

고온에 일면 노출된 콘크리트 부재의 손상 깊이 평가를 위한 실험적 연구

이중원^{1)*} · 최광호²⁾ · 홍갑표³⁾

¹⁾안산공과대학, ²⁾남서울대학교, ³⁾연세대학교

A Experimental Study on the Evaluation of Deteriorated Concrete Member Exposed One Side at High Temperature

Joong-Won Lee^{1)*}, Kwang-Ho Choi²⁾, and Kap-Pyo Hong³⁾

¹⁾ Dept. of Architecture, Ansan College of Technology, Ansan 425-792, Korea

²⁾ Dept. of Architecture, Namseoul University, Chonan 138-130, Korea

³⁾ Dept. of Architectural Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

ABSTRACT The determination of the depth of deteriorated concrete is one of the main problems in the structural assessment of concrete structures that have been subjected to a fire. This information is particularly important in order to optimize the future operations of repair/strengthening, or in decision-making concerning a possible demolition. The purpose of this study is to propose 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 24 specimens have been made with variables of concrete strength(20 MPa, 40 MPa, 60 MPa) and heating exposure condition in 600 and 800 for 2 hours. Color change analysis and water absorption after heating have been measured and split tensile stress test was performed to find the residual compressive strength against the depth of specimen. The results show that the deeper of the depth from heating face, water absorption ratio is smaller and residual stress ratio is larger and the color of heated face is changed to red color. Using this technique at damage evaluation of fired structure, We evaluate damaged depth of member under fire and determine the reasonable strengthening range.

Keywords fire, high temperature, reinforced concrete, damage evaluation, color analysis

1. 서 론

건축물의 화재에 대한 연구는 건물 자체의 내화성을 확보하기 위한 내화 재료 연구와 방화성에 관한 공간 기능적인 연구가 건축 계획적 측면에서 주로 수행되었고, 화재 피해를 입은 건축물이나 구성 부재의 손상도를 평가하는 방법에 관한 연구는 화재 피해 정도를 정량화하는 공학적 접근의 난점으로 활발하지 못하여, 화재 건물의 구조 손상도 평가를 수행할 때 엔지니어의 주관적 판단에 의존하고 있는 실정이다.

기존 화재 콘크리트 건축물의 부재 손상도에 대한 평가는 육안관찰과 슈미트 해머나 초음파를 이용한 비파괴 검사와 현장에서 채취된 코아의 압축강도로 추정하는데 이러한 평가 방법으로는 명확한 손상 깊이를 정량적으로 추정하기가 어렵다. 특히 코아 압축강도 테스트는 공시체의 압축강도를 구조체 압축강도 저

하의 대표 값으로 사용하게 되어 콘크리트 깊이 별로 수열온도에 따른 손상도 변화를 반영하지 못하는 불합리한 점이 있다.

따라서 본 연구에서는 화재로 인해 슬래브나 벽체와 같이 고온에 일면 노출된 철근콘크리트 부재의 손상 깊이를 정량적으로 평가하기 위해 색조분석, 흡수율과 할렬 인장강도시험에 의해 압축강도 잔존률을 평가하는 기법을 제안하고 고온에 노출된 콘크리트의 특성변화를 고찰함으로써, 그 적용성을 검증하고자 한다.

2. 시험계획

2.1 시험 개요

고온에 노출된 콘크리트의 손상깊이를 추정하기 위해, 콘크리트 강도와 가열조건을 변수로 하는 $\Phi 100 \times 200$ 콘크리트 공시체를 제작하여 일면 가열조건으로 전기로에서 가열한 후, 2 cm 두께의 절편을 만들어 색조분석, 흡수율과 할렬인장강도시험 결과에 의한 압축강

*Corresponding author E-mail : jwlee@act.ac.kr

Received January 25, 2006, Accepted April 28, 2006

©2006 by Korea Concrete Institute

도 변화를 가열되지 않은 건전 공시체와 비교분석함으로써 손상도 변화를 고찰한다.

2.2 콘크리트 배합 및 시험체 제작

2.2.1 사용재료

본 실험에 사용된 시멘트는 국내산 1종 보통 포틀랜드 시멘트이고, 굵은 골재는 최대치수를 20~25mm로 제한하였으며 잔골재는 조립율 2.7, 흡수율 0.69%를 갖는 세척사를 사용하였다. 혼화제는 플라이애쉬를 사용하여 설계기준강도 20, 40MPa는 대체율 10%, 설계기준강도 60MPa는 대체율 20%를 갖도록 조절하였고, 여기서 대체율은 시멘트의 대체재로 사용되는 혼화제의 비율을 의미한다. 사용된 혼화제는 배합강도 20, 40MPa의 경우 표준형 AE감수제였고 질량비를 0.5%로 하였다. 배합강도 60MPa의 경우 고성능 AE감수제 (폴리카르본산계)를 이용하여 질량비로 1.0%를 적용하였다.

2.2.2 배합

고온에 노출된 콘크리트의 손상깊이 추정을 위해 콘크리트 강도를 일반강도에서 고강도 영역까지 20, 40, 60MPa의 3가지 종류로 구분하여 배합을 계획하였다. 모든 배합의 목표 슬럼프는 15cm로 정하고(단 60MPa의 슬럼프 플로우는 65cm로 설정), 목표 공기량은 4.5%(오차범위는 1.5%)로 하였으며 정리하면 Table 1과 같다.

2.2.3 공시체 제작

공시체 제작은 KS F 2403 ‘콘크리트의 압축강도 시험용 공시체 제작 방법’ 따랐으며 크기는 $\Phi 100 \times 200$ 으로 하였다. 공시체 제작 시 Photo 1과 같이 내부 온도측정을 위해 K형 열전대를 표면에서 3cm, 6cm, 9cm, 12cm, 15cm 위치의 중앙부에 삽입하였고 KS F 2403에 따라 24시간 후에 캡핑한 다음, 다시 24시간 후 탈형하여 20°C 항온수조에서 28일 수중 양생하였다.

