

## 고온영역에서의 콘크리트 역학적 특성 평가 방법에 관한 연구

김영선, 신관수, 조봉석, 박찬규\*, 김규용, 김무한  
 충남대학교 건축공학과, \*삼성물산(주) 건설부문 기술본부 기술연구소

### A Study on the Evaluation Methods for Mechanical Properties of Concrete at High Temperature

Young-Sun Kim, Kwan-Soo Shin, Bong-Suk Cho  
 Chan-Gyu Park\*, Gyu-Yong Kim, Moo-Han Kim

Dept. of Architectural Engineering, Chungnam National University  
 Architectural Engineering & Technology Team, Samsung Corporation Co.

#### 1. 서 론

최근 한국에서도 표준설계강도 40~60MPa수준의 고강도 콘크리트를 사용한 25~60층 정도의 고층 철근콘크리트 구조물이 다수 건설되고 있지만, 화재시에 고강도콘크리트 구조물의 안전성은 충분히 해명되어 있지 않으며, 이 분야의 연구가 중요한 문제로 대두되고 있다. 그러나 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 구조물의 각 구조부재에 대해 내화성능을 평가하여야 하는데, 실대부재수준의 시험체를 사용한 내화실험은 설비 및 코스트면 등에서 실시가 곤란하여 소형시험체에 의한 재하·가열시험에 따른 콘크리트의 역학적 특성 또는 온도측정결과에 기초한 해석적 연구가 필요하다.

이에 콘크리트고온특성에 관한 실험적 연구가 다수 실시되고 있지만, 열전도율이 낮은 콘크리트를 균등히 가열한 후 고온상태에서 콘크리트의 특성을 명확히 평가하는 것은 매우 어렵기 때문에 다양한 문제점을 겪고 있다.

따라서, 본고에서는 콘크리트의 고온특성 평가방법의 정립을 위한 기초데이터를 제시하고자 재하·가열 시험장치 및 시험방법을 해석적으로 고찰한 후, 이를 기초로 실시한 실험결과 및 해석적 방법을 비교·검토함으로써 콘크리트의 고온특성 평가를 위한 재하·가열 시험장치 및 시험방법을 제시하고자 한다.

#### 2. 가열재하 방법의 제안

##### 2.1 기존연구의 조사

고온을 받은 또는 고온에서의 콘크리트 특성을 평가하기 위해 castillo, Hertz, Diederichs, Hammer, Sullivan 및 Morita등 수많은 연구자들에 의해 (초)고강도 콘크리트에 대하여 굽은골재의 크기, 섬유혼입, 혼화재의 사용 및 골재의 종류 등에 따른 고온특성실험이 실시되어 왔으며, 최근의 연구 중 일본에서는 平島 岳夫가 보통콘크리트, 설계기준강도 60MPa의 고강도콘크리트, 설계기준강도 80MPa 이상의 초고강도콘크리트를 대상으로 직접가열방식의 전기로를 사용하여 내화실험을 실시하였고, 河辺

伸二는 물시멘트비 25, 30, 40 및 50% 4수준의 콘크리트를 대상으로 간접가열방식을 사용하여 내화실험을 실시하였으며, 宮本圭一는 설계기 준강도60,80, 100MPa의 고 강도콘크리트 대상으로 내화 실험을 수행하였다.

2.2 기존 연구와의 비교 및 본 연구의 제안

宮本圭一 및 上杉英樹의 연구<sup>2)</sup>는 대표적인 간접가열 방식(non-direct heating method)와 직접가열방식(direct heating method)로서 그림 1 및 그림 2에 나타 냈다.

