

고온시 고강도 콘크리트의 역학적 특성 모델 설정에 관한 실험적 연구

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

김 흥 열* 서 치 호** 전 현 규***
Kim, Heung-Youl Seo, Chee-Ho 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 mechanical 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 high strength concrete show degradation at 100°C and restoration at 200°C. The high strength concrete show elastic deformation at 20~200°C. Second, between 300 to 400°C, the mechanical properties of the high strength concrete which are exposed to fire show 75~95% as compared to the original properties because the thermally expanded ingredients of concrete, aggregates and cement paste, etc. Finally, beyond 600°C, the high strength concrete shows 75~80% reduction in thermal properties as compared to the normal concrete in the range of 600 to 800°C and it shows 10~30% as compared to the original properties.

1. 서 론

본 연구는 29MPa의 보통강도 콘크리트와 49MPa의 고강도 콘크리트가 화재에 노출되는 동안 압축강도 저감계수, 탄성계수 저감계수 및 응력-변형도 곡선 등의 역학적 특성 평가를 위하여 상온에서 800°C 온도 범위에 걸쳐 콘크리트 강도별 역학적 특성을 평가하였으며, 실험결과를 바탕으로 보통강도와 고강도 콘크리트 구조물의 온도분포와 열거동 해석을 위한 모델을 제안하고자 하였다.

2. 실험개요

2.1. 실험방법

(1) 압축강도, 압축강도 저감계수

본 연구에서는 실험체를 목표온도까지 일정 비율로 가열하였으며, 콘크리트 내부가 목표온도에서 열적정

* 정회원, 한국건설기술연구원 화재 및 설비연구부 선임연구원, 공학박사

** 정회원, 건국대학교 건축전문대학원 교수, 공학박사

*** 정회원, GS건설 과장, 공학박사

상상태에 도달될 수 있게 5~10분 동안 유지시켰다. 이 후에 실험체가 붕괴될 때까지 하중을 가하였으며, 목표온도(100℃, 200℃, 300℃, 400℃, 600, 800℃)당 3개의 실험체 강도를 평균하여 압축강도를 구하였다. 압축강도 저감계수는 목표온도 압축강도/상온 압축강도비로 하여 구하였다.

(2) 탄성계수, 탄성계수 저감계수 및 응력-변형도 곡선

본 연구에서 측정된 탄성계수는 콘크리트의 정적재하에 의하여 얻어진 응력-변형도 곡선에서 구한 정탄성계수이다. 콘크리트 파괴시점까지의 측정된 변형을 실험체의 길이로 나누어 변형도를 산정하였으며, 압축강도와 변형도 관계로부터 압축강도의 1/3(0.33f_c) 지점에서 할선계수에 의하여 탄성계수를 산출하였다.

2.2 실험체 제작 및 가열장비

실험체는 먼저 KS F 2403에 따라 10×20cm의 실험체를 제작하고, 초결이 시작되기 전에 콘크리트 내부온도용 열전대선 3개를 그림 1.과 같이 일정한 위치에 삽입한 후 24시간 후 탈형·수중양생하여 제작하였다.

또한 실제 화재조건과 같이 열에 노출되는 동안의 콘크리트의 역학적 특성을 파악하기 위해서는 콘크리트를 가열하면서 목표온도에 도달시 재료물성을 평가할 수 있는 가열장비가 요구된다. 이에 본 연구에서는 그림 2.과 같이 소형 이동식 가열로를 제작하였으며, 가열조건은 KS F 2257-1, 4, 5, 6, 7에서 규정하고 있는 표준가열온도곡선 조건에 따라 가열이 가능하도록 제작하였다.

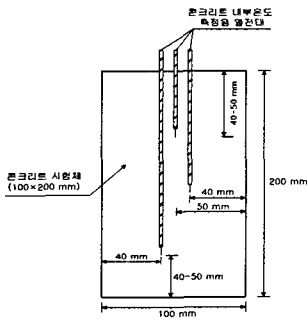
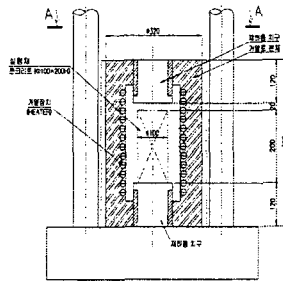
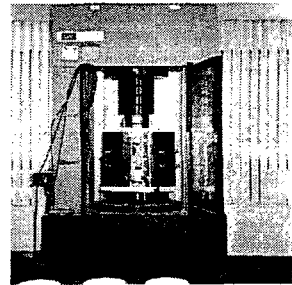


그림 1. 실험체



a) 가열로 상세



b) 가열로 설치 장면

그림 2. 콘크리트 고온 가열로

3. 실험결과

고온 가열시 보통강도와 고강도 콘크리트의 역학적 특성 실험결과는 표 1.과 같다.

