

고온에 노출된 콘크리트의 손상깊이 추정기법

Evaluation Technique of Damaged Depth of Concrete Exposed at High Temperature

최 광 호* 이 중 원**
Choi, Kwang Ho Lee, Joong Won

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate evaluation technique of damaged depth of concrete exposed at high temperature. In order to evaluate damaged depth of core picked at member under fire, the 12 specimens have been made with variables of concrete strength(20Mpa, 40Mpa, 60Mpa). Water absorption after heating has been measured and split tensile stress test was performed. The results show that the deeper of the depth from heating face, water absorption ratio is smaller and tensile failure stress is larger. Using this technique at damage evaluation of fired structure, We evaluate damaged depth of member under fire and determine the reasonable strengthening range.

1. 서 론

화재 피해를 입은 건축물의 전체 또는 개별 부재의 손상도 평가는 손상 정도를 공학적으로 접근하여 정량화하기가 어렵기 때문에 엔지니어의 주관적 판단에 의존하고 있다. 일반적으로 화재피해를 입은 철근콘크리트 구조물의 손상도 평가 방법으로 육안 관찰과 슈미트 해머나 초음파를 이용한 비파괴 검사와 현장에서 채취된 코어의 압축강도 실험으로 강도저하를 확인하고, 페놀프탈레인 시약에 의한 중성화 실험으로 손상 깊이를 추정한다. 그러나 이 들 기존 손상도 평가 방법으로는 명확한 손상 깊이를 정량적으로 추정하기가 어려우며, 따라서 구조물의 안전도 평가 시 엔지니어는 보수적인 판정을 하게 되고 이로 인한 과도한 보수 보강 비용이 든다. 따라서 합리적인 보수 보강 방법과 나아가 해체 여부를 정확히 판단하고 그 결과에 대한 신뢰도 제고를 위해서는 콘크리트 손상도에 대한 정량적 분석 평가가 이루어져야 한다.

본 연구에서는 화재 피해를 입은 철근콘크리트 부재의 손상 깊이를 정량적으로 평가하기 위해 일면 가열 공시체를 절편화시켜 콘크리트 깊이에 따른 함수율, 할렬 인장강도를 분석함으로써 손상 깊이를 정량적으로 평가하는 실험기법을 제안하고 그의 적용성을 검증하고자 한다.

2. 시험계획

2.1 시험개요

고온에 노출된 콘크리트의 손상깊이를 추정하기 위해, $\Phi 100 \times 200$ 콘크리트 공시체를 일면 가열조건으로 전기로에서 가열한 후, 2cm 두께로 잘라 공시체 깊이별로 함수율과 할렬 인장강도 변화를 건전 공시체와 비교분석함으로써 그에 따른 손상깊이 변화를 고찰한다.

*정회원, 남서울대학교 건축학과 부교수

**정회원, 안산공과대학 건축과 조교수

2.2 사용재료

본 실험에 사용된 시멘트는 국내산 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 굵은 골재는 최대치수를 20~25mm로 제한하고 잔골재는 조립율 2.7%, 흡수율 0.69%를 갖는 세척사를 사용하였다. 또한 혼화제는 플라이애쉬를 사용하여 배합강도 20, 40Mpa 은 대체율 10%, 배합강도 60Mpa 는 대체율 20%를 갖도록 조절하였고, 혼화제는 배합강도 20, 40Mpa은 표준형 AE감수제, 배합강도 60Mpa은 고성능 AE감수제 (폴리카르본사계)를 이용하여 배합강도 20, 40Mpa 은 결합재 중량비로 0.5%, 배합강도 60Mpa 은 결합재 중량비로 1.0%를 사용하였다.