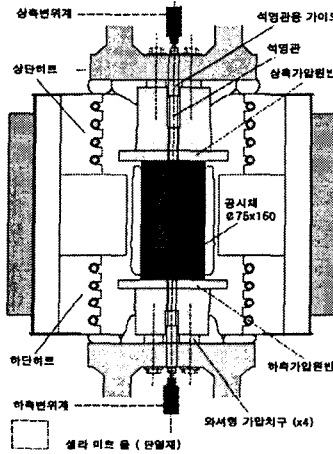


그림 1. 上杉英樹의 방법

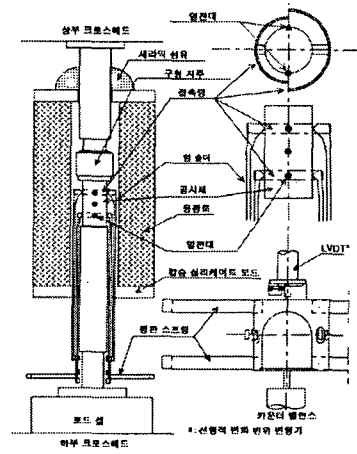
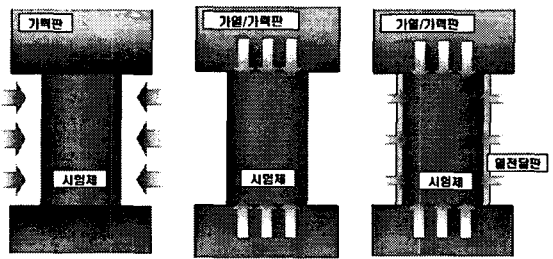


그림 2. 宮本圭一의 방법

간접가열방식은 그림3에 나타난 바와 같이 시험체의 상부 및 하부에 위치한 가력판을 가열하여 열을 전달하는 방식으로 시험체에 열에 의한 손상을 주지 않고 균등한 가열을 실시할 수 있는 장점이 있지만, 그림 4에 나타난 바와 같이 목표온도에 도달하는데 걸리는 시간이 너무 길다는 단점이 있다. 반면, 직접가열방식은 시험체의 측면 방향에서 열을 직접가하여 시험체를 가열시키는 방식으로서, 목표온도에 도달하는 시간은 매우 짧지만 콘크리트 표면이 급격한 고온의 노출로 손상될 우려가 있다.



(a) 직접가열방식 (宮本圭一) (b) 간접가열방식 (上杉英樹) (c) 열전달방식 (本연구방법)

그림 3. 가열방식에 따른 열전달 모식도<sup>1),2)</sup>

따라서 본 연구에서는 전술한 간접가열 방식과 직접가열방식의 장·단점을 고려하여 열전달커버를 고안하여, 시험체의 상하부 뿐만 아니라 측면에서도 열을 시험체로 안전하게 전달할 수 있는 방법을 제안하여 기존 고온특성실험방법에 비해 정밀성 및 신뢰성을 높이고자 하였다.

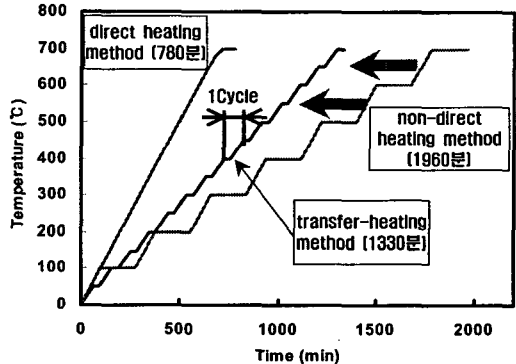


그림 4. 가열방식에 따른 가열곡선<sup>2)</sup>

3. 해석적 방법에 의한 고찰

본 연구에서 제안한 간접제하·가열 시험방법 및 열전달커버에 의한 실험을 근거로 외부열원의 영향에 의한 비정상 온도분포해석 (Nonlinear transient heat flow analysis)을 실시하였다. 해석은 공시체에 대한 온도·시간의존 열적특성을 온도함수로 치환하여 이를 고려하였으며, 해석 시 사용된 프로그램은 범용 유한요소 해석 프로그램인 DIANA를 이용하였다.

그림 5 및 그림 6은 상승온도 650℃, 가열시간 1235분에서의 분석 결과를 나타낸 것으로서, 본 연구의 예상과 동일하게 열전달커버를 사용시 온도의 전달이 열전달커버에 의해서 측면으로도 전달되어 열전달커버를 사용하지 않을 경우에 비해 약 18℃ 이상 향상되는 것으로 나타났다.

