

고온시 고강도 콘크리트의 물리적 특성 모델 설정에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Physical Properties Model of High Strength Concrete at High Temperature

김 흥 열* 서 치 호** 최 승 관*** 전 현 규****

Kim, Heung-Youl Seo, Chee-Ho Choi, Seng-Kwan Jeon, Hyun-Kyu

Abstract

This research is to present experimental materials model of high strength concrete for prediction of fire safety of structural members based on physical properties of materials during heating up to 800°C. The following conclusions are drawn from this study.

First of all, between 100 to 200°C, the physical models of concrete such as specific heat and thermal conductivity, show visible degradation, regardless of concrete strength. Second, between 300 to 600°C, the physical models of the 29MPa and 49MPa concrete show degradation continually at these temperatures. Finally, beyond 600°C, the physical models of 49MPa strength concrete show larger degradation than 29MPa strength concrete due to rise of pore pressure and melting of the interface between aggregate and cement paste.

1. 서 론

고강도 콘크리트의 경우, 낮은 물시멘트비, 단면크기의 감소에 따른 콘크리트 내부의 공극압 상승 등으로 인해 화재시 콘크리트 구조체의 급격한 성능저하를 발생시킬 수 있는 가능성이 크다

따라서 콘크리트가 화재에 노출되는 동안의 열적 특성 변화에 따른 성능저하를 평가하기 위해서는 고온에서의 열전도율, 비열, 열팽창률 등의 물리적 특성 평가가 필요하며, 이를 바탕으로 가열온도, 하중 등 실제 화재성상과 동일한 조건에서 콘크리트 내부온도 상승에 따른 열거동 해석이 요구된다.

이에 본 연구는 압축강도 29MPa와 압축강도 49MPa의 고강도 콘크리트를 상온에서 800°C까지의 온도 범위에 걸쳐 실험을 실시하고 이러한 실험결과를 바탕으로 화재에 노출되는 동안 압축강도 영역별 콘크리트의 온도분포와 열거동 해석을 위한 재료 모델을 제안함으로써 콘크리트 강도에 따른 구조부재의 화재안전성 평가자료로 제시하고자 하였다.

2. 사용재료 및 시험방법

2.1 사용재료 및 배합계획

본 실험에서 굵은골재는 비중 2.61, 흡수율 1.73%, 조립률 7.45%, 단위용적중량 1.553t/m³으로서 최대치수

* 정희원, 한국건설기술연구원 화재 및 설비연구부 선임연구원, 공학박사

** 정희원, 건국대학교 건축전문대학원 교수, 공학박사

*** 정희원, 한국건설기술연구원 화재 및 설비연구부 선임연구원, 공학박사

**** 정희원, GS건설 과장, 공학박사

가 25mm이하인 울산산 안산암을 사용하였으며, 잔골재로 사용한 모래는 한강산 강모래를 사용하였다.

표 1. 배합인자 및 수준

구분	단위 수량 (kg/m ³)	물시멘트비 (%)	잔골재율 (%)	목표 온도 (°C)
인자	175	32, 52	40	20~800
수준	1	2	1	7

표 2. 배합계획표

물시멘트비 (%)	잔골재율 (%)	용 적 배 합 (ℓ/m ³)				중 량 배 합 (kg/m ³)				
		물	시멘트	굵은 골재	잔 골재	물	시멘트	굵은 골재	잔 골재	AE 감수제
32	40	175	173	366	244	175	546	975	591	4.3
		175	106	406	271	175	336	1082	656	-

2.2 공시체 제작 및 실험방법

강도 영역별 콘크리트의 열전도율 실험은 65×114×230mm 크기의 실험체 3개를 제작하여 실험을 실시하였으며, 열팽창률 실험체는 먼저 50×50×50mm의 정육면체 실험체를 제작한 후, 5×5×50mm의 크기로 절단·가공하여 3개의 실험체를 제작하였다. 또한 비열 실험은 50×50×50mm의 실험체를 제작한 후, 다시 5×50×50mm의 크기로 절단·가공하여 제작하였다.

열전도율과 열팽창률은 최대 가열온도 1400°C인 독일산 TCT 426 및 미국산 DILATRONIC 장비를 사용하여 콘크리트 내부온도 20~800°C에서 열전도율 및 열팽창률을 측정하였다. 비열 측정은 최대 가열온도 1,700°C인 영국산 Lenton Thermal Design Limited의 가열로를 사용하여 내부온도 20~800°C에서의 비열을 측정하였다.