2.3 시험기법

2.3.1 가열방법

Fig. 1과 같이 가로×세로×길이 87cm×80cm×150cm인 전기로를 제작하였다. 전기로 상부 뚜껑에 공시체

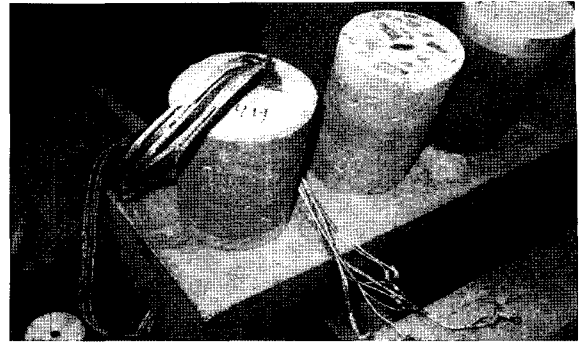


Photo 1 Cylinder specimen with K-type thermal couplers

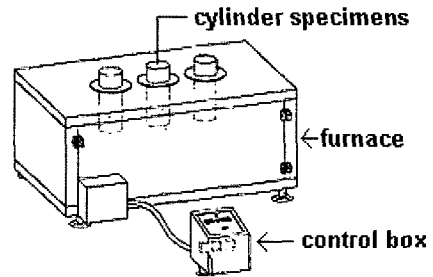


Fig. 1 Furnace model

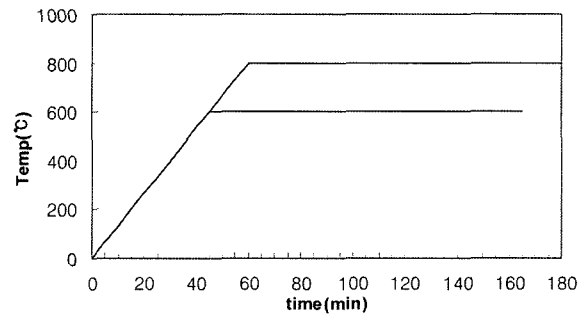


Fig. 2 Heating temperature curve

장착용 구멍을 설치하여 일면 가열실험이 가능하도록 하였고 가열 온도 및 속도 조절이 가능한 컨트롤 박스를 설치하였다. 전기로 내부 온도를 600°C 및 800°C로 설정하고, 13.33°C/분의 속도로 가열하여 45분과 60분만에 목표 온도에 도달되도록 하였으며, 목표 온도에 도달 후 공시체 내부 온도가 균일하도록 2시간동안 그 온도가 유지되도록 제어하였다. 공시체 일면가열실험에 적용된 가열 곡선은 공시체의 비재하 잔존강도 내화실험을 위해 Fig. 2와 같이 적용하였다.

Table 1. Mixture design of concrete

f _{ck} MPa	W/C (%)	S/a (%)	Binder (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Mix proportions(kg/m ³)				
					G	S	C1	FA	Ad
20	67.8	50.0	255	173	917	910	229	26	1.28
40	43.2	45.9	405	175	919	774	364	41	2.03
60	31.8	42.8	560	178	863	641	482	112	5.60

Note) FA: fly ash, Ad: AE water reducing agent

2.3.2 실험방법 및 절차⁶⁾

고온에 노출된 콘크리트의 손상깊이를 추정하기 위해, 일면 가열된 공시체를 절편으로 만들고, 각각에 대해 흡수율과 할렬 인장강도를 측정하였으며 그 변화를 건전 공시체 값과 비교분석하여 손상깊이를 평가하였다. 실험용 공시체는 전술한 바와 같이 20, 40, 60MPa 강도마다 600°C와 800°C로 가열하는 조건으로, 각 조건마다 4개씩 총 24개를 제작하였으며 각 조건마다 4개의 평균값을 이용하였고, 또한 각 공시체의 조각 절편은 가열 면에서 2cm 두께로 4조각, 10cm 두께 1조각을 만들어 깊이별 실험결과를 획득하였다. 본 연구에서 수행된 실험 순서 및 방법은 Fig. 3과 같다.

2.3.3 색조분석방법⁸⁾

고온에 노출된 콘크리트는 온도에 따라 색상이 변하는 특성이 있으며, 일반적으로 수열온도 300°C~600°C에서는 콘크리트가 핑크나 빨강색(pink or red), 600°C~900°C는 회색(whitish grey), 900°C~1000°C는 담황색(buff)으로 변한다고 알려져 있다.

색조분석은 Fig. 4와 같이 L*C*h 표색계를 기준으로 측정하며, 측정값 중 수열온도에 따른 콘크리트 변색과 밀접한 관계가 있는 색상 좌표 변화에 초점을 맞춰 분석하였다.

Fig. 4에서 L*는 명도(lightness), C*는 채도(Saturation)를 표시하고 있는데, C* 값이 증가하면 표색계 원의 외측에 위치하여 색감이 증가하고 반대로 감소할 때

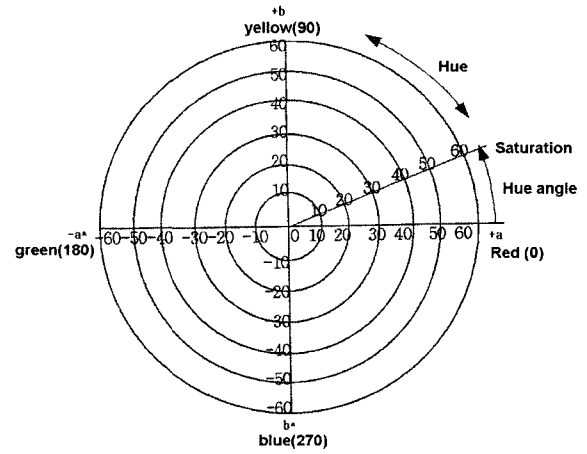


Fig. 4. L*C*h color space

는 원의 중심축에 위치하여 무채색이 된다. 또한 h는 색상각도(hue angle)를 표시하고 있고 a*의 빨강색 방향의 축을 0도로 하여 반시계방향으로 이동한 각도에 따라 색상의 위치가 결정된다.