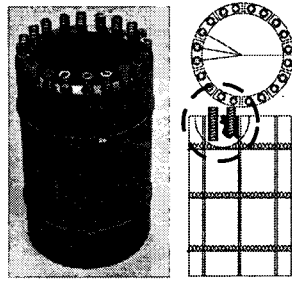
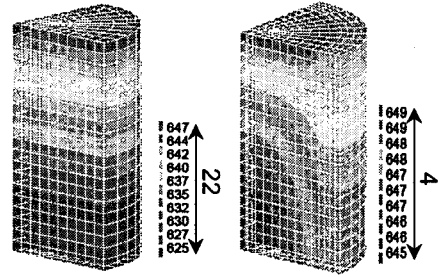


사진 1. 열전달커버



(a) 열전달판(無) (b) 열전달판(有)  
그림 5. 가열시험 해석결과

#### 4. 실험적 고찰

##### 4.1 실험계획

본 실험은  $\phi 100 \times 200$ mm 크기의 시험체를 사용하여 그림 4에 제시된 가열곡선과 같이 온도상승속도 0.77℃/min, 50℃ 온도상승시 마다 30분간의 온도유지시간을 적용하여 가열재하 실험을 실시하였다.

##### 4.2 재하가열 시험장치의 개요

본 연구에서 개발한 가열재하 실험장치를 그림 7에 나타냈다. 가열장치는 열전달방식으로 금속히터를 이용한 전기가열로이며, 시험체의 재하는 하중용량 245kN의 인스트론형 시험기를 사용했다. 시험체의 변위는 그림 1에 나타낸 바와 같이 석영관과 LVDT변위계를 이용하여 측정했다.

##### 4.3 시험체의 제작 및 열전대의 설치

시험체 제작에 사용한 재료의 물리적 성질과 콘크리트의 배합은 표 1 및 표 2에 나타냈다.

시험체의 온도를 측정하기 위한 열전대는 시험체 몰드의 상·중·하부에 미리 설치한 후 콘크리트를 타설했다. 재하가열시험중 가열로의 온도제어는 시험체의 상부면으로부터 10mm, 100mm 및 190mm의 위치에서 약 5~7mm의 깊이로 천공하고 열전대를 설치하여 시험체의 시험체의 상부면으로부터 25mm, 100mm

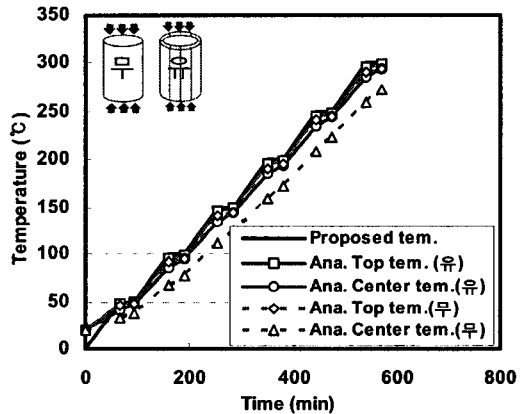


그림 6. 열전달판 유무에 따른 시험체의 온도상승곡선 해석결과

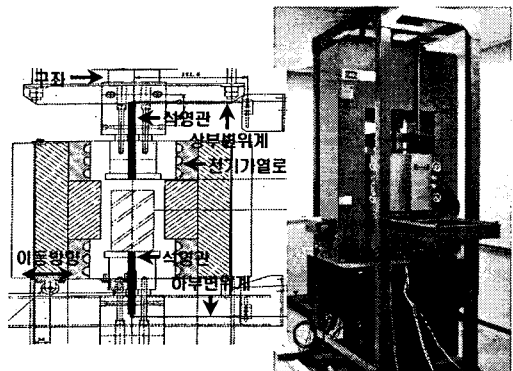


그림 7. 가열-재하장치의 상세도 및 전경

온도를 조절했다. 또한, 시험체의 온도측정은 및 175mm의 중심부온도를 측정했다.

