

# 재하 및 비재하 내화 실험을 통한 고강도콘크리트의 내화성능에 관한 실험적 연구

## A Experimental Study on the Fire Resistant Performance of the High Strength Concrete with Loading and Unloading test

**김 우 재\***      **김 현 배\*\***      **김 규 용\*\*\***      **김 영 선\*\*\*\***  
 Kim, Woo-Jae   Kim, Hyun-Bae   Kim, Kyu-Yong   Kim, Young-Sun

### Abstract

Recently, the higher buildings are, the stronger concrete are used. Ultra high strength concrete have the possibility of spalling when a fire breaks out, so the fire-resistance performance is necessary to use the ultra high strength concrete on the high-rise building. On this study, the heating test for the concrete with loading/unloading is performed for ultra high strength concrete using nylon fiber. The heating test followed by ISO-834 heating curve on the real-size specimen and the strength of concrete are 60, 80, 100, 200 MPa.

키 워 드 : 초고강도 콘크리트, 내화성능, 폭렬  
 Keywords : Ultra High-Strength Concrete, Fire-Resist Performance, Spalling

## 1. 서 론

국내 초고층 프로젝트의 증가에 따라 필연적으로 고강도 콘크리트의 사용이 증가되고 있다. 콘크리트의 강도가 증가됨에 따라 화재 발생 시 단면결손을 유발하는 폭렬의 경향성이 커지고, 콘크리트부재 내부의 온도를 현저하게 증가시키며 심각한 구조적 손상을 유발할 수 있다는 문제점이 대두되었고, 정부에서도 2008년 7월부터 고강도 콘크리트의 내화성능 관리기준을 시행하고 있다. 이에 국내 각 건설사들은 50MPa 이상의 고강도 콘크리트에 대하여 폭렬방지 대책을 수립 중에 있다. 본 연구소에서는 폭렬방지 섬유보강 초고강도 콘크리트 연구를 진행하고 있으며 본 논문에서는 각각 재하 조건과 비재하 조건에서 수행한 내화성능 검증 실험결과를 검토하였다. 60, 80, 100, 200 MPa의 고강도 콘크리트에 대해 재하 및 비재하 조건에서 가열시험을 실시하였다.

## 2. 초고강도 콘크리트 내화성능평가

### 2.1 시험체 계획

본 연구는 고강도 콘크리트의 내화성능을 검증하고자 하였으며 재

하 조건에서의 내화시험과 비재하 조건에서의 내화시험이 진행되었다. 재하 시험의 경우 시험체는 □ 400×400×3500mm로 가력시험장비의 시험가용 능력과 시험체의 압축강도를 고려하여 결정하였으며, 내화시험에서의 중요한 변수인 피복두께는 40mm로 실험을 실시하였다. 비재하 시험의 경우 □ 400×400×1500mm의 50mm의 피복두께를 설정하였다. 각각의 시험방법에 따라 60, 80, 100, 200 MPa의 강도를 가지는 콘크리트에 대해 시험을 실시하였다.

### 2.2 사용 재료

본 연구에서 사용재료는 표 2와 같이 시멘트는 S사의 저발열 프리믹스 시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 제주도산 천연잔골재, 굵은 골재는 최대치수 13mm 골재를 사용하였다. 혼화제는 폴리카르본산계 고성능감수제를 사용하였으며, 시험체에 사용된 섬유는 섬유보강 분산제가 코팅된 폴리아미드 섬유이며, 상기 섬유는 친수성을 갖고 있어 기존섬유보다 콘크리트의 유동성 및 점성 저하가 미비한 특성을 갖고 있다. 표 1은 사용재료의 물리적 특성을 나타내었다.

표 1. 사용재료

| 사용재료 | 성능   |
|------|--|
| 시멘트  | Premixed 시멘트, 밀도:2.99g/cm <sup>3</sup>     |
| 잔골재  | 조립율:3.20, 표건밀도:2.88, 흡수율:2.37              |
| 굵은골재 | 크기: 13mm, 조립율:5.80,<br>표건밀도:2.80, 흡수율:2.21 |
| 혼화제  | 폴리카르본산계, 비중: 1.10 g/cm <sup>3</sup>        |

\* 포스코건설 R&D CENTER 기술연구소, 과장  
 \*\* 포스코건설 R&D CENTER 기술연구소, 상무  
 \*\*\* 충남대학교 건축공학과, 교수  
 \*\*\*\* 충남대학교 건축공학과, 박사과정

### 2.3 시험체 제작

콘크리트 배합은 설정 목표강도에 알맞게 W/B를 조절하였으며, 저발열 프리믹스 시멘트와 폭발방지 목적의 폴리이미드 섬유를 혼합하였다.

시험체는 그림 1과 같이 내부 주근 온도 및 콘크리트의 온도를 측정하기 위해 열전대를 설치하였다.

