

화재 후 재양생 조건에 따른 콘크리트의 강도복원특성

Strength recovery of fire-damaged concrete after post-fire-curing

이 중 원* 최 광 호** 홍 갑 표***
Lee, Joong-Won Choi, Kwang-Ho Hong, Kap-Pyo

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the effect of post-fire-curing on the strength recovery of fire-damaged concrete. The 170 specimens have been tested with variables of concrete strengths (20, 30, 40, 50, 60 MPa) exposed to elevated temperatures till 600°C and 800°C. After natural cooling, the specimens were subjected to post-fire-curing in water and in a controlled chamber for a total duration of 56 days. Unstressed compressive strength was conducted to examine the change in the concrete.

The test results indicated that the post-fire-curing results in substantial strength recovery and its extent depend on the method and duration of recuring.

1. 서론

화재와 같이 고온에 노출된 콘크리트는 화학적 조합 및 물리적 구조의 변화가 발생하는데, 이 변화는 주로 경화된 시멘트페이스트에서 400°C에서 칼슘수화물(C-H)이 분해되기 시작하여 900°C에 이르러 칼슘-실리카 수화물(C-S-H gel)이 완전 파괴될 때까지 지속되며, 그 결과로 콘크리트 강도 및 내구성이 점진적으로 또는 특별한 경우에는 급속히 저하하게 된다.

화재가 발생한 철근콘크리트 구조물의 건전도 평가를 위해서, 육안조사를 통해 균열양상, 폭렬, 색깔변화 등을 관찰하고 코어링 압축강도법 및 비파괴시험 등을 이용하여 콘크리트의 열화정도를 평가하게 되며, 이 결과를 이용하여 구조물의 해체, 보수보강 등을 신속히 결정하는 것이 경제적 손실을 최소화하는데 매우 중요하다.

또한 구조물의 건전도 평가 후, 화재로 열화된 콘크리트의 보수보강방법으로는 일반적으로 열화된 콘크리트를 제거하고 새로운 콘크리트로 교체하는 방법이 주로 사용되고 있다. 그러나 최근에 연구결과¹⁾에 의하면 화재 피해를 입은 콘크리트에 특별한 보수보강없이 적절한 수분 조건이 공급되는 재양생 방법으로도 콘크리트 강도가 회복된다고 알려져 있으며, 이는 화재 피해 구조물의 보수보강 비용을 저감할 수 있는 중요한 결과이다.

따라서 본 연구의 목적은 콘크리트 강도, 재양생 방법 및 재령 등을 변수로 하여 화재 후 콘크리트의 재수화반응에 의한 강도복원도를 정량적으로 규명함으로써 화재 피해 구조물의 보수보강 시 경제적 설계를 위한 기초 자료를 제시하고자 한다.

* 정희원, 안산공과대학 건축과 조교수

** 정희원, 남서울대학교 건축학과 부교수

*** 정희원 연세대학교 건축공학과 교수

2. 시험개요

2.1 시험체 제작

본 실험은 일반강도와 고강도 영역의 콘크리트를 대상으로 화재 시 콘크리트의 강도복원도 추정을 위해 콘크리트 강도를 20, 30, 40, 50, 60MPa의 5가지 종류로 구분하여 배합을 계획한다. 또한 모든 배합의 목표 슬럼프는 15cm로 정하고(단 50, 60MPa는 슬럼프플로우를 65cm으로 설정), 목표 공기량은 4.5%(오차범위는 1.5%)를 목표로 하여 배합하였다.

또한 시험체는 $\Phi 100 \times 200$ 콘크리트 공시체를 KS F 2405에 따라 170개 제작하여 24시간 후에 캡핑한 다음, 다시 24시간 후 탈형하여 20℃ 항온수조에서 28일 수중 양생하였다.

2.2 가열방법

본 연구의 시험을 위하여 사진 1과 같은 전기로를 제작한다. 전기로 사양으로, 내부 치수를 1300×900×800mm로 하고, 두께 100mm의 세라믹 판에 열선을 배선한다. 전기로 내부의 온도조건을 일정하게 하기위해 3개의 온도조절기를 설치하고, 용량은 1시간에 1000℃ 가열을 위해 60kw로 한다.

가열은 그림 1, 2와 같이 400℃와 600℃까지 선형증가 시키고 이 후 1시간 그 온도를 지속시켜 정상상태(steady-state) 가열조건을 모사한다.

2.3 재양생방법 및 채령

콘크리트 공시체를 전기로에서 사진 1과 같이 전면가열과 자연냉각 후, 수중조건 및 기건조건에 따라 7일, 28일, 56일 채령으로 재양생시켰다. 여기서 사진 2와 같이 수중조건은 공시체가 20℃ 항온수조에 방치된 조건이며, 기건조건은 공시체가 20℃와 67% 습도조건 항온 항습기에 방치된 환경을 의미한다.