3. 실험결과

고온 가열시 압축강도 영역별 콘크리트의 물리적 특성 실험결과는 표 3.과 같다.

표 3. 압축강도 영역별 콘크리트의 물리적 특성 실험결과

콘크리트 내부온도(°C)	열전도율(W/mK)		열팽창률(mm/mm)×10 ⁻⁶		비열(J/kgK)	
	29MPa	49MPa	29MPa	49MPa	29MPa	49MPa
20	2.162	2.598	354	426	-	-
100	1.976	2.263	708	826	846	649
200	2.090	2.150	1282	1456	896	762
300	1.813	1.976	2028	2279	900	887
400	1.656	1.848	3066	3407	963	967
500	-	-	4122	4675	963	850
600	1.671	1.528	6817	7607	942	946
700	-	-	7391	8676	904	946
800	1.484	1.397	7573	9395	879	896

4. 고온 가열시 콘크리트의 재료 모델 제시

4.1 비열 모델

본 연구에서 도출된 29MPa 콘크리트 비열 모델은 ENV 1994-1-2 및 ECCS(2001)의 콘크리트 비열 모델과 유사한 경향을 보이고 있지만 비열은 다소 낮은 수준을 보이고 있다. 이와 같은 차이는 ENV

1994-1-2 및 ECCS (2001)은 실리카질 골재와 탄산염 골재를 사용한 콘크리트의 비열 모델로서 본 연구의 안산암 골재를 사용한 29MPa 콘크리트 비열과 차이를 보이는 것으로 판단된다. 식(1), (2)는 고온에서의 콘크리트의 비열 모델식을 나타낸 것이며, 표 4.은 모델식에 따른 비열값을 나타낸 것이다.

$$29\text{MPa 콘크리트} \quad C_c = -0.0008(T)^2 + 0.7387T + 774.29 \quad 20 \leq T \leq 800 \quad (1)$$

$$49\text{MPa 콘크리트} \quad C_c = -0.0012(T)^2 + 1.4263T + 532.79 \quad 20 \leq T \leq 800 \quad (2)$$

여기에서

C_c : 콘크리트의 비열(J/kgK), T : 콘크리트의 내부온도(°C)

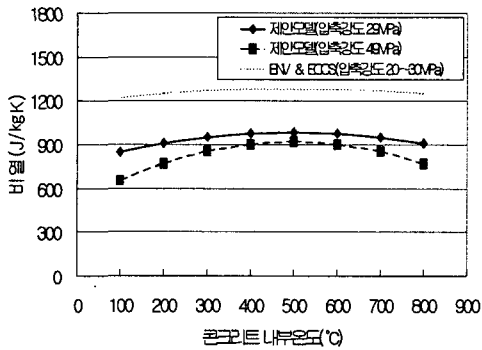


그림 1. 콘크리트의 비열 모델

표 4. 모델에 따른 콘크리트의 비열

콘크리트 내부온도 (°C)	29MPa 콘크리트 (J/kgK)	49MPa 콘크리트 (J/kgK)
100	851	651
200	910	769
300	951	852
400	977	903
500	985	919
600	977	903
700	951	852
800	910	769

4.2 열전도율 모델

본 연구에서 도출된 29MPa 콘크리트의 열전도율 모델은 실리카질 골재와 탄산염 골재를 사용한 ENV 1994-1-2 및 ECCS(2001)의 콘크리트의 열전도율 모델과 유사한 경향을 보이고 있지만 다소 높은 수준을 보이고 있으며, 리의 모델과는 다른 경향을 보이고 있다.

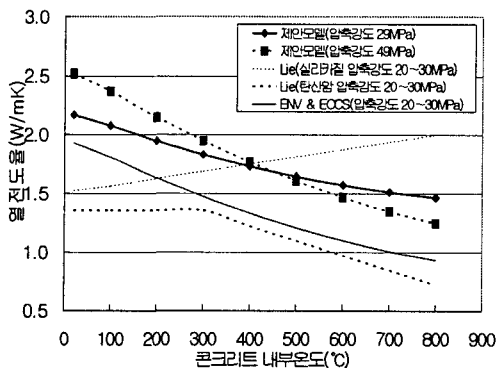


그림 2. 콘크리트의 열전도율 모델

표 5. 모델에 따른 콘크리트의 열전도율

콘크리트 내부온도 (°C)	29MPa 콘크리트 (W/mK)	49MPa 콘크리트 (W/mK)
20	2.167	2.521
100	2.076	2.367
200	1.947	2.147
300	1.832	1.947
400	1.731	1.767
500	1.644	1.607
600	1.571	1.467
700	1.512	1.347
800	1.467	1.247