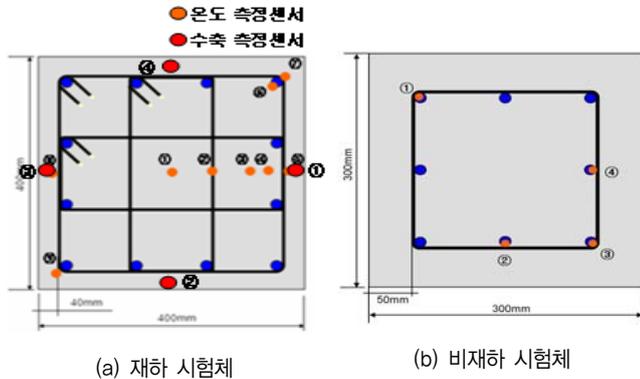


그림 1. 철근 배근 및 열전대 위치

### 2.4 내화 시험 방법

재하 및 가열시험은 일본 오사카에 위치한 총합시험소의 100ton급 재하가열 시험장치를 사용하여 시험을 실시하였으며, 재하가열 방법은 JIS A 1304에 준하여 시험을 실시하였고, 측방향 수축량, 수축속도, 가열온도, 시험체의 내부온도를 측정하였다. 내화시험은 KS F 2257-1(건축부재의 내화시험방법-일반요구사항)의 표준시간-가열온도곡선 ISO - 83을 이용하여 3시간 내화 성능 시험을 실시하였다.

비재하 가열 시험은 여주 방재시험연구원에서 실시하였으며 역시 ISO - 834에 준하여 3시간동안 실시하였고 철근의 온도와 가열온도를 측정하였다. 그림 2는 각각 재하 및 비재하 가열 시험체 모습 및 실험 과정을 나타내고 있다.



그림 2. 시험체 설치 전경

## 3. 내화시험 결과 분석 및 비교

### 3.1 재하 시험결과

열전대의 위치에 따라 온도 이력이 많은 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 콘크리트 내부의 경우 400 C를 넘지 않으나 사각형 단면의 꼭지점 부분에 위치한 열전대의 경우 600 C를 넘는 온도 이력을 나타내었다. 200 MPa의 경우 2번 철근이 피복 콘크리트의 폭렬에 의한 박리현상으로 최고온도가 700 C 이상 상승 한 것으로 조사 되었다.

표 2. 압축강도별 최대 수축량

| 강도 (MPa) | 부재 최대 수축량(mm) |       |      |       |       |
|----------|---------------|-------|------|-------|-------|
|          | 1             | 2     | 3    | 4     | 최대    |
| 60       | 1.46          | 1.24  | 1.24 | 1.52  | 1.52  |
| 80       | 4.36          | 3.42  | 3.72 | 4.38  | 4.38  |
| 100      | 5.58          | 5.32  | 5.42 | 5.58  | 5.58  |
| 200      | 20.72         | 19.72 | 19.3 | 20.28 | 20.72 |

표 2는 압축강도별로 측정된 콘크리트 부재의 최대 수축량을 측정 한 값이다. 모든 시험체의 경우에 일본내화시험 기준인 수축량  $3500/100 = 35\text{mm}$  이하를 만족 하는 것으로 조사되었다. 콘크리트 부재의 압축강도가 높을수록 내화 시험시 최대수축량이 증가하는 것을 볼 수 있다. 콘크리트의 압축강도가 높을수록 폭렬의 위험성이 더욱 크다는 것을 알 수 있다. 그림 3은 재하 실험 결과를 나타낸 것이며 콘크리트 내부에 설치한 열전대의 온도, 가열온도, 수축량을 나타내고 있다.

### 3.2 비재하 시험 결과

그림 4는 비재하 실험 결과를 나타낸 것이다. 비재하 실험결과 표 3과 같이 주근의 평균온도 538℃, 철근주근 최고온도는 649℃이하로 나타나 국내 고강도콘크리트 내화 인증기준을 만족하였고 폭렬현상이 관찰되지 않았다. 콘크리트 강도에 따른 주근 최고 온도는 523℃ ~ 605℃로 나타났다. 100MPa급 콘크리트의 최고 온도가 가장 낮은 것으로 조사되었으면, 200MPa급 콘크리트의 최고 온도가 가장 높게 조사되었다. 그러나 콘크리트강도에 따른 상관관계는 없는 것으로 사료된다.

