

# 고온가열을 받은 고강도 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Mechanical Properties of High Strength of High Strength Concrete Subject to High Temperature Heating

이 태 규\*      신 승 봉\*      김 영 선\*\*      이 승 훈\*\*\*      김 규 용\*\*\*\*      김 무 한\*\*\*\*\*  
Lee, Tae-Gyu      Sin, Seung-Bong      Kim, Young-Sun      Lee, Seung Hoon      Kim, Gyu-Yong      Kim, Moo-Han

### Abstract

Recently, research and development related to high strength concrete for the high rise and large scale reinforced concrete building has been actively promoted in worldwide by national and private research project. But, it is reported that violent explosive explosion would be happened when it was exposed in fire. In the existed study, a explosion in a reinforced concrete structure loses the organism by the different contraction and expansion of hardened cement paste and aggregate, and causes crack by thermal stress.

In case of the Europe, Japan and America, they have studied the explosion for a long time. However it would hardly study the explosion in domestic, So it is needed base on mechanical properties of fire deterioration in high strength concrete.

Therefore, this study is intend as an mechanical properties of specimen to high heating by heating and load test machine and 700°C. As a result, it is willing to propose fundamental data for quick and accurate diagnosis of deteriorated concrete structure by fire damage with experiment according to the design high strength concrete.

키 워 드 : 고강도콘크리트, 역학적 특성, 고온 가열, 가열·재하장치

Keywords : high strength concrete, mechanical properties, high heating , heating and load test machine

## 1. 서 론

최근 초고층구조물의 등장으로 고강도콘크리트의 수요가 점진적으로 늘어나고 있으며, 이에 고강도콘크리트를 사용한 RC구조가 다양하게 설계·시공되고 있다. 이러한 RC구조는 통상 내화구조로서 인정되고 있지만, 고강도콘크리트를 사용하는 경우 화재시 폭발에 의한 내력저하가 우려되고 있으며, 이에 따른 해석적 검토 및 충분한 사전대책이 필요하다.

따라서 고온가열을 받은 고강도콘크리트의 역학적 성질을 파악하여 해석정도를 향상시키는 것이 매우 중요하다.

하지만 국내의 실정을 살펴보면 고온가열을 받은 고강도콘크리트의 데이터는 몇 년간에 연구보고가 증가하고는 있지만 아직 충분하다고 할 수 없다.

본 연구에서는 고온하에서 고강도콘크리트의 안전성을 평가하기 위하여 다양한 재하 및 가열조건에 의하여 재하·가열을 받은 고강도콘크리트의 역학적 특성(압축강도, 탄성계수)을

평가함으로써 고온하에서 고강도콘크리트의 내화성능하에서 콘크리트 구조물의 내화성능설계를 위한 기초적 데이터를 축적하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구를 위한 실험계획은 표 1에 나타난 바와 같이 설계기준강도 40, 60 및 80MPa를 위해 물시멘트비를 각각 46, 32, 25%로 설정한 후, 상온(20), 100, 200, 300, 400, 500, 600 및 700°C의 온도에서 압축강도, 및 탄성계수시험을 실시하여, 재하 및 가열 조건에 의한 콘크리트의 고온특성을 평가하고자 하였다.

### 2.2 사용재료

본 연구에서 사용한 재료는 표 2에서 보는 바와 같이 시멘트는 분말도 3,630cm<sup>2</sup>/g, 비중 3.15의 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 혼화재는 비중 2.20의 플라이애시를 사용하였고, 혼화제는 나프탈렌 변성 리그닌계의 고성능AE 감수제를 사용하였다.