2.3 콘크리트 배합 및 시험체 제작

2.3.1 배합

본 실험은 일반강도와 고강도 영역의 콘크리트를 대상으로 화재 시 콘크리트의 손상깊이 추정을 위해 콘크리트 강도를 20, 40, 60Mpa의 3가지 종류로 구분하여 배합을 계획하였다. 또한 모든 배합의 목표 슬럼프는 15cm로 정하고(단 60Mpa는 65cm으로 설정), 목표 공기량은 4.5%(오차범위는 1.5%)를 목표로 하여 배합하였다. 본 실험에서 이용한 콘크리트 재료의 배합사항은 표 1과 같다.

2.3.2 공시체 제작

공시체 제작은 KS F 2403 '콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법'에 따라 압축강도용 공시체(Φ 100x200)를 제작하였고, 또한 전기로에서 가열 시 공시체 내부의 온도측정을 위해 K형 열전대를 공시체 밑면에서부터 3cm, 6cm, 9cm, 12cm, 15cm 깊이에 공시체 중심부분에 삽입하여 제작하였다.

공시체 제작을 위해 먼저 굳지 않은 콘크리트를 콘크리트용 몰드에 담고 콘크리트의 초결이 시작되기 전에 온도 측정용 열전대 5개를 삽입한 후, KS F 2403에 따라 24시간 후에 캡핑한 다음, 다시 24시간 후 탈형하여 20℃ 항온수조에서 28일 수중 양생하였다.

2.4 시험기법

2.4.1 가열방법

가열온도 및 가열속도 조절이 가능한 컨트롤 박스를 외부에 설치하여 전기로 내부를 가열하도록 제작하였고, 또한 상부 뚜껑 부분에 구멍을 뚫어 공시체 일면 가열실험이 가능하도록 제작하였다. 전기로 상부에 공시체를 설치하여 목표온도를 800℃에 맞춰 13.33℃/분의 속도로 1시간 가열하여 목표온도 도달 후 4시간동안 유지되도록 제어하였다. 공시체 일면가열실험에 적용된 가열 그래프는 그림 1과 같다.

2.4.2 실험방법 및 절차

고온에 노출된 콘크리트의 손상깊이를 추정하기 위해, 일면 가열된 공시체를 2cm 두께로 절편화하고 절편 시험체별로 함수율과 할렬 인장강도를 측정하여 그 변화를 건전 공시체의 값과 깊이 별로 비교 분석하여 손상깊이를 평가하였다.

표 1 콘크리트 배합

강도 MPa	W/C (%)	S/a (%)	Binder (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	절대용적(l/m ³)					절대중량(kg/m ³)					
					G	S	C1	C2	C3	G	S	C1	BFS	FA	Ad
20	67.8	50.0	255	173	351	351	73	0	12	917	910	229	0	26	1.28
40	43.2	45.9	405	175	352	299	116	0	19	919	774	364	0	41	2.03
60	31.8	42.8	560	178	331	247	153	0	51	863	641	482	0	112	5.60

3. 실험결과 및 분석

3.1 균열양상

공시체는 전기로에서 일면가열한 후 화해에 의한 미세 균열이 발생하였다. 실험체의 강도는 20 Mpa에서 60 Mpa까지 20Mpa씩 증가되었는데, 고강도로 갈수록 균열 폭과 균열 수는 증가하였다. 이는 고강도 콘크리트일수록 치밀한 조직구조로 인해 가열 시 발생한 수증기에 의한 높은 공극압이 발생하였기 때문으로 판단된다.

3.2 전기로 내부 온도와 공시체 깊이별 온도

콘크리트 공시체를 전기로로 일면 가열 시 전기로 내부온도와 공시체 깊이별 온도를 그림 2에 나타냈다. 여기서, 전기로 가열은 일정한 가열속도(13.33℃/분)로 1시간에 목표온도 800℃에 도달한 후 4시간을 유지시키도록 하였으며, 이 때 공시체 내부온도는 일면 가열된 면을 기준으로 3cm ~ 15cm 깊이까지 3cm간격으로 설치된 5개의 열전대를 통해 측정되었다.