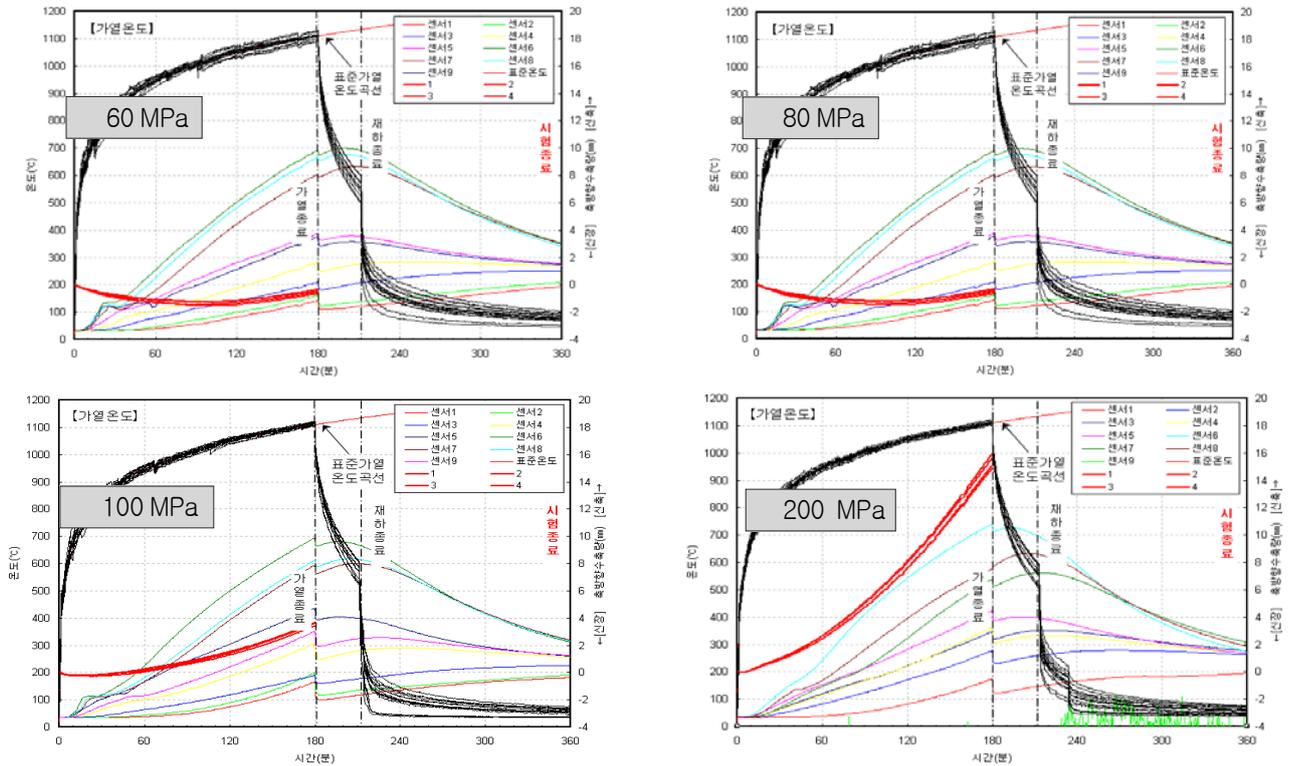


그림 3. 재하 실험 결과

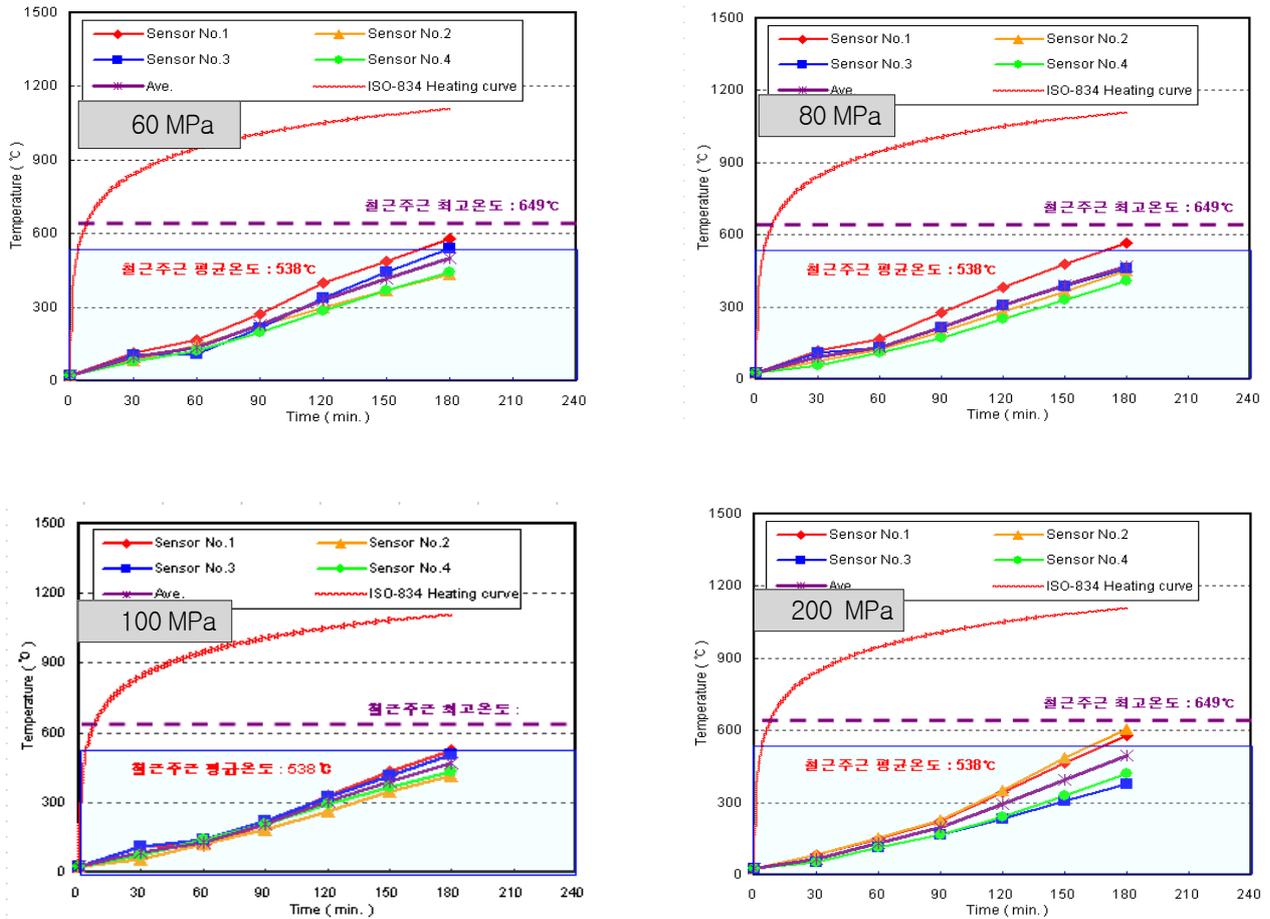


그림 4. 비재하 시험 결과

표 3. 비재하시험 주근 최고 및 평균 온도

| 콘크리트 강도(MPa) | 주근 평균 온도(°C) | 주근 최고 온도(°C) |
|--------------|--------------|--------------|
| 60           | 499          | 577          |
| 80           | 471          | 565          |
| 100          | 469          | 523          |
| 200          | 495          | 605          |

3.3 재하 및 비재하 시험결과 비교

표 4는 180분 경과 후 철근에 설치해놓은 열전대에서 측정한 주근의 최고 온도를 나타낸 것이다. 표 4에서 보이듯이 재하를 하였을 경우 약 100°C 이상 온도가 높아지는 것을 알 수 있다. 이는 콘크리트에 하중을 가했을 경우 미세균열 등이 발생하여 콘크리트 내부로의 열전달이 용이해지기 때문이라고 판단된다.

표 4. 180분경과 후 주근 최고 온도

| 콘크리트 강도(MPa) | 재하 시험(°C) | 비재하 시험(°C) |
|--------------|-----------|------------|
| 60           | 686       | 577        |
| 80           | 669       | 565        |