\* 충남대학교 대학원 건축공학과, 석사과정

\*\* 충남대학교 대학원 건축공학과, 박사과정

\*\*\* 삼성물산(주) 건설부문 기술본부 기술연구원 수석연구원

\*\*\*\* 충남대학교 건축공학과, 조교수·공박

\*\*\*\*\* 충남대학교 건축공학과, 교수·공박

또한 본 연구에서 사용한 골재로서 굵은골재는 표 2에서 나타낸 바와 같이 비중 2.65, 흡수율 0.80 및 최대치수 25mm의 화강암류 부순자갈을 사용하였으며, 잔골재는 천연잔골재로서 비중 2.64, 흡수율 1.03%의 세척사를 사용하였다.

표 1. 실험계획

물시멘트비 (%)	가열온도 (°C)	시 험 항 목
46	0, 100	• 압축강도 (MPa) • 탄성계수 (MPa)
32	200, 300	
25	400, 500	
	600, 700	

표 2. 사용재료의 물리적 성질

사용재료	물리적 성질
시멘트	1종 포틀랜드시멘트 (비중 3.15, 분말도 3,630cm <sup>2</sup> /g)
혼화재	플라이애시(비중 2.20, 분말도 2,976cm <sup>2</sup> /g)
혼화제	고성능AE감수제(나프탈렌 변성 리그닌계)
굵은골재	부순자갈(최대치수 25mm, 밀도 2.56g/cm <sup>3</sup> )
잔골재	세척사(밀도 2.64g/cm <sup>3</sup> , 흡수율 1.03%)

표 3. 콘크리트 배합

W/B (%)	잔골재율 (%)	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	단위중량(kg/m <sup>3</sup> )			
			시멘트	플라이 애시	잔골재	굵은골재
46	46	176	344	38	793	919
32	40	170	452	80	634	955
25	36	165	515	99	537	972

### 2.3 콘크리트 배합 및 비빔방법

본 실험에 사용된 콘크리트의 배합은 W/B 46%, 32% 및 25%로 각각 설정하였으며 표 3에 나타낸 바와 같다.

콘크리트의 비빔은 시멘트와 잔골재를 투입하여 30초간 건비빔한 후 물을 투입하여 60초간 비빔을 실시하였으며, 고성능 AE감수제를 첨가하여 다시 60초간 비빔 후, 굵은 골재를 투입하고 60초간 비빔을 실시하여 총 210초가 소요되었다.

### 2.4 시험체 제작 및 양생

압축강도 및 탄성계수시험을 위한 공시체는 KS F 2403 「콘크리트의 강도시험용 시험체 제작방법」에 준하여 Ø100×200mm의 원주형 시험체를 제작하였으며, 표준압축강도용 시험체는 제작 후 24시간에 탈형을 실시하고, 28일간 표준양생을 실시하였다. 재하가열시험용 시험체는 7일간 표준 양생을 실시한 후 온도 20°C, 60% R.H.의 항온항습실내에서 기건양생했다. 또한, 압축강도용 시험체의 상면처리에는 콘크리트용 연마기를 사용하였다.

시험체의 온도를 측정하기 위한 열전대는 시험체 몰드의 상중하부에 미리 설치한 후 콘크리트를 타설하였다. 재하가열시험중 가열로의 온도제어는 시험체의 상부면으로부터 10mm, 100mm 및 190mm의 위치에서 약 5-7mm의 깊이로 천공하고

열전대를 설치하여 시험체의 온도를 조절하였다. 또한, 시험체의 온도측정은 시험체의 상부면으로부터 25mm, 100mm 및 175mm의 중심부 온도를 측정하였다.

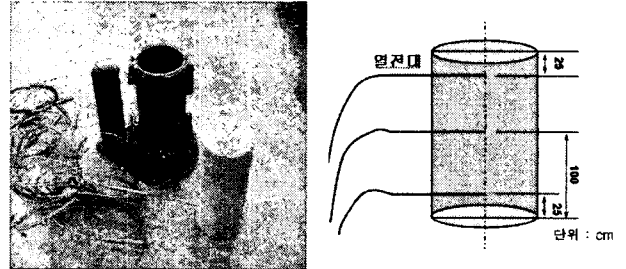


사진 1. 공시체 및 열전대 설치위치

## 2.5 실험방법

### 2.5.1 가열·재하 및 탄성계수

본 연구의 가열·재하 실험을 위한 장치는 사진 2와 같은 인스트론형 MTS-815 재하장치에 전기 가열로를 설치하여 재하 및 가열을 동시에 실시할 수 있는 재하·가열장치를 사용하였다. 시험체의 변위는 석영관과 LVDT변위계를 이용하여 측정하였다.