가열된 절편 시험체의 색조분석은 공시체 일면가열 및 자연냉각을 거쳐 1일이 경과된 후 수행하였고, 사용 기기는 일본 MINOLTA사 색조분석기(Spectrophotometer, CM-2500d)를 사용하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 균열 및 변색 상태

콘크리트 공시체를 전기로에서 가열시키고 난 후 가열 면에 발생한 균열 및 변색 상태는 Photo 5와 같다. 800°C 가열조건에서 20MPa강도 공시체는 0.15mm 크기의 균열이, 40MPa는 0.2~0.3mm 크기의 균열이 표면 주변에만 발생하였으나, 60MPa 공시체에서는 표면에 0.6~0.7mm 비교적 큰 균열이 발생하여 공시체 내부로 진행되었다. 반면에 600°C 가열조건에서는 가열 면에 육안으로 식별이 가능한 균열이 관찰되지 않았다.

콘크리트의 고온 수열 시 수분 손실에 의한 수축과 열팽창이 동시에 진행되는 데, 이 때 균열은 시멘트페

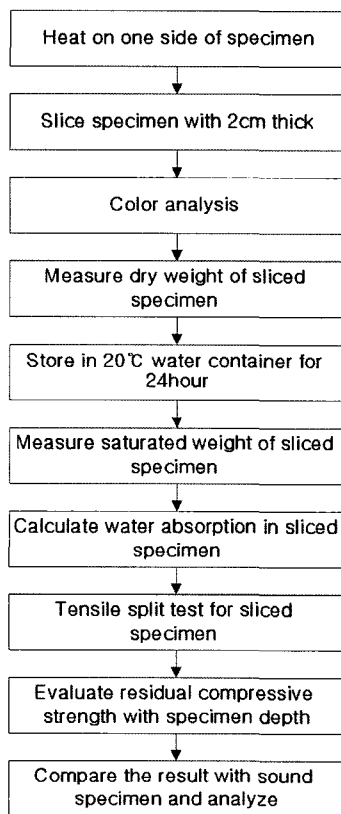


Fig. 3. Test procedure

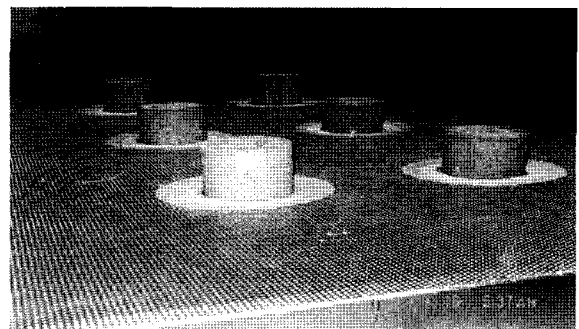


Photo. 2. One-side heating specimen



Photo 3 Sliced specimen with 2 cm thick

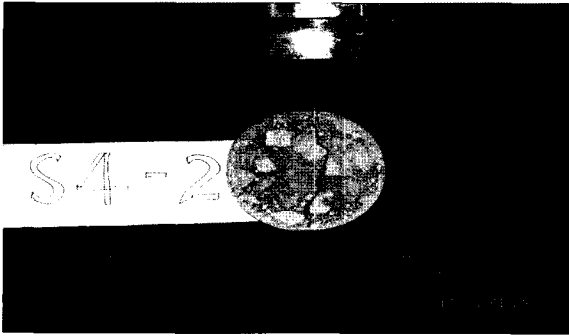


Photo 4 Tensile split test

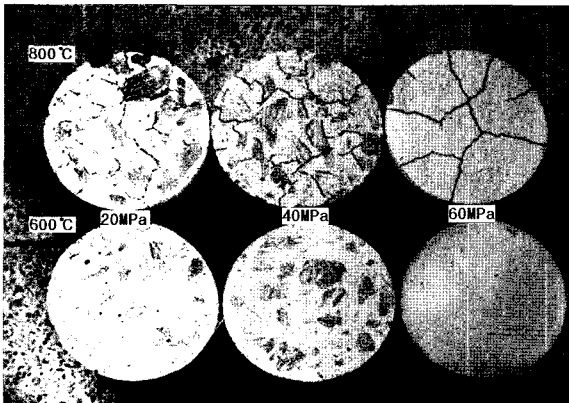


Photo 5 Crack pattern for heated face

이스트와 골재의 열팽창계수 차이로 발생한다. 강도가 높은 콘크리트는 치밀한 내부 조직구조를 가지고 있기 때문에, 온도 증가 시 콘크리트 공극 내에 수증기에 의한 높은 공극압이 발생하여 큰 폭의 균열이 발생된다고 알려져 있다^{1,7)}.

가열면의 색상변화는 육안으로 관찰한 결과 800°C 가열조건에서 20MPa, 40MPa 공시체는 확연한 붉은 색상으로 변화하였으며 60MPa에서는 별다른 색상변화는 없었다. 또한 600°C의 가열조건에서 20MPa, 40MPa는 옅은 붉은 색상으로 변화하였으나 60MPa에서는 별다른 색상변화가 관찰되지 않았다.