| 100          | 686       | 523        |
| 200          | 733       | 605        |

4. 결론

고강도 섬유 혼입 철근콘크리트 기둥 부재의 내화성능을 재하 및 비재하 시험을 통해 검증한 결과 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1. 재하시험을 실시한 결과 60, 80, 100, 200 MPa 강도 콘크리트 모두 일본 기준(JIS A 1304)인 수축량 및 수축 속도를 만족하는 것으로 조사되었다.
2. 비재하시험을 실시한 결과 60, 80, 100, 200 MPa 강도 콘크리트 모두 국내 기준인 주근의 평균온도 538°C, 주근 최고 온도 649°C이하를 만족하는 것으로 조사되었다.
3. 재하 및 비재하 내화 시험결과를 비교한 결과 콘크리트 부재에 재하하였을 경우 콘크리트 내부 주근의 온도가 100°C 이상 증가하는 것으로 조사되었다.

참고 문헌

1. 국토해양부 고강도콘크리트 기둥, 보의 내화성능 관리기준
2. 소양섭, 고성능 콘크리트의 내화성능, 콘크리트학회지 제14권 제2호, 2002, 3
3. 일본 공업규격 JIS A 1304, 건축부재의 내화시험 방법- 일반요구사항5
4. 재하 및 가열을 받은 150MPa 급 초고강도 철근콘크리트기둥부재의 잔존강도 평가에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 제28권 제1호
5. 竹内博幸, 森達哉, 河野政典, 起橋孝徳, 被覆材料による高強度コンクリートの爆裂防止対策の研究, 콘크리트工学年次論文集, Vol.28, No.1, 2006