

고온에서의 콘크리트 재료 역학적 특성에 관한 연구

A Study on Mechanical Properties of Concrete at Elevated Temperatures

박 찬 규^{*} 김 규 용^{**} 이 승 훈^{*} 박 주 헌^{***} 김 영 선^{****}
Park, Chan Kyu Kim, Gyu Yong Lee, Seung Hoon Park, Ju Heon Kim, Young Sun

ABSTRACT

The effects of high temperature on strength, elastic modulus and strain at peak stress of concrete were experimentally investigated. The type of test was the stressed test that a preload was applied to the specimen prior to heating and the load was sustained during the heating period. In this study, the level of preload was 25% of compressive strength at room temperature. All tests were conducted at various temperatures(20, 100, 200, 300, 400, 500, 600 and 700℃) for concretes made with W/B ratios 46% and 32%.

Test results showed that on the whole, the relative values of strength and elastic modulus, and the real strain value at peak stress were not influenced by the W/B ratio.

1. 서 론

과거에 구조 부재의 내화 성능은 주로 시험에 의해서 확인되었다. 그런데 최근에는 다양한 구조 부재의 내화 성능을 계산하기 위하여 수치적인 방법¹⁾이 사용되고 있다. 이러한 계산 방법은 내화 성능을 결정함에 있어서 시간과 경비를 상당히 줄일 수 있는 장점이 있지만, 고온에서의 정확한 재료 특성이 필요하게 된다.

고온에서의 재료 역학적 특성을 파악하기 위한 시험 방법으로는 사전 재하시험(stressed test), 사전 비재하 시험(unstressed test) 및 사전 비재하 잔존강도 시험(unstressed residual strength test) 등이 있다²⁾. 이러한 방법들 중에서 콘크리트 보의 압축강도 영역과 콘크리트 기둥의 화재 성능과 관련해서는 사전 재하시험의 결과가 적절한 것으로 알려져 있다. 이에 본 연구에서는 화재 시 콘크리트 기둥 해석을 위한 기초 데이터 확보를 위하여 사전 재하시험법에 근거하여 콘크리트 재료 역학적 특성을 파악하고자 하였다.

2. 고온에서의 재료 역학적 특성 변화 실험

2.1 실험 계획

고온에서의 콘크리트 재료 역학적 특성 변화를 실험적으로 규명하기 위하여 표 1에 나타낸 바와 같은 실험계획을 수립하였다. 표 1에 나타낸 하중 수준은 압축강도에 대한 % 비율이며, 열을 가하기 전에 시험체에 가한 후 계속해서 일정하게 유지시키는 것을 나타낸다. 온도는 상온, 100, 200, 300, 400,

* 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술본부 기술연구소 수석연구원

** 정회원, 충남대학교 건축공학과 조교수

*** 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술본부 기술연구소 연구원

**** 정회원, 충남대학교 건축공학과 대학원 박사과정

500, 600 및 700°C이다.

2.2 시험체 제작

W/B에 따른 콘크리트 배합비는 표 2에 나타낸 바와 같다. W/B 46%에는 일반 감수제, W/B 32%에는 나프탈렌계 고성능 감수제가 사용되었다. 그리고 W/B 32% 경우에 가열 시 콘크리트의 폭렬 방지를 위하여 직경 약 40 μ m, 길이 6mm PP 섬유를 0.15vol.% 혼입하였다.

사용된 시험체의 크기는 $\phi 100 \times 200$ mm이며, 콘크리트를 타설한 후 재령 7일까지는 습윤양생을 실시하고, 그 이후에는 시험 시까지 온도 23°C, 습도 50%의 항온항습실에서 양생을 실시하였다. 또한 압축강도 측정용 공시체를 제작하여 항온 항습실과 수조에서 양생하였다.

2.3 시험 방법

가열 시험 전에 항온항습실에서 양생시킨 공시체와 수중에서 양생시킨 공시체에 대하여 압축강도를 측정하였다. 항온항습실 양생 공시체의 경우에는 압축강도 측정용 UTM과 그림 1에 나타낸 바와 같은 가열로가 장착된 강도시험기 2곳에서 각각 압축강도를 측정하였다. 압축강도 결과는 표 3에 나타낸 바와 같다.