3.2 공시체 내부온도

콘크리트 공시체를 전기로에서 600°C와 800°C로 일

면가열하는 조건에서 측정된 전기로와 공시체 내부 온도는 Fig. 5, 6과 같다. 여기서 공시체 깊이별 내부온도는 40MPa공시체를 기준으로 가열 면으로부터 3cm~15cm 깊이에 설치된 5개의 열전대를 통해 측정된 것을 나타낸다.

800°C 가열조건에서 공시체 깊이별 최고 온도는 3cm에서 579°C, 6cm에서 396°C, 9cm에서 232°C, 12cm에서 139°C, 15cm에서 101°C를 나타내고 있다. 반면 600°C 가열조건의 경우 3cm에서 514°C, 6cm에서 326°C, 9cm에서 130°C, 12cm에서 95°C, 15cm에서 26°C였다. 이를 비교할 때 800°C 가열조건에서 최고 온도가 600°C 가열조건보다 3%~21% 높은 것으로 나타났다. 특히 800°C 가열조건에서 150°C일 때 3cm 위치의 열전대가 급격한 온도상승을 보이고 있는데, 이는 열이 공시체에 발생한 균열을 통해 열전대에 직접 전달되었기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 공시체 깊이별로 시간변화에 따른 온도 증가 경향은 600°C와 800°C 가열구간인 45분과 1시간까지는 가파르게 온도가 증가하고 2시간 유지구간에서는 완만한 온도 증가 경향을 나타내고 있으며, 그 이후에는 자연냉각상태로 온도가 감소됨을 알 수 있다.

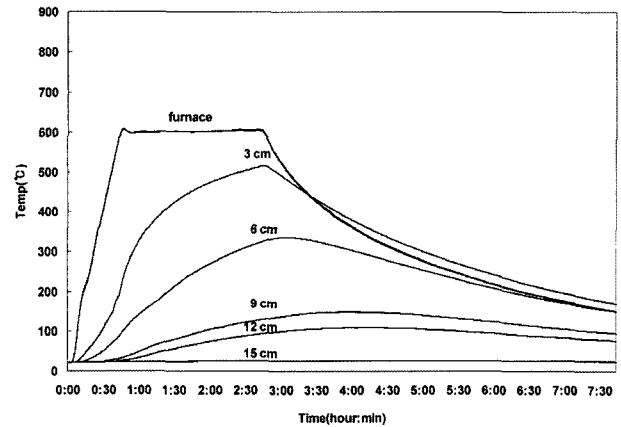


Fig. 5 Temperature against specimen depth at 600°C heating condition

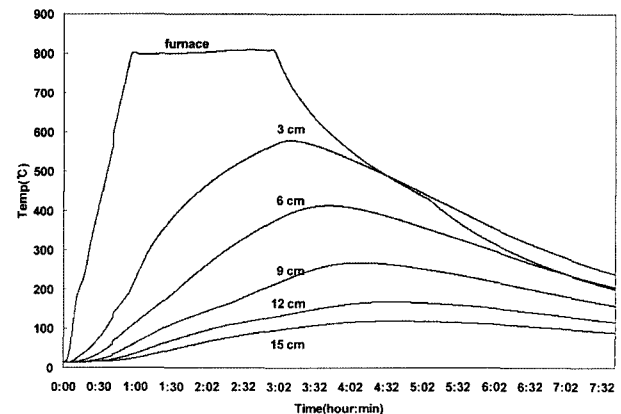


Fig. 6 Temperature against specimen depth at 800°C heating condition

3.3 공시체 깊이별 상대 색상(Relative hue) 변화

콘크리트 공시체를 전기로에서 600°C와 800°C 일면 가열조건에서 가열 후 2cm 두께 절편으로 만든 시편에 대해 색조분석을 실시하였으며 공시체 깊이에 따라 측정된 색상 값의 상대값(relative hue value)과 온도분포는 Fig. 7, 8과 같고, 색상 값의 상대변화는 건전 공시체의 색상 값에 대한 화해 공시체의 색상 값의 비를 나타낸다. 800°C 가열조건의 색상 값을 살펴보면 20MPa는 82%~100%, 40MPa는 87%~103%, 60MPa는 81%~100%를 나타내고 있는데, 이로부터 가열 면에 가까울수록 가열 면 색상은 빨간 색으로 더 가까워짐을 알 수 있다.

600°C 가열조건의 경우, 20MPa는 84%~104%, 40MPa는 86%~100%, 60MPa는 87%~100%를 나타내고 있는데, 800°C 가열조건과 비교하면 변화하는 경향은 같지만 색상 값이 3%~8%정도 상향된 값을 나타내고 있어 수열온도가 낮을수록 빨간 색으로 변색이 둔화되고 있었다.

또한 온도변화에 따른 상대색상변화는, 500°C 이상에서는 81%~89%, 350°C~500°C에서는 91%~97%, 300°C 미만에서는 색상 값의 변화가 크지 않았다.