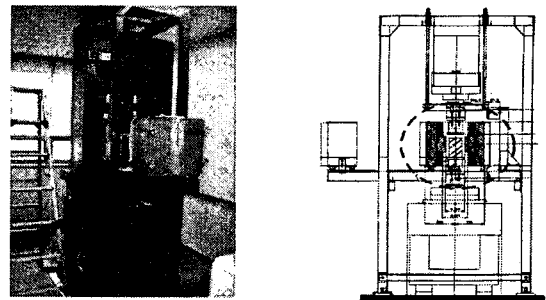


사진 2. 재하 및 가열로 시험장치

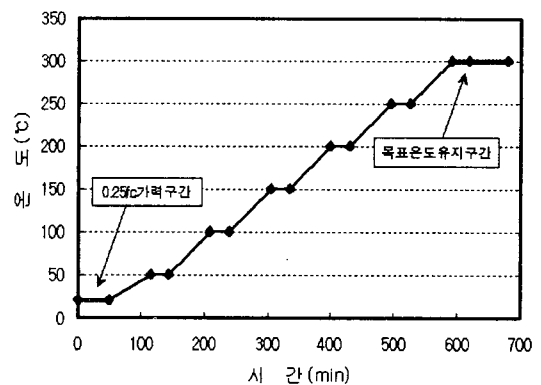


그림 1. 압축강도 시험을 위한 가열곡선 (300°C기준)

압축강도시험은 설계기준강도의 25%의 재하를 실시한 후, 그림 1에 나타낸 바와 같이 0.77°C/min 매 50°C온도 상승시 마다 30분유지하는 것으로 설정하여 실험을 실시하였다.

또한, 각 시험에서 설정한 목표온도에 도달 후 30분유지 및 압축강도 실험 전 1시간 유지를 실시하여 총 1시간 30분 동안 목표온도를 유지한 후 변위제어 방식으로 압축강도 실험을 실

시하였다. 그림 2는 본 연구에서 설정한 재하·가열 실험장치의 성능을 테스트 한 결과로 그래프에 나타난 것과 같이 상술한 가열조건에 있어서 정규분포곡선을 보면 편차가 4.9℃로서 공시체의 상·중·하부의 중심온도가 매우 균등하게 상승하는 것으로 나타나 고온을 받은 콘크리트의 역학적 특성을 평가할 수 있는 장치로 양호하며 가능할 것으로 판단된다.

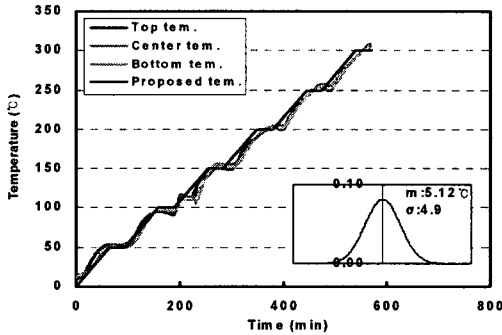


그림 2. 가열방법에 따른 부위별 온도 최종 결과

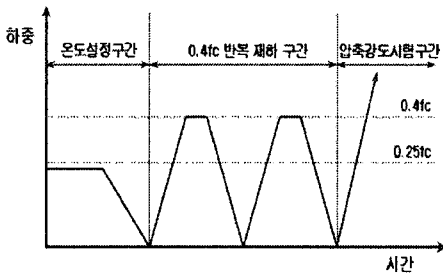


그림 3. 탄성계수 시험을 위한 재하곡선

탄성계수 시험은 목표 온도달성을 위한 가열방법으로 압축강도 실험과 동일하게 실시하였으며, 이후 탄성계수의 평가는 이후 그림 3에 나타난 바와 같이 하중을 0으로 제거한 후, KS F 2438 콘크리트 원주 공시체의 정탄성계수 및 푸아송 비 시험방법」에 준하여 0.4fc하중까지 2회 반복재하를 실시하고, 압축강도시험을 실시하였다. 탄성계수는 다음 식 1을 이용하여 산출하였다.