가열 시험체의 측면 표면에 약 5~7mm의 구멍을 뚫어 3개의 열전대를 설치하였다. 위치는 하부 면에서 10mm, 100mm 및 190mm 되는 지점이다.

이 시험체를 가열로에 설치하고, 압축강도 측정용 UTM에서 측정된 압축강도의 25%에 해당하는 하중을 시험체에 가한 후 열을 가하였다. 하중은 시험 종료까지 일정한 값으로 유지를 시켰다. 시험체에 1°C/1.3min.의 속도로 열을 가하였으며, 50°C 온도상승마다 30분 유지시간을 갖도록 하였다. 그리고 목표 온도에 도달하면 총 90분 동안 온도를 유지시킨 다음 압축강도 시험을 실시하였다.

그림 1에 나타낸 바와 같이 본 연구에서 사용한 가열로의 특성은 복사열이 직접 시험체 전달되지 않고 시험체 양쪽의 철을 가열시켜 열이 전도되어 시험체의 온도가 상승하는 것이다.

탄성계수를 측정할 경우에는 하중을 '0'으로 제거한 이후 KS F 2438에 준하여, 각 온도에서 측정된 압축강도의 40%에 해당하는 하중을 2회 반복재하를 실시한 후 측정하였다. 시험체의 팽창 및 수축 변형 값은 그림 1에 나타낸 바와 같이 시험체에 접한 석영관이 strain gage 변위계를 움직이게 하고 이 값을 데이터 로그로 측정하였다.

표 1 실험 계획

W/B 비	하중 수준	온도 범위
46%	압축강도 대비 25%	상온 ~ 700°C
32%		

표 2 콘크리트 배합비

W/B (%)	S/a (%)	unit weight(kg/m ³)					감수제 (%)
		W	C	FA	S	G	
46	46.4	176	344	38	800	927	0.6
32	40.0	170	452	80	648	994	1.4

표 3 콘크리트 압축강도(상온)

W/B (%)	온도 (°C)	압축강도(MPa)		
		수중양생	기중양생 (UTM)	기중양생 (가열로)
46	100	43.1	40.3	40.6
	200	50.1	44.4	42.6
	300	52.1	43.4	41.3
	400	51.3	44.8	43.8
	500	49.0	40.6	39.5
	600	50.8	40.2	40.7
32	700	48.4	40.0	38.8
	100	83.4	80.6	77.7
	200	80.5	77.5	77.9
	300	81.6	78.6	74.6
	400	82.2	80.6	78.3
	500	82.4	80.6	74.6
	600	77.0	75.0	74.3
700	81.6	78.6	74.5	

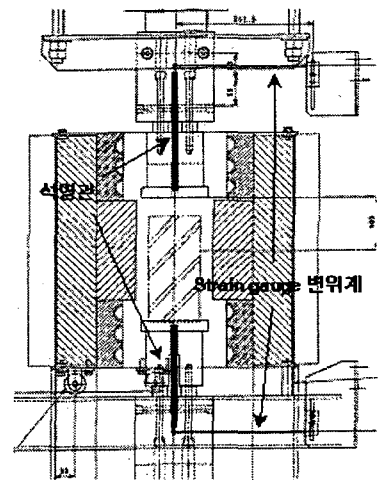


그림 1 시험장치 개도도

3. 실험결과 및 분석

3.1 압축강도

그림 2와 그림 3은 온도 변화에 따른 압축강도의 변화를 W/B 비에 대하여 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는바와 같이 W/B에 관계없이 100℃에서 강도가 급작스럽게 감소하다가 200℃에서 회복이 되는 것으로 나타났다. 그리고 그림에서 알 수 있는 바와 같이 200℃ 및 300℃에서의 압축강도는 상온에서의 압축강도와 비슷하거나 약간 큰 것으로 나타났으며, 400℃에서 700℃까지는 압축강도가 거의 선형적인 형태로 감소하는 것으로 나타났다. 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 온도에 따른 상대적인 강도는 W/B 46%가 W/B 32%보다 약간 높은 것으로 나타났지만, 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