3.4 공시체 깊이별 흡수율 및 색상변화

강도 별로 절편 시험체의 흡수율 변화를 깊이에 따

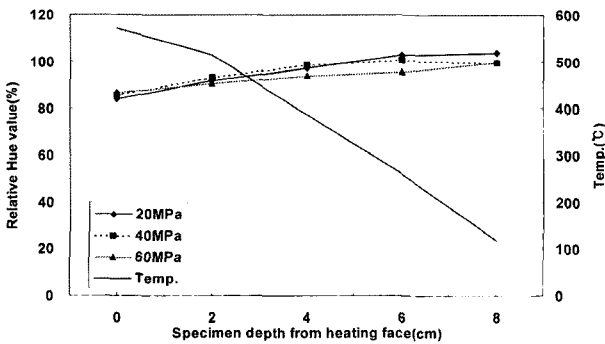


Fig. 7 Relative Hue value and temperatures against specimen depth at 600°C heating condition

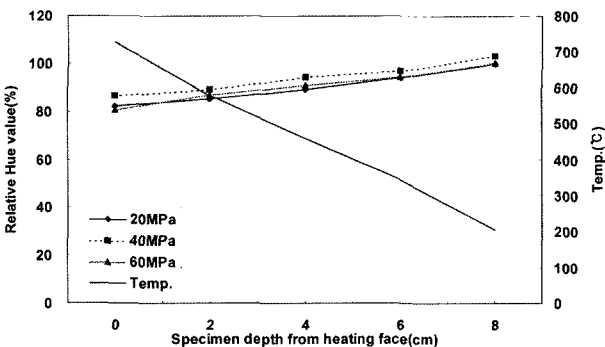


Fig. 8 Relative Hue value and temperatures against specimen depth at 800°C heating condition

라 계산하여 건전 시험체의 흡수율과 비교하였으며 표 2, Figs. 9, 10과 같다. 그림에서 15cm 깊이는 절편공시체 10 cm 크기의 중간 깊이 값, 즉 가열 면에서 15 cm 위치를 의미한다.

600°C 가열조건인 Fig. 9에 의하면 가열 면에서 2cm 깊이에서 건전 절편 시험체의 평균 흡수율은 콘크리트 강도 20MPa에서 4.2%, 40MPa에서 2.6%, 60MPa에서 1.4%를 나타내고 있고, 가열 시험체의 흡수율은 20MPa에서 7.54%, 40MPa에서 7.52%, 60MPa에서 10.16%로 기록되었는데, 공시체 깊이가 깊어질수록 건전 시험체의 흡수율과 차이가 점점 적어지는 경향을 보여주었다. 특히 60MPa 공시체의 경우 두 가지 특징이 나타났다. 첫째로 4cm 깊이까지는 흡수율이 급격히 감소하다가 6cm 이후에서는 완만하게 감소되는 경향과 둘째로 4cm 이전에서는 흡수율이 20MPa, 40MPa보다 큰 값이나 6cm 이후에서는 20MPa, 40MPa의 흡수율보다 적어지는 경향이였다. 이는 깊이 4cm 에서 공시체 온도가 500°C에 도달되며, 고강도일수록 조직이 치밀하여 균열 발생 및 수분 증발에 의한 공극발생이 촉진되기 때문에 공시체의 흡수율이 커지고 있다고 판단된다. 또한 300°C 미만의 온도가 계속된 6cm 이후 시편에서는 보통강도 흡수율이 고강도보다 커지는 것으

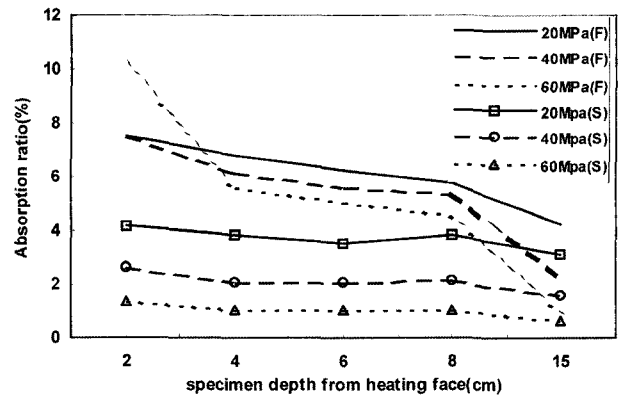


Fig. 9 Water absorption variation against specimen depth at 600°C heating condition

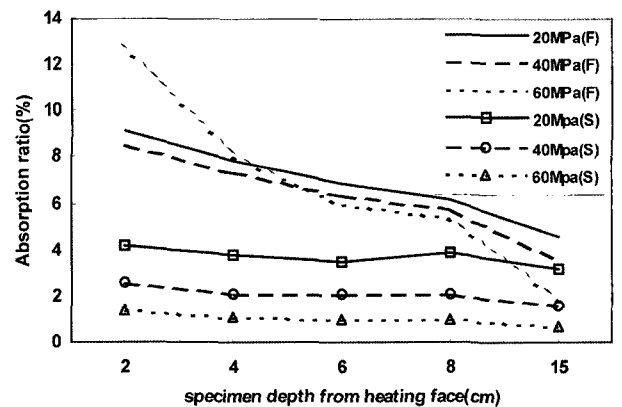


Fig. 10 Water absorption variation against specimen depth at 800°C heating condition

Table 2 Water absorption ratio and relative hue value

section	weight after heating(g)					saturated weight(g)					water absorptionweight(g)					water absorption ratio(%)					relative hue value(%)					
	f _{ck}	specimen depth (cm)				specimen depth (cm)				specimen depth (cm)				specimen depth (cm)				specimen depth (cm)								
600°C -2h	20	337	334	360	344	1806	362	356	382	364	1883	25	23	23	20	77	7.5	6.8	6.3	5.8	4.3	84	92	97	103	104
	40	316	347	361	370	1852	339	368	382	390	1894	24	21	20	20	42	7.5	6.1	5.6	5.3	2.3	86	93	99	101	100
	60	301	369	396	379	1932	332	390	416	397	1949	31	21	20	17	17	10.2	5.6	5.1	4.6	0.9	87	91	94	96	100
800°C -2h	20	317	307	323	322	1921	346	331	345	342	2008	29	24	22	20	87	9.2	7.8	6.8	6.2	4.5	82	85	89	94	100
	40	347	303	303	306	1929	376	325	322	324	1997	30	22	19	18	68	8.5	7.3	6.4	5.8	3.5	87	89	94	97	103
	60	297	331	337	323	2022	335	358	357	341	2058	38	27	20	17	36	12.8	8.0	5.9	5.4	1.8	81	87	91	95	100

로 나타났다.

