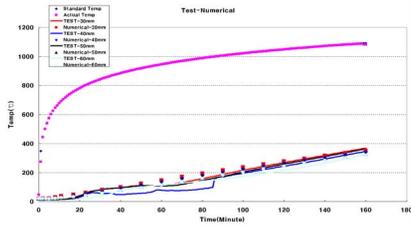


그림 1. 40 MPa 실험값과 해석값의 전열 특성 비교

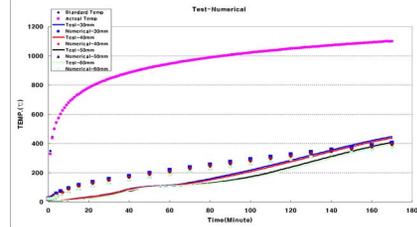


그림 2. 50 MPa 실험값과 해석값의 전열 특성 비교

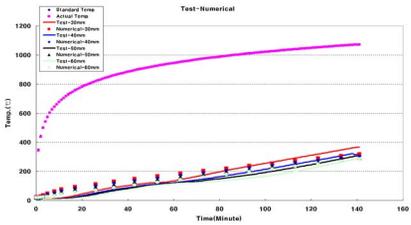


그림 3. 60 MPa 실험값과 해석값의 전열 특성 비교

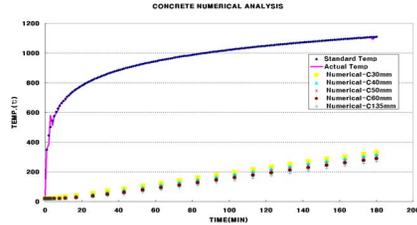


그림 4. 80~100 MPa 해석값의 전열 특성 비교

4. 결론

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

- (1) 40, 50, 60 MPa의 고강도 콘크리트는 보통강도 콘크리트와 해석모델이 유사한 전열특성 경향을 나타내고 있는 것으로 해석되었으며, 80, 100 MPa의 고강도 콘크리트의 해석모델은 보통강도 모델에 비해 약간 낮은 성향의 전열특성을 나타내는 것으로 해석되었다.
- (2) 최고온도 649°C의 기준에 의해 해석모델에 따른 내화성능을 분석한 결과 MODEL-V, VII, IX가 180분 기준의 경우 최고온도를 초과하는 것으로 나타났다. 또한 무혼입 콘크리트에 비해 Fiber Cocktail을 혼입한 고강도 콘크리트의 내화성능이 우수한 것으로 분석되며, 이는 Fiber Cocktail 혼입으로 인해 콘크리트의 전열특성이 제어되어 내화성능을 향상시키기 때문으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2008년도 과학기술부 지원 기본연구사업에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김홍열, 채한식, 전현규, 염광수, “폭렬저감제 혼입에 따른 고강도 콘크리트 구조부재의 내화성능에 관한 실험적 연구,” 한국콘크리트학회 2007 가을학술발표대회 제19권 제2호, 2007.
2. 김홍열, 채한식, 전현규, 염광수, “Fiber Cocktail을 혼입한 고강도 콘크리트의 비열, 열전도율 특성 및 모델 제시”, 대한건축학회 2007년도 학술발표대회 제27권 제1호, 2007.