표 1. 보통강도 및 고강도 콘크리트의 역학적 특성 실험결과

구분		콘크리트 내부온도 (℃)						
		20	100	200	300	400	600	800
실험종류	강도	20	100	200	300	400	600	800
	압축강도 (MPa)	보통 31.5	27.6	28.2	29.3	26.7	14.2	5.9
압축강도저감계수 (f ₀ /f _{c(20℃)})	보통	1.00	0.88	0.90	0.93	0.85	0.45	0.19
	고강도	1.00	0.62	0.82	0.79	0.74	0.29	0.08
탄성계수 (×10 ⁴ MPa)	보통	1.34	0.89	0.63	0.70	0.59	0.25	0.13
	고강도	1.16	1.14	1.07	0.97	0.82	0.15	0.04
탄성계수 저감계수 (E/E _{20℃})	보통	1.00	0.66	0.47	0.52	0.45	0.19	0.10
	고강도	1.00	0.98	0.92	0.83	0.71	0.14	0.04

4. 고온 가열시 콘크리트의 재료 모델 제시

4.1 압축강도 모델

그림 2.은 보통강도와 고강도 콘크리트의 압축강도 저감계수 모델 및 CEB, ENV 1994-1-2에서 제시하고 있는 콘크리트의 압축강도 저감계수 모델을 나타낸 것이다.

모델 설정에 있어서 CEB와 ENV 1994-1-2에서는 보통강도와 고강도 콘크리트를 동일한 모델로 제시하고 있다. 그림에서와 같이 본 연구에서 도출된 보통강도 콘크리트의 압축강도 저감계수 모델은 ENV 1994-1-2 모델과 유사한 경향을 보이고 있으며, 고강도 콘크리트에 있어서는 다소 낮은 수준을 보이고 있다. 표 2.은 제시된 모델에 따른 압축강도 저감계수를 나타낸 것이다.

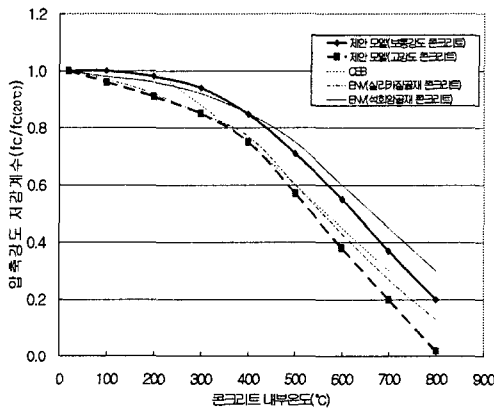


그림 3. 압축강도 저감계수 모델

표 2. 모델에 따른 압축강도 저감계수

콘크리트 내부온도 (°C)	보통강도 콘크리트 (fc/fc(20°C))	고강도 콘크리트 (fc/fc(20°C))
20	1.00	1.00
100	1.00	0.96
200	0.98	0.91
300	0.94	0.85
400	0.85	0.75
500	0.71	0.57
600	0.55	0.38
700	0.37	0.20
800	0.20	0.02

4.2 탄성계수 모델

그림 4.은 보통강도와 고강도 콘크리트의 탄성계수 실험결과를 바탕으로 도출된 탄성계수 저감계수 모델 및 CEB에서 제시하고 있는 보통강도 및 고강도 콘크리트 모델을 나타낸 것이다.