각 강도에서 공통적으로 깊이 15cm에서는 건전공시체와의 흡수율의 차이가 30%에서 40%내외로 작아짐을 보이고 있어 15cm이후에서는 온도증가에 의한 균열 및 공극의 발생이 작아짐을 알 수 있다.

800°C 가열조건인 Fig. 10에 따르면 깊이 2cm일 때 600°C 경우 보다 흡수율이 13%~25%정도 흡수율이 증가되었고, 15cm에서 흡수율은 건전공시체의 흡수율과 43%~163%차이를 보이고 있어 600°C 노출조건에 비해 흡수율의 변화폭이 컸다.

Table 2에서와 같이 흡수율 변화에 따른 상대 색상 값의 변화를 비교하면, 20, 40MPa 강도에서는 흡수율이 7%이상에서는 상대색상변화는 82%~89%, 흡수율이 5.4%~7%에서는 상대색상변화는 89%~97%, 흡수율이 5%미만에서 상대색상변화는 100%를 나타내고 있어 흡수율이 증가될수록 색상 값의 변화가 컸다.

또한 60MPa에서는 흡수율이 8%이상에서는 상대색상변화는 81%~87%, 흡수율이 5%~6%에서는 상대색상변화는 91%~95%, 흡수율이 4%미만에서 상대색상변화는 100%를 나타내고 있어 20, 40MPa에 비해 흡수율 변화가 커지면서 색상 변화도 크게 나타났다.

3.5 온도상승에 따른 흡수율 변화

온도변화에 따른 흡수율의 변화를 노출온도조건에 따라 표현하면 Fig. 12, 13과 같다.

Fig. 12와 같이 600°C 노출조건에서는 상온에서 1.1%~3.7%를 나타내던 흡수율이 400°C 부근에서는 6%정도를 나타내다가 500°C 이후에는 8%이상 값으로 온도가 상승될수록 점점 증가되었다. 또한 400°C 이하에서는 20MPa, 40MPa 흡수율이 60MPa보다 크게 나타났으며 60MPa경우 500°C이상 급격한 흡수율 증가가 있었다. Fig. 13의 800°C 노출조건에서도 온도가 상승할수록 흡수율이 증가되었고, 60 MPa경우 600°C 이상에서 급격한 흡수율 증가가 나타났다.

실험결과 콘크리트 공시체가 고강도이면서 600°C 이상에 노출되었을 때에는 보통 강도 콘크리트에 비해 흡수율 변화가 커지는데, 이는 고강도일수록 공시체

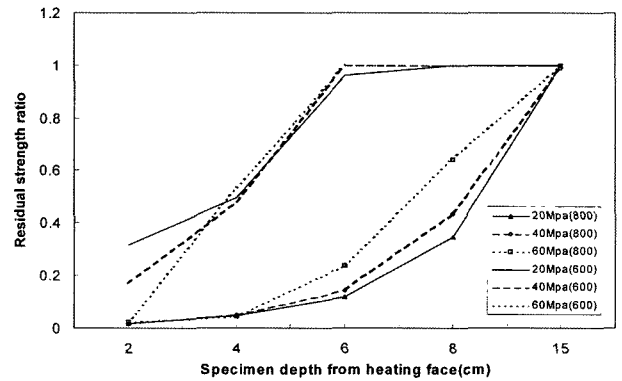


Fig. 11 Residual compressive strength ratio against specimen depth

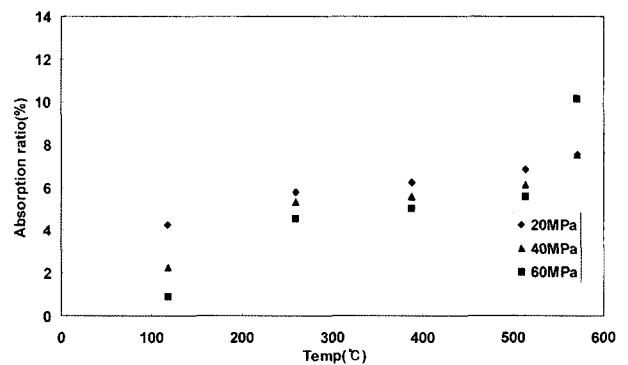


Fig. 12 Water absorption variation against temperature at 600°C heating condition

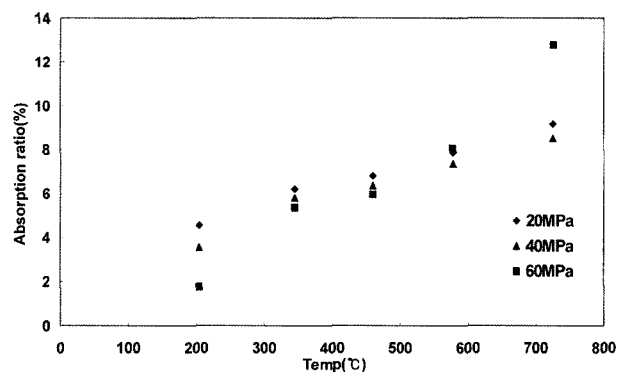


Fig. 13 Water absorption variation against temperature at 600°C heating condition

내부에 균열이나 공극 발생이 일반 강도에 비해 상대적으로 커지기 때문으로 판단된다.