식(3), (4)는 고온에서의 강도별 콘크리트의 열전도율 모델식을 나타낸 것이며, 표 5.은 제시된 모델식에 따른 열전도율값을 나타낸 것이다.

$$29\text{MPa 콘크리트} \quad \lambda_c = 7 \times 10^{-7}(T)^2 - 0.0015T + 2.2186 \quad 20 \leq T \leq 800 \quad (3)$$

$$49\text{MPa 콘크리트} \quad \lambda_c = 1 \times 10^{-6}(T)^2 - 0.0025T + 2.6071 \quad 20 \leq T \leq 800 \quad (4)$$

여기에서 λ_c : 콘크리트의 열전도율(W/mK)

4.3 열팽창률 모델

본 연구에서 도출된 29MPa 콘크리트의 열팽창률 모델은 ECCS(2001) 및 리의 모델과 유사한 경향을 보이고 있지만 다소 낮은 수준을 보이고 있다. 식(5), (6)은 고온에서의 강도별 콘크리트의 열팽창률 모델식을 나타낸 것이며, 표 6.은 제시된 모델식에 따른 열팽창률값을 나타낸 것이다.

$$29\text{MPa 콘크리트} \quad a_c = 5 \times 10^{-6}(T)^2 + 0.0067T - 0.0565 \quad 20 \leq T \leq 800 \quad (5)$$

$$49\text{MPa 콘크리트} \quad a_c = 8 \times 10^{-6}(T)^2 + 0.0056T - 0.1099 \quad 20 \leq T \leq 800 \quad (6)$$

여기에서 a_c : 콘크리트의 열팽창률(mm/mm $\times 10^{-6}$)

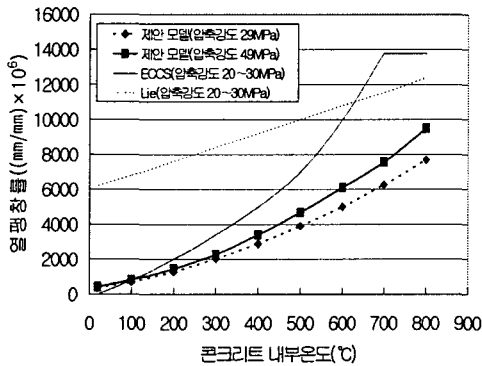


그림 3. 콘크리트의 열팽창률 모델

표 6. 모델에 따른 콘크리트의 열팽창률

콘크리트 내부온도 (°C)	29MPa 콘크리트 (mm/mm $\times 10^{-6}$)	49MPa 콘크리트 (mm/mm $\times 10^{-6}$)
20	292	413
100	663	760
200	1475	1579
300	2378	2569
400	3374	3729
500	4461	5058
600	5641	6558
700	6912	8228
800	8276	10068

5. 결 론

(1) 화산암 계열의 안산암을 사용하여 고온시 콘크리트의 물리적 특성을 평가한 결과, 수성암 계열의 석회암, 변성암 계열의 탄산염 골재를 사용한 외국의 기존 연구결과와 비교하여 비열, 열팽창율은 낮은 수준을 보이고 있으며, 열전도율은 높은 수준을 보이는 것으로 나타났다.

(2) 100~400°C에서는 콘크리트 강도에 상관없이 물리적 특성은 지속적으로 성능저하를 나타내고 있으며, 400~600°C 고온에 노출된 콘크리트는 골재와 시멘트페이스트 및 그 경계면의 균열 발생 등이 29MPa 콘크리트보다 49MPa 콘크리트에 더 불리하게 작용되고 있는 것으로 나타났다.

(3) 600°C 이상에서는 골재와 시멘트페이스트 경계면의 지속적인 용해와 균열 발생 및 내부 공극압 상승 등으로 인하여 49MPa 콘크리트가 29MPa 콘크리트에 비해 더 큰 성능저하를 발생시키고 있다.

참고문헌

1. Lie, T.T., Structural Fire Protection, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 78, American Society of Civil Engineering, New York, 1992
2. ECCS(2001). Technical Committee 3, Model Code on Fire Engineering, European Convention for Constructional Steel Work, First Edition, 2001
3. Comité, Européen de Normalisation(CEN)(1994). Eurocode 4 : Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1-2 : General Rules - Structural Fire Design, CEN ENV 1994