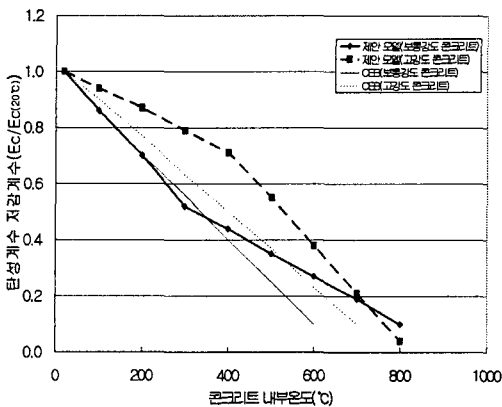


그림 4. 탄성계수 저감계수 모델

표 3. 모델에 따른 탄성계수 저감계수

콘크리트 내부온도 (°C)	보통강도 콘크리트 (Ec/Ec(20°C))	고강도 콘크리트 (Ec/Ec(20°C))
20	1.00	1.00
100	0.86	0.94
200	0.70	0.87
300	0.52	0.79
400	0.44	0.71
500	0.35	0.55
600	0.27	0.38
700	0.19	0.21
800	0.10	0.04

그림에서와 같이 본 연구에서 도출된 보통강도와 고강도 콘크리트의 탄성계수 저감계수 모델은 CEB에서 제시하는 직선형 모델과 비교하여 다소 차이를 보이는 것으로 나타났지만 고강도 콘크리트의 탄성계수 저감계수가 보통강도 콘크리트에 비하여 높게 나타난다는 점에 있어서는 유사한 경향을 보이고 있다. 표 3.은 제시된 모델에 따른 탄성계수 저감계수를 나타낸 것이다.

4.3 응력-변형도 곡선 모델

그림 5.은 보통강도와 고강도 콘크리트의 응력-변형도 곡선 모델을 나타낸 것이다. 표 4.은 최대 응력에서의 변형도를 나타낸 것이며, 실험에 의해 도출되지 않은 온도영역에서의 값은 보간법에 의하여 산출하였다.

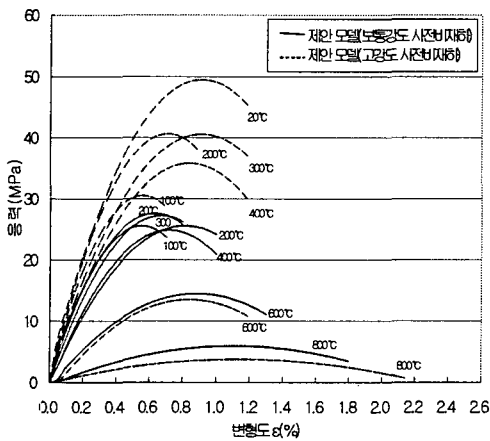


그림 5. 응력-변형도 곡선 모델

표 4. 모델에 따른 최대 응력에서의 변형도

콘크리트 내부온도 (°C)	보통강도 콘크리트		고강도 콘크리트	
	변형도 (%)	최대 응력 (MPa)	변형도 (%)	최대 응력 (MPa)
20	0.65	27.6	0.90	49.4
100	0.55	25.5	0.55	30.4
200	0.80	25.5	0.70	40.5
300	0.65	27.2	0.95	40.4
400	0.75	24.7	0.85	35.7
500	0.85	19.6	0.90	24.5
600	0.90	14.5	0.90	13.4
700	1.05	10.1	1.10	8.6
800	1.20	5.8	1.25	3.7

5. 결 론

(1) 100~400°C로 가열된 보통강도 및 고강도 콘크리트의 압축강도는 성능저하와 성능회복이 반복되는 온도범위이지만 모델에서는 400°C 이상의 온도범위보다 완만한 곡선형태로 제시하였다. 그러나 탄성계수는 400°C 이상보다는 적지만 비교적 크게 성능저하를 나타내고 있다. 100~400°C는 보통강도 및 고강도 콘크리트가 탄성 변형을 나타내는 온도범위로 나타났다.

(2) 600°C 이상의 고온에 노출된 콘크리트는 콘크리트 강도에 상관없이 급격한 성능저하를 발생시키는 온도범위로 나타났다. 특히 고강도 콘크리트가 보통강도 콘크리트에 비하여 20~25% 정도 높은 성능저하를 나타내고 있으며, 600~800°C에서는 상온의 10~30% 수준까지 성능이 저하하는 것으로 나타나고 있다. 또한 600°C 이후에서는 콘크리트에 소성 변형만이 발생하는 온도범위로 나타났다.

참고문헌

1. 김홍열(2002). 고온 가열시 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집 제18권 제118
2. 安部武雄外 4人(1999), 高温度における高強度コンクリートの力學的特性に關する基礎的研究, 日本建築學會構造系論文集, 第515號
3. American Concrete Institute(1992), State-of-Art Report on High-Strength Concrete, ACI 363R-92, Michigan