3.6 공시체 깊이별 압축강도 잔존률 변화

절편화된 공시체의 활렬 인장강도 값을 문헌에서 제시하고 있는 압축강도와 상관식 $f_{sp} = 1.8\sqrt{f_{ck}}$ 식¹¹⁾을 이용하여 압축강도를 추정하였다. 이 결과를 건전 공시체의 압축강도와 잔존강도비로 공시체 깊이에 따라 나타내면 Fig. 11과 같다. 수열온도 600°C 가열 조건에 노출된 공시체는 수열 면에서 4cm 깊이까지는 잔존 강도율이 강도에 상관없이 50%미만을 나타내고 있었고, 공시체 깊이가 깊어질수록 증가하다가 6cm 이후로는 강도의 손실이 없는 것으로 나타났고, 특히 깊이 4cm 구간까지는 20MPa, 40MPa 강도에 비해 60MPa 강도 공시체의 강도저감이 더 큰 것으로 나타났다.

또한 800°C 가열조건에 노출된 공시체는 6cm 깊이까지는 압축강도가 20%이하로 저감되었으며, 공시체 깊이가 깊어질수록 증가하다가 10cm 이후로 강도저감이 미약한 것으로 나타나 가열온도 증가할수록 강도저감이 더 심화됨을 알 수 있다.

3.7 온도상승에 따른 압축강도 잔존률 변화

공시체가 경험한 최대온도에 따라 압축강도잔존율의 변화를 표현하면 Fig. 14, 15와 같다.

600°C 가열조건에 노출된 공시체는 최대 온도 500°C 이상에서 50%미만의 잔존강도를 보였고 400°C 이하의 온도에서는 강도저감이 크지 않았다.

또한 800°C 가열조건에 노출된 공시체는 400°C 이상에 노출되었을 때 잔존강도는 30%미만으로 감소하고 있으며, 200°C 이하에서는 강도의 감소가 없었다. 강도별로는 300°C~600°C 범위에서는 60MPa 강도가 20MPa, 40MPa에 비해 잔존강도가 높게 나타났으며 그 외의 구간에서는 유사한 값을 나타내고 있었다.

Fig. 14, 15와 같이 시험체의 압축강도 잔존률은 1989

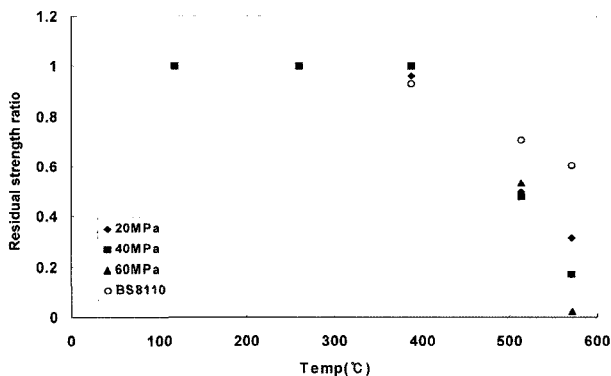


Fig. 14 Residual compressive strength ratio at the condition of 600°C exposure

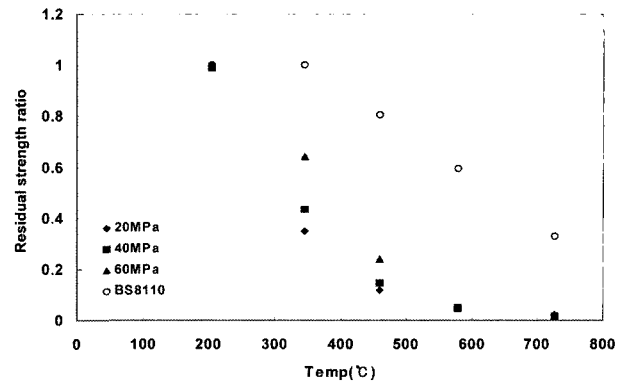


Fig. 15 Residual compressive strength ratio at the condition of 800°C exposure

년 BS8110¹⁰⁾에서 제시하고 있는 온도변화에 따른 잔존강도비와 비교하면 600°C 가열조건에서 공시체 내부 온도가 500°C 이상에서, 800°C 가열조건에서는 공시체 내부온도가 350°C 이상의 온도에서 실험값의 잔존강도비가 과소평가되어 나타나고 있다. 이는 600°C와 800°C 노출조건에서 공시체 내부온도가 350°C 이상의 구간은 가열 면에서 약 4cm~6cm 구간이며, 이 구간 내에 콘크리트는 2시간 동안 고온에서 집중적인 손상이 발생되었고 고온 균열 등으로 인해 직접적인 열의 공급으로 인해 잔존강도의 손실이 크게 발생되었다고 판단된다. 또한 BS8110에서 제시하고 있는 온도에 따른 잔존강도비 곡선은 콘크리트 강도에 대한 구분 없이 보통콘크리트 강도에 대해 제시된 값이며, 잔존강도비 작성 시 기준이 되는 시험체 크기, 시험방법, 가열조건 등이 본 실험과 차이가 있다고 사료된다.

따라서 시험체가 같은 온도를 경험하여도 잔존강도가 상이한 값으로 나타나고 있어 기존 기준의 세심한 적용이 필요하며 이에 영향을 주는 변수에 대한 추가 연구가 필요함을 알 수 있다.

3.8 화재피해 콘크리트 부재의 손상깊이 평가 시 주안점

화재 피해를 입은 콘크리트 부재의 손상 깊이를 정량적으로 평가하는 실험방법 적용 시 주안점을 정리하면 아래와 같다.

첫째로 본 실험방법은 화재로 인해 구조 부재가 일면 가열 조건에 노출된 경우에, 현장에서 채취된 코어 공시체에 대한 실험에 적용한다.