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0.000050} \quad (\text{식1})$$

여기에서, E : 탄성 계수 [MPa (=N/mm<sup>2</sup>)]  
 S<sub>1</sub> : 세로 변형 0.00005cm에 대한 응력 [MPa (=N/mm<sup>2</sup>)]  
 S<sub>2</sub> : 가해진 최대 하중에 대한 응력 [MPa (=N/mm<sup>2</sup>)]  
 ε<sub>2</sub> : 응력 S<sub>2</sub>로 생긴 세로 변형

### 3. 시험결과 및 검토

#### 3.1 압축강도

그림 4는 W/B별 가열온도에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 것이다. 압축강도는 W/B에 관계없이 가열온도 100℃에서는

압축강도가 저하하였으며, 이후 가열온도 200~300℃에서는 재강도 상승의 경향을 나타냈다.

또한 가열온도 400℃ 이후에 있어서는 모든 수준에 있어 강도가 급격히 저하하는 것으로 나타났으며 상온압축강도가 높을수록, 온도상승에 따라 저하 폭이 큰 것으로 나타났다.

그림 5는 가열온도에 따른 고온압축강도/상온압축강도의 비를 나타낸 것으로서, 압축강도의 실험결과와 유사하게 100℃에서 강도 저하 이후, 200 ~ 300℃에서 상온에서의 압축강도보다 높은 강도비를 나타내고 있으며, 고온을 받은 콘크리트는 약 500℃이후부터 상온강도의 70%이하로 저하되는 경향을 나타내고 있어, (초)고강도콘크리트의 경우 500℃이후에서 상온 강도의 50%이하로 저하된다는 기존 연구의 경향과 비교하여 온도에 따른 강도의 저하율이 다소 크게 나타나고 있다.

#### 3.2 탄성계수

그림 6은 W/B별 가열온도에 따른 탄성계수를 나타낸 것이며, 그림 7는 고온탄성계수/상온탄성계수비를 나타낸 것이다. 가열온도에 따른 탄성계수는 압축강도데이터와 같이 가열온도 100℃에서 탄성계수가 갑자기 떨어진 후 200℃에서 회복이 되는 것으로 나타났다.

그러나 W/B 46%의 경우는 탄성계수가 100℃에서 저하하지 않고 상승하는 경향을 띄고 있어 초고강도 영역에서의 탄성계수의 저하에 관한 검토가 필요할 것으로 판단된다. 온도 200℃에서 600℃까지는 선형적으로 탄성계수가 감소한 후, 600~700℃에서의 탄성계수는 거의 변화가 없는 것으로 나타났다.