공시체 깊이별 최고 온도는 3cm에서 628℃, 6cm에서 441℃, 9cm에서 289℃, 12cm에서 184℃, 15cm에서 126℃를 나타내고 있다. 특히 3cm위치 열전대의 150℃정도에서 온도지연이 나타나고 있으며, 이는 공극 내의 수분 일부가 수증기로 증발되고 있기 때문으로 여겨진다.

3.2 공시체 깊이별 함수율변화

그림 3에서 20Mpa, 40Mpa, 60Mpa 강도의 깊이별 함수율 변화를 측정하여 건전 시시험체의 함수율과 비교하였다. 고온 가열된 공시체의 가열 면으로부터 깊이별 함수율 변화는 2cm 깊이에서 강도 20Mpa는 9.2%, 40Mpa는 10%, 60Mpa는 13.3%의 최대값을 보였으며 6cm 깊이까지 급격히 감소하다가, 이후부터는 완만하게 감소되었다.

3.3 할열 인장실험을 통한 잔존 압축강도비 변화

잔존 압축강도를 알아보기 위해 일면 가열된 공시체를 2cm 두께로 절편화하여 할열 인장강도 실험

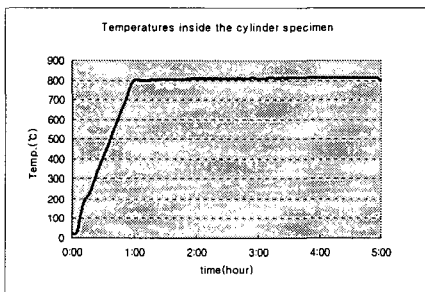


그림 1 가열온도곡선

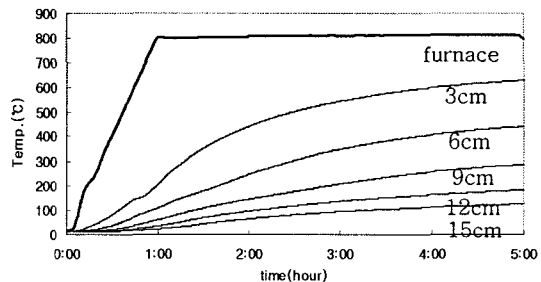


그림 2 전기로 및 공시체 깊이별 온도

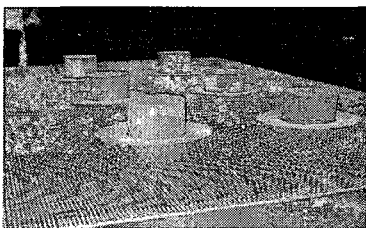


사진 1 공시체 일면가열

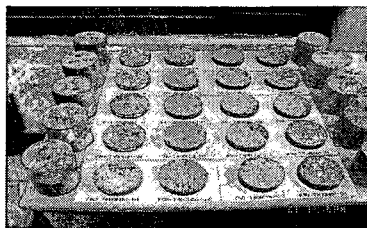


사진 2 공시체 절편

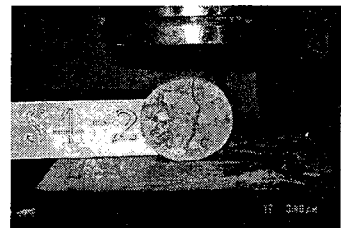


사진 3 할열 인장강도 실험

을 한 후, 그 값을 $f_{sp} = 1.8\sqrt{f_{ck}}$ 식을 이용, 잔존 압축강도를 계산하였으며 그림 4와 같다. 수열온도 60°C 이상에 노출된 수열 면에서 4cm 깊이까지는 모든 시험체의 잔존 압축강도가 거의 없으며, 6cm 깊이에서는 20Mpa 강도 공시체는 10%미만의 잔존강도를 나타내는 반면 40Mpa 공시체는 30%의 잔존 강도를 보이고 있으며, 10cm 깊이에서 20, 40Mpa 공시체의 잔존강도비는 50%정도를 나타내고 있다.