콘크리트 공시체의 재양생이 완료된 후, 24시간 대기에 방치하여 표면이 건조된 상태에서 압축강도 시험을 수행하여 강도복원도를 평가하였다.

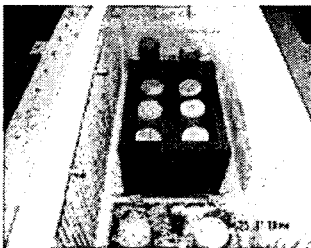
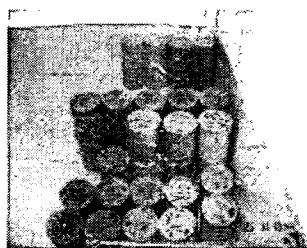


사진 1 전기로와 공시체



(a) 수중조건



(b) 기건조건

사진 2 공시체의 재양생 방법

3. 실험 결과 및 분석

3.1 공시체 내부 온도분포

콘크리트 공시체를 전기로에서 400℃와 600℃로 전면가열하는 조건에서 측정된 전기로와 공시체 내부 온도는 그림 1, 2와 같다. 여기서 공시체 깊이별 내부온도는 가열 면을 기준으로 3cm~15cm 깊이에 설치된 5개의 열전대를 통해 측정된 값을 나타낸다.

그림 1과 같이 400℃ 가열조건에서 공시체 깊이별 최고 온도는 전기로가 목표온도 400℃ 도달하고 1시간 경과 후, 전 공시체 깊이에서 400℃를 나타내고 있어 정상상태(steady state)조건을 만족하고 있다.

그림 2와 같이 600℃ 가열조건에서는 목표온도 600℃ 도달 후, 공시체 내부 온도가 680℃로 목표온도보다 더 높

아지고 있어 내부 균열로 인해 열이 직접 전달되어 온도상승이 되었다고 판단되며, 또한 150℃ 부근에서 공시체 내부 온도상승이 지연됨을 볼 수 있는데 이는 공시체 내부에 수분증발로 인해 온도 상승이 억제된다고 사료된다.

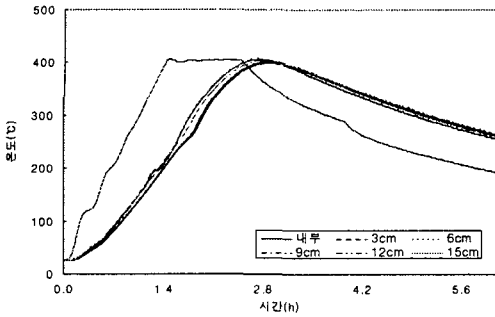


그림 1 400℃ 가열곡선 및 공시체 내부온도분포

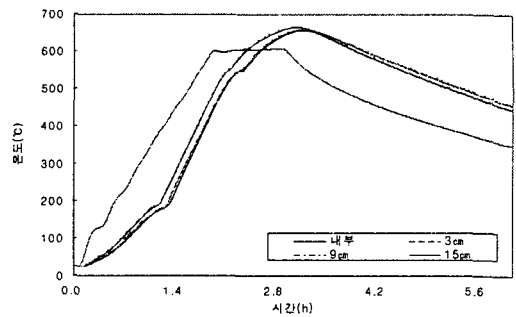


그림 2 600℃ 가열곡선 및 공시체 내부온도분포

3.2 재령방법에 따른 강도복원도

그림 3은 기건 재양생조건에 공시체의 강도 변수별 강도복원도를, 그림 4는 수중 재양생 조건에 공시체의 강도 변수별 강도복원도를 나타낸다. 그림 3에서와 같이 기건 재양생 조건에서는 시험체 전체적으로 강도복원률이 재령에 따라 큰 차이가 없으며, 다만 60Mpa 공시체에서 가열즉시와 재령 56일의 잔존강도 비교한 결과 600℃ 수열조건에서 20%에서 40%로, 400℃ 수열조건에서 50%에서 75%로 복원되었다.

그림 4에서와 같이 습윤 양생 조건에서는 강도복원률이 최대 85%까지 복원되면서 재양생 기간이 길어질수록 강도복원이 커지는 경향을 나타냈다. 특히 60Mpa 공시체의 경우, 600℃ 가열조건에 가열 즉시와 28일 재양생 후 강도복원율은 20%에서 45%로, 400도 가열 조건 시 50%에서 78%로 나타나 고강도일수록 가열 즉시 잔존 강도가 낮으나 재령에 따라 강도 복원률은 커짐을 알 수 있다.