둘째로 색조분석실험은 화재 시험체의 색상 값을 측정하여 기준이 되는 건전 시험체의 값과의 상대 비교를 통한 부재 깊이 별 분석이 필요하며, 색상측정 시 측정 기기의 측정범위, 색상좌표에 따라 측정되는 값의 종류, 측정 시 조명과 관측조건, 측정방법 등에 유념하여 측정한다.

셋째로 흡수율실험의 결과는 건전 시험체와의 흡수율 차이를 비교함으로써 손상깊이를 파악하고 균열 발생 및 내구성 등에 대한 손상정도를 파악하는 자료로

활용한다.

끝으로 할렬인장강도법에 의한 잔존강도 평가를 위해서 건전공시체와의 잔존강도비로 분석하고 부재 깊이에 따라 압축강도의 저감을 평가함으로써 이에 따른 적정보수보강범위와 방법을 결정한다.

4. 결 론

본 연구에서는 고온에 노출된 콘크리트의 정량적인 손상도 평가기법을 제안하기 위해 일면가열 공시체를 대상으로 색조분석, 공시체 깊이 별 흡수율 분석 및 할렬 인장강도법에 의한 압축강도 잔존율을 추정 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 공시체 깊이별 색조분석 결과, 공시체가 고온에 노출된 경우 가열 면에 가까울수록 빨간 색상으로 가열 면이 변색 되며, 깊이가 깊어질수록 공시체 내부 온도가 낮아져 빨간색상으로 변색은 둔화되었다.
- 2) 가열온도가 높고 공시체 강도가 클수록 균열 및 공극 발생으로 인한 내부결함이 커져서 흡수율 변화가 더욱 커지는 것으로 나타났다. 또한, 가열 면에서 멀어질수록 흡수율은 건전공시체 값에 근접하며 압축강도 저감률이 적어진다.
- 3) 본 연구에서 제안한 가열조건 및 강도별로 공시체 깊이에 따른 잔존강도의 정량적 평가 기법은 화재 피해를 입은 슬래브나 벽체의 코어링 공시체에 적용하여 잔존강도 판단을 위한 평가방법으로 활용할 수 있을 것이다.
- 4) 수열온도별 콘크리트 잔존강도 값은 가열온도, 콘크리트 강도 등의 변수나 실험방법에 따라 그 값이 달라지므로 기존 기준의 적용 시 세심한 주의가 필요하며, 또한 화재 구조물의 손상도를 객관적으로 평가하기 위한 평가방법 및 지침의 개발이 필요하다.

감사의 글

이 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2004년도 건설핵심기술연구개발사업(과제번호: 04핵심기술C02-02)의 연구비 지원과 2004학년도 안산공과대학 학술연구비에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 오창희, 강병희, “고온수열콘크리트의 성상에 관한 실험적 연구(I)”, 대한건축학회논문집, 3권 6호, 1987. 12, pp.163~171.
2. 김홍열, 이세현, 서치호, “고온 가열시 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집 제18권 11호, 2002. 11, pp.77~84.
3. 송훈, 문경주, 소양섭, “고온하의 시멘트 경화체의 물리적 특성 및 공극구조”, 대한건축학회논문집 제20권 1호, 2004.01, pp.107~114.
4. 한국콘크리트학회, “철근콘크리트 구조물의 내화특성”, 콘크리트특집도서, KCI SP4, 2005. 03, pp.13~14.
5. G. A. Houry, “Compressive strength of concrete at high temperatures: a reassessment”, *Mag. of concrete research*, 1992, 44, No.161, Dec. pp.291~309.
6. 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, pp.203~208.
7. Y. Ichikawa, G. L. England, “Prediction of moisture migration and pore pressure build-up in concrete at high temperatures”, *Nuclear Engineering and design*, 2004. 06, pp. 245~259.
8. Nabi Yuzer, Fevziye Akoz, Leyla Dokuzer Ozturk, “Compressive strength-color change relation in mortars at high temperature”, *Cement and Concrete Research*, 2004, pp.1~5.
9. ACI 216R-89, “Guide for Determining the Fire Endurance of Concrete Elements”, 2001, pp.15~20.
10. BSI, “Section four. Fire resistance”, BS8110 part2, 1989, pp.1~11.
11. R. Park and T. Paulay, “Reinforced concrete structures”, *John wiley & Sons*, 1975, pp.15~17

요 약 화재 피해 콘크리트 건축물의 기존 손상도 평가 방법은 명확한 손상 깊이를 정량적으로 추정하기가 어렵고, 특히 코어 압축강도 테스트는 콘크리트 깊이별로 수열온도 따라 손상도의 변화를 반영하지 못하고 손상 공시체의 압축강도를 구조체 압축강도 저하의 대표 값으로 사용하게 되어 손상 깊이의 판단이 어려운 불합리한 점이 있다. 따라서 본 연구에서는 화재 피해를 입은 철근콘크리트 슬래브나 벽체 부재의 손상 깊이를 정량적으로 평가하기 위해서, 공시체를 대상으로 전기로에서 일면 가열한 후, 2 cm 두께로 절편화시켜 색조분석, 흡수율 및 할렬인장강도실험에 의한 압축강도를 분석함으로써 공시체 깊이별 손상 깊이를 정량적으로 평가하는 실험기법을 제안하고 고온에 노출된 콘크리트의 특성변화를 고찰함으로써 그 적용성을 검증하였다. 실험결과, 본 연구에서 제안한 손상도 평가기법은 가열조건 및 강도별로 공시체 깊이에 따른 잔존강도의 정량적 평가가 가능하였으며, 이 결과를 이용하여 화재를 경험한 슬래브나 벽체의 보수보강 범위를 선정하는 판단 기준으로 활용할 수 있는 것으로 나타났다.

핵심용어 화재, 고온, 철근콘크리트, 손상도 평가, 색조분석