3.2 탄성계수

그림 4와 그림 5는 온도 변화에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 온도 100℃에서 압축강도 변화와 같이 탄성계수가 갑자기 떨어진 후 200℃에서 회복이 되는 것으로 나타났다. 그러나 압축강도에서는 100℃에서 약 20%의 강도 감소가 나타난 반면, 탄성계수는 평균적으로 약 10%의 감소가 나타났다. 온도 200℃에서 600℃까지는 선형적으로 탄성계수가 감소하다가, 600℃ 및 700℃에서의 탄성계수는 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 그런데 기존 실험결과(3)에 따르면, 탄성계수의 경우에는 온도가 증가할수록 계속해서 값이 감소하는 것으로 보고되고 있는데, 이는 시험 시 가하는 하중의 수준에 따라서 탄성계수의 변화 경향도 달라지는 것이라고 판단된다.

그림 5에서 알 수 있는 바와 온도 변화에 따른 탄성계수의 상대적인 변화는 압축강도와 마찬가지로 W/B 비 변화에 대해서 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

3.3 최대응력에서의 변형률

그림 6은 온도 변화에 따라서 최대응력에서의 변형률을 W/B 비에 따라서 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 200℃까지는 최대응력에서의 변형률이 상온에서의 값과 거의 차이가 없는 것으로 나타났지만, 300℃에서 500℃까지는 증가를 하다가 그 이후에는 감소는 복잡한 경향을 나타내었다. 또한 W/B에 따라서 뚜렷하게 최대응력에서의 변형률이 차이가 있지 않고 거의 비슷한 것으로 나타났