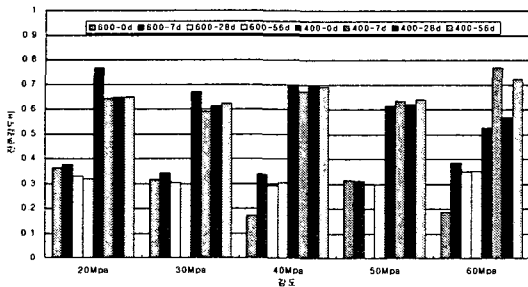


그림 3 기건 재양생조건에 강도복원도

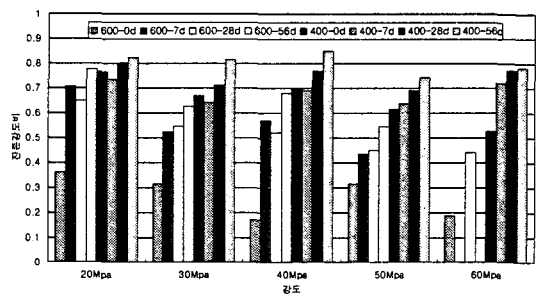


그림 4 수중 재양생조건에 강도복원도

3.3 수열온도에 따른 강도복원도

그림 5는 400℃에 1시간 노출된 공시체의 재양생 방법 및 재령에 따른 강도복원도를, 그림 6은 600℃에 1시간 노출된 공시체의 재양생 방법 및 재령에 따른 강도복원도를 나타낸다.

그림 5에서와 같이 400℃조건에서는 가열 즉시 잔존강도는 53%에서 78%의 값으로 손상정도가 600℃에 비해 작게 나타나며, 기건 재양생 조건에서 강도복원률은 미약하고 비율이 일정치 않으며, 또한 수중 재양생 조건에서 최대 56일 재령 후 강도복원률은 가열즉시와 대비하여 10% 정도 회복되는 것으로 나타났다.

그림 6에서와 같이 공시체 전체적으로 가열 즉시 잔존강도는 40% 이하 값으로 400℃에 비해 강도저감이 더 크게 발생하였고, 기건 재양생은 7일에서 56일까지 재령에 따른 강도 회복률이 적게 나타나고 수중 재양생은 가열 즉시 잔존강도와 비교하여 최대 50% 정도 강도 복원률을 보였다.

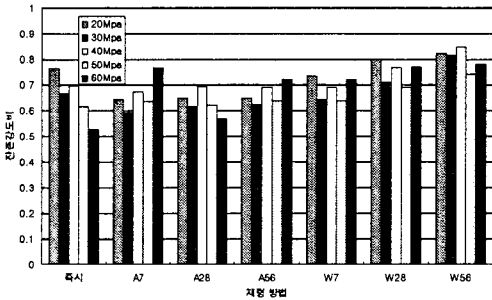


그림 5 400℃ 가열조건에 강도복원도

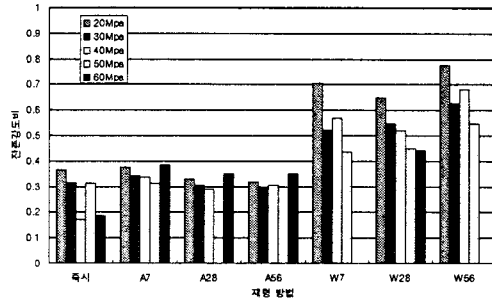


그림 6 600℃ 가열조건에 강도복원도

4. 결론

본 연구에서는 콘크리트 강도, 재양생방법 및 재령을 변수로 한 콘크리트 공시체를 대상으로 정상상태 가열조건으로 공시체를 전면 가열 한 후, 공시체의 강도복원도를 추정한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 기건 재양생 조건에 노출된 공시체는 강도복원의 일관된 특성을 나타내지 못하고 있으며, 수중 재양생 조건에서 강도복원은 최대 85%까지 회복되면서 기건 재양생에 비해 더 크게 나타났다.
- 2) 수열온도가 높아질수록 강도저감이 더 크게 발생하며 수중 재양생의 경우 재령이 길어질수록 강도복원률이 커짐을 알 수 있다.
- 3) 강도복원 특성을 정량적으로 평가하는 식 유도 및 실제 구조물에 강도복원 효과를 검증하기 위한 추가 연구를 통해, 화재 후 열화된 구조물에 경제적 보수보강 설계를 위한 기초 자료로 활용될 수 있다.

감사의 글

이 연구는 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원(과제번호: D00690)에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Chi-Sun Poon의 2인, "Strength and duability recovery of fire-damaged concrete after post-fire-curing", Cement and concrete research, 2001.1.
2. Long T. Phan의 1인, "Effects of test conditions and mixture proportions on behavior of high-strength concrete exposed to high temperatures", ACI materials journal, 2002.1