#### 4.4 실험결과와 검토 및 고찰

본 연구에서 제안한 가열·재하 실험 장치 및 실험방법을 적용하여 온도상승 속도 0.77°C/min, 50°C 온도상승시 마다 30분간의 온도유지시간으로 시험장치를 제어하여 가열재하 실험을 실시한 결과 시험체의 온도는 그림 8에 나타난 상승가열곡선과 같다. 또한, 비정상온도 분포해석 결과와 실험결과를 비교한 것으로서 본 연구에서 제안한 재하·가열 실험방법의 실험결과와 해석결과는 매우 유사하게 나타나고 있다.

본 연구에서 제안한 재하·가열 실험방법은 공시체의 상하부의 온도와 중심부의 온도차가 평균값 5.12°C, 표준편차 4.9의 결과로 나타나 열전달 효율성이 매우 양호한 것으로 나타났으며, 본 연구에서 제안한 실험방법이 고온을 받은 콘크리트의 고온특성을 평가하기 위한 방법으로서 신뢰성이 높을 것으로 판단된다.

표 1. 사용재료의 물리적 성질

사용재료	물리적 성질
시멘트	O.P.C., (밀도 : 3.15kg/cm <sup>3</sup> )
잔골재	해사, (밀도 : 2.64kg/cm <sup>3</sup> , F.M. : 2.85, 흡수율 : 1.03%)
굵은골재	화강암류 쇄석(Size : 25mm, 밀도 : 2.65kg/cm <sup>3</sup> , F.M. : 6.91, 흡수율 : 0.8%)
혼화재	플라이애시 (밀도 : 2.2kg/cm <sup>3</sup> )
혼화제	고성능 감수제 (나프탈렌술포산계)

표 2. 콘크리트 배합

W/B (%)	목표 슬럼프 (cm)	S/a (%)	단위 수량 (kg/m <sup>3</sup> )	단위중량 (kg/m <sup>3</sup> )			
				시멘트	플라이애시	잔골재	굵은골재
46	15± 2	46.4	176	344	38	793	919

## 5. 결 론

본 연구에서 콘크리트의 고온특성을 평가하기 위한 방법으로 제안한 열전달가열 방식을 검토한 결과는 다음과 같다.

- 1) 콘크리트의 고온특성을 평가하는 방법으로서 열전달방식과 열전달커버를 사용한 본 연구의 시험방법의 열전달 효율성 및 정밀성을 실험 및 비정상온도 분포해석을 통해 유효성을 확인했다.
- 2) Ø100 × 200 mm 크기의 콘크리트 시험체에 대하여 목표온도 300°C까지 가열 속도 0.77°C/min, 온도상승주기 50°C/cycle의 설정에 의해 시험체의 내외부 온도차가 평균 5.12°C, 표준편차 4.9의 범위로 제어됨에 따라 고온을 받은 콘크리트의 역학적 특성 평가 방법으로 사용 가능할 것으로 판단된다.

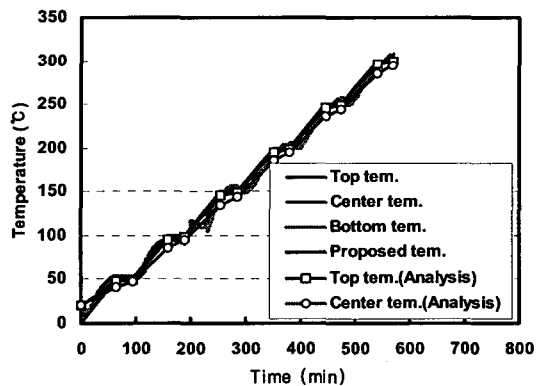


그림 8. 실험결과와 해석결과의 비교

## 감사의 글

본 연구는 삼성건설과 BK(Brain Korea)21-2단계 사업의 지원을 받아 수행된 연구 성과로서, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Kodur, V.K.R., Cheng, F.P., Wang, T.C and Sultan, M.A., Effect of strength and fiber reinforcement on fire resistance of high-strength concrete columns,

NRCC- 45005, National Research Council, Canada, 2003

2. 平島岳夫, 常世田昌寿, 豊田康二, 山下平祐, 篠原幸一, 上杉英樹, “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比較”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.135~137, 2003. 9