60Mpa 고강도 공시체의 경우 6cm 깊이까지의 잔존 압축강도비가 40Mpa 공시체와 유사하지만 8cm 깊이에서는 70%로 20, 40Mpa 공시체에 비해 상대적으로 강도손실이 적게 나타났다.

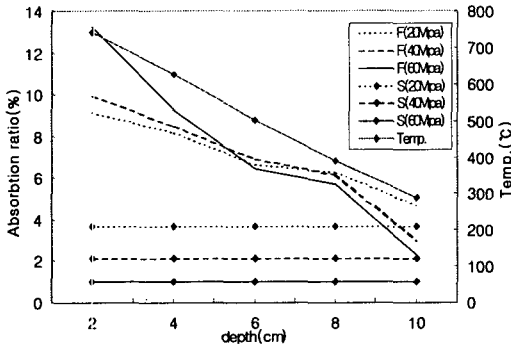


그림 3 공시체 깊이별 함수율 변화

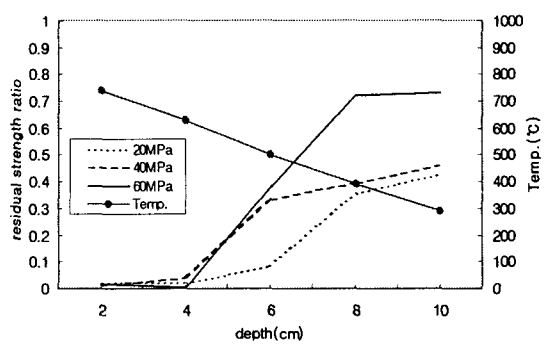


그림 4 공시체 깊이별 잔존 강도비

4. 결 론

본 연구에서는 콘크리트 강도를 변수로 한 공시체를 대상으로 전기로에 일면 가열한 후 2cm 두께로 절편을 만든 후, 공시체 깊이별로 함수율 측정과 할렬 인장강도 실험을 수행하여 손상깊이를 추정하였으며, 이로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 일면 가열된 공시체의 내부온도는 가열 면에서 깊이가 깊어질수록 작아졌다. 최고 온도는 3cm 깊이에서 628°C, 6cm에서 441°C, 9cm에서 289°C, 12cm에서 184°C, 15cm에서 126°C를 나타내고 있다. 특히, 깊이 3cm 우치 열전대의 150°C 정도에서 온도지연이 나타나고 있으며, 이는 공극 내의 수분 일부가 수증기로 증발되고 있기 때문으로 여겨진다.
- 2) 고온 가열된 공시체의 가열 면으로부터 깊이별 함수율 변화는 2cm 깊이에서 강도 20Mpa는 9.2%, 40Mpa는 10%, 60Mpa는 13.3%의 최대값을 보였으며 6cm 깊이까지 급격히 감소하다가, 이 후부터는 완만하게 감소되었다.
- 3) 할렬 인장강도 실험 결과로부터 잔존 압축강도 비를 계산하였으며 피복 두께까지는 잔존강도가 거의 없으며, 깊이가 깊어질수록 고강도 콘크리트의 잔존 강도비가 커져서 강도손실이 적게 나타났다. 따라서, 화재 피해를 입은 부재에 대해 현장에서 코어를 채취하고 여기에 본 연구에서 제안한 공시체 깊이별 함수율 측정과 할렬 인장강도 실험에 의한 손상깊이 추정기법을 적용하면 신뢰성있는 안전진단과 합리적인 보수 보강범위를 결정할 수 있다.

감사의 글

이 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2004년도 건설핵심기술연구개발사업(과제번호: 04핵심기술C02-02)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1 G. A. Khoury, "Compressive strength of concrete at high temperatures: a reassessment", Mag. of concrete research, 1992, 44, No.161, Dec.291-309.
- 2 J. R. dos Santos, F. A. Branco and J. de Brito, "Assessment of concrete structures subjected to fire", Mag. of concrete research, 2002, 54, No.3, June, 203-208.