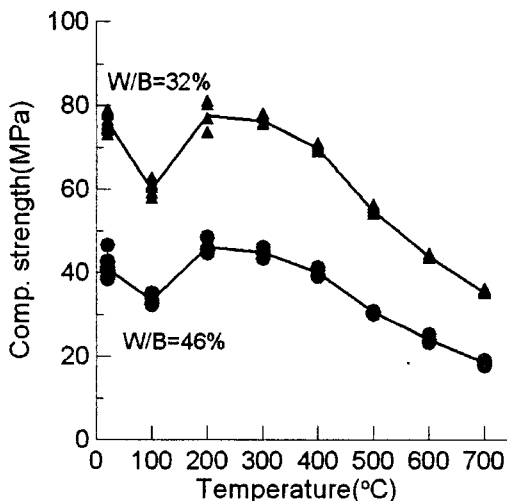


그림 2 온도에 따른 압축강도의 변화

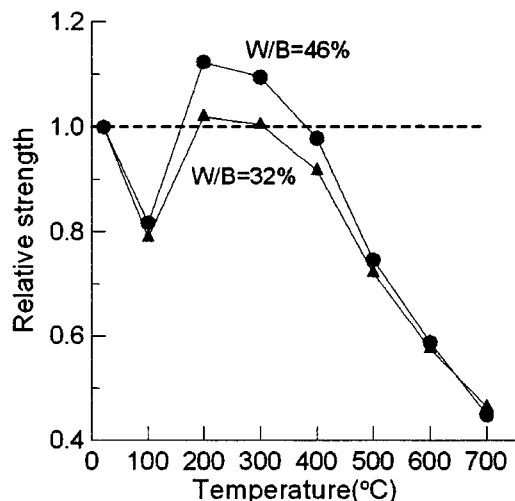


그림 3 물/결합재 비에 따른 상대적인 강도 변화

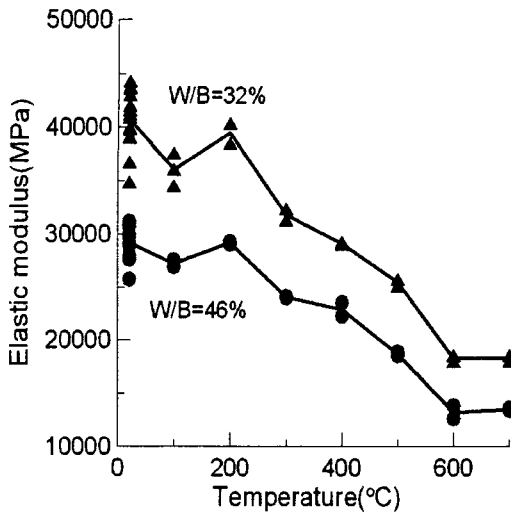


그림 4 온도에 따른 탄성계수의 변화

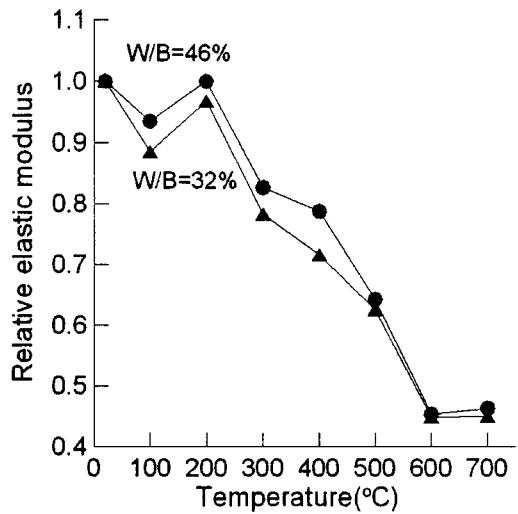


그림 5 물/결합재 비에 따른 상대적인 탄성계수 변화

다. 기존의 실험결과3)에 따르면 하중이 가해지지 않은 경우 700°C에서의 최대응력 변형률이 0.008~0.01의 값을 나타냈는데, 본 연구의 실험값과 비교하면 매우 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 따라서 하중 수준이 특히 최대응력에서의 변형률에 큰 영향을 미침을 간접적으로 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 W/B 46%와 32%에 대하여 하중 수준 25%가 가해졌을 때 700°C까지 압축강도, 탄성계수 및 최대응력에서의 변형률 값을 제시하였다. 시험결과, 본 연구의 범위 내에서 상대적인 압축강도, 탄성계수 및 최대응력에서의 변형률은 W/B 변화에 따라서 거의 변화가 없는 것으로 나타났다.

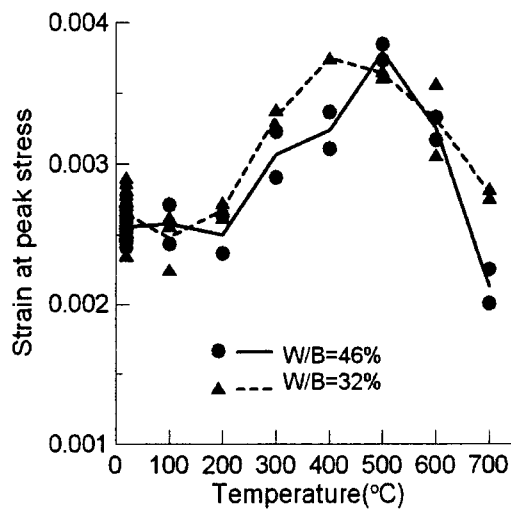


그림 6 온도에 따른 최대응력에서의 변형률 변화

참고문헌

1. Kodur, V.K.R., Wang, T.C., and Cheng, F.P., "Predicting the fire behaviour of high strength concrete columns," NCC-43379, National Research Council, Canada, 2004, 14pp.
2. 김홍열, "고온 영역에서 고강도 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구," 건국대학교 대학원 박사학위 청구논문, 2002, 141pp.
3. 平島岳父 外 5人, "高温加熱を受けるコンクリートの力学的特性に関する実験結果の-使用材料 調査の影響について-, "日本建築學會大會學術講演梗概集, 2003. 9, pp. 135-138.