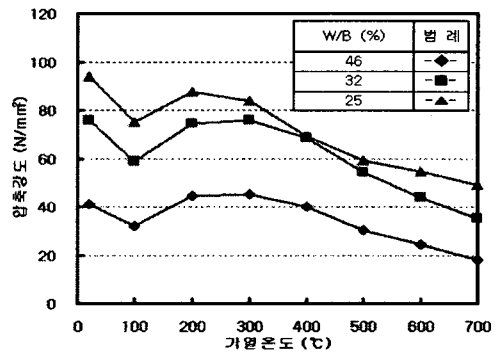


그림 4. W/B별 가열온도에 따른 압축강도

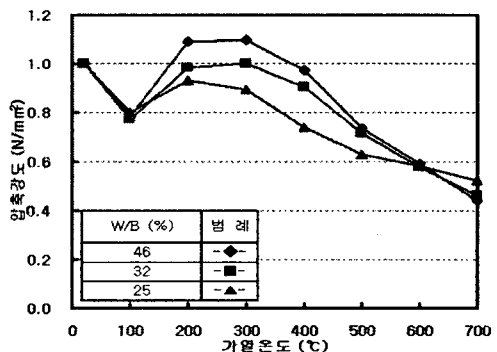


그림 5. W/B별 가열온도에 따른 고온압축강도/상온압축강도

탄성계수의 변화는 물결합재비의 차이에 따라 상대적인 변

화는 특별한 차이를 보이지 않는 것으로 나타났으며 가열온도가 증가함에 따라 계속적으로 탄성계수가 감소하는 경향을 나타냈다.

#### 4. 결론

재하 및 가열 조건에 의한 콘크리트의 고온특성 평가에 관한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 가열온도에 따른 압축강도 결과는 100℃에서 강도가 저하한 후, 200~300℃에서 강도가 재상승 하였으며, 300℃이후 부터는 가열온도가 높아짐에 따라 강도가 저하하는 현상이 나타났다. 또한, 고온압축강도/상온압축강도비의 변화를 분석한 결과 고강도일수록 고온하에서 압축강도의 감소율이 큰 경향을 띄는 것으로 나타났다.
- 2) 온도에 따른 콘크리트의 탄성계수를 평가한 결과, 압축강도 결과와 유사하게 100℃에서 탄성계수가 저하한 후, 200℃에서 탄성계수가 재상승하는 경향을 나타내고 있으며, 가열온도에 따른 고온탄성계수/상온탄성계수비는 W/B 46% 및 W/B 35%에서는 다소 높은 값을 나타내고 있으며, W/B 25% 또한 전체적으로 비슷한 경향을 띄고 있으나 300℃를 넘어서면서 탄성계수가 급격히 저하하여 탄성계수비의 감소율이 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.

#### 참고 문헌

1. 박찬규외, 고온에서의 콘크리트 열적 특성의 변화, 대한건축학회 논문집, 18권 6호, pp.73~76, 2006.11
2. 平島岳夫 外, 高温加熱を受けるコンクリートの力學的特性に関する實驗結果の比較, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 2003. 09, pp.135~137
3. 宮本圭一 外, 高温度における高强度コンクリートの力學的特性に関する研究, 日本建築學會構造系論文集, 第574號, 2003. 12, pp.227~234

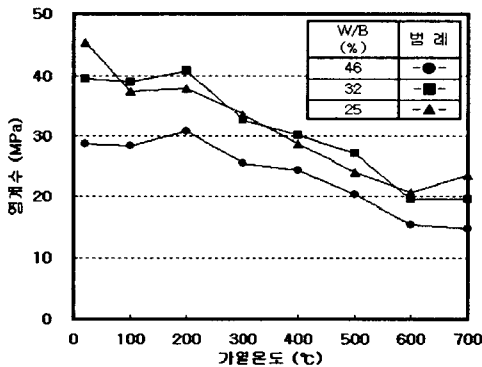


그림 6. W/B별 가열온도에 따른 탄성계수

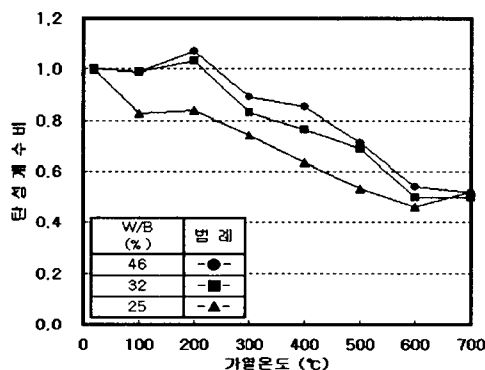


그림 7. W/B별 가열온도에 따른 고온탄성계수/상온탄성계수