

## 화재피해 콘크리트의 수열온도에 따른 강도 및 색상 변화 연구

# A Study on the Variation of Strength and Color According to Heated Temperatures of Fire-Damaged Concrete

최광호<sup>1\*</sup>

Kwang-Ho Choi<sup>1\*</sup>

(Received August 13, 2020 / Revised August 26, 2020 / Accepted August 27, 2020)

In the safety diagnosis of fire-damaged concrete structures, it is difficult to evaluate the strength and changes in materials due to high temperatures with the existing durability analysis method. In particular, the compressive strength of specimen with different damage levels by thickness is used as a representative value for reducing the compressive strength of the structural member. In this study, a heating experiment was performed with only top face heating and fully heating conditions at 400°C to 800°C. After heating, splitting tensile test and color analysis were performed to sliced specimens with a thickness of 20mm accompanied by the compressive test of a fully heated specimen. As a result of the experiment, the compressive strength reduction rate calculated from the splitting tensile strength of every sliced specimen appeared to be within 10% of the fully heated specimen on average, and the hue value analysis showed consistent color values were observed by red at 400°C-600°C and gray at 700°C or above. It follows that the techniques proposed in this study are reasonably assessable to estimate heated temperature and residual compressive strength and damage depth of concrete.

**키워드** : 콘크리트 손상깊이, 잔존 압축강도, 색조분석, 가열실험

**Keywords** : Damage depth of concrete, Residual compressive strength, Colour change analysis, Heating experiment

## 1. 서론

화재로 인해 고온에 노출된 콘크리트는 수열온도에 따라 재료 및 구조성능이 함께 변화되어 균열 및 압축강도 저하는 물론 색상 변화까지 발생하기 때문에 상온에서의 노후화 건축물의 성능저하와는 양상이 다르다. 일반적으로 화재로 손상된 콘크리트 재료나 건축물에 대한 손상도 평가는 상온 시의 내구성 평가와 마찬가지로, 육안관찰과 슈미트 해머나 초음파를 이용한 비파괴 검사, 현장에서 채취된 코아 공시체에 대한 압축강도와 페놀프탈레인 시약에 의한 변화로서 손상 깊이를 평가한다(Colombo and Felicetti 2007). 하지만, 화재피해 진단 시 이와 같은 내구성 평가 방법만으로는 부재 내부의 수열온도 변화와 고온에 의한 화학적 변화 및 색상 변화 등을 정량화하기가 어려워, 고온에 따른 성능저하 평가는 상온 시의 내구성 진단 평가에 보정치를 부여하는 구조 엔지니어

의 주관적 판단에 의존하고 있는 실정이다. 특히 고온에 의한 잔존 압축강도 평가 시 현장에서 채취하는 코아 공시체에 대한 압축강도 실험결과만을 사용하고 있어, 화재 피해 콘크리트 부재의 깊이 별로 수열온도에 따른 손상도 변화를 반영하지 못하는 불합리한 점이 있다.

고온에 노출된 콘크리트의 정량적인 손상도 평가를 위해서는 기존 평가기법의 문제점을 파악하고 이를 보완하는 평가방법에 대한 연구가 필요하다. 또한 온도 증가에 따라 콘크리트에 균열, 색상변화, 압축강도 저하 등과 같은 온도변화와 연관성을 갖는 변수들을 평가지표로 선정하고 이들과 온도와의 관계식을 정량적으로 평가함으로써 합리적인 화재 피해 건축물의 안전진단이 가능할 수 있을 것이다(Choi et al. 2009). 이 연구에서는, 화재로 고온에 노출된 콘크리트 부재의 손상깊이를 정량적으로 평가하기 위하여, 수열 온도, 색상변화 그리고 강도감소를 지표로 설정하고, 수열

\* Corresponding author E-mail: choikh@nsu.ar.kr

<sup>1</sup>남서울대학교 건축공학과 교수 (Department of Architectural Engineering, Namseoul University, Chungnam, 31020, Korea)

온도별 색조분석과 압축강도 잔존률을 평가하기 위해 코아 공시체에 대한 직접 압축강도 실험과 공시체 절편에 대한 쪼갬 인장강도 실험 기법을 제안하고, 고온 특성변화를 고찰함으로써 화재 피해 콘크리트 건축물의 내구성 향상 및 지속가능성을 높이고자 한다.

## 2. 시험계획

### 2.1 시험 개요

고온에 노출된 콘크리트의 손상깊이를 평가하기 위해, 콘크리트 설계강도가 50MPa인  $\Phi 100 \times 200$  콘크리트 공시체를 제작한 후, 전기로를 사용하여 가열온도와 일면 및 전면 가열조건을 변수로 내화실험을 수행한다. 가열된 콘크리트 공시체 중 전면 가열 공시체에 대해 압축강도 실험을 실시하고, 일면 가열된 공시체는 두께 20mm 절편으로 만들어 색조분석과 쪼갬 인장강도실험을 진행한 후, 상온 공시체 실험 값과 비교 분석을 통해 압축강도 등의 상대적 인 손상도 변화를 고찰한다.

### 2.2 콘크리트 배합 및 공시체 제작

#### 2.2.1 콘크리트 배합

이 연구의 콘크리트 제조에 사용된 시멘트는 국내산 1종 보통 포틀랜드 시멘트이고, 굵은 골재는 최대치수를 25mm로 제한하며 잔골재는 조립율 2.92%, 표준밀도 2,60을 갖는 세척사를 사용한다. 사용된 혼화제는 고성능 AE감수제(폴리카르본사계)를 이용하여 중량비로 1.0%를 적용한다. 콘크리트 배합설계 시 설계 강도는 50MPa로 계획하고 슬럼프는 120mm로 설정하며, 목표 공기량은 2.0%(오차범위는 1.0%)로서 정리하면 Table 1과 같다.

#### 2.2.2 공시체 제작

공시체 제작은 KS F 2403 ‘콘크리트의 압축강도 시험용 공시체 제작 방법’에 따르며 크기는  $\Phi 100 \times 200$ 으로 한다. 공시체 제작 시 내부 온도측정을 위해 K형 열전대를 표면에서 20mm, 40mm, 60mm, 100mm 위치의 중앙부에 삽입하고 28일 수중 양생한다.

Table 1. Mixture design of concrete

f <sub>ck</sub> MPa	W/C (%)	S/a (%)	Water (kg/m <sup>3</sup> )	Mix proportions(kg/m <sup>3</sup> )			
				G	S	C1	Ad
50	29.5	43.5	166	936	707	563	5.63

note) Ad : adhesive(water reducing agent)

## 2.3 시험기법

### 2.3.1 실험방법 및 절차

고온에 노출된 콘크리트의 깊이별 손상도 평가를 위하여, 일면 가열된 공시체를 고온 노출면부터 20mm 두께의 조각으로 절편을 만든 후, 각각에 대해 쪼갬 인장실험과 색조분석을 수행한다. 또한 전면 가열 공시체에 대해 압축강도 실험을 진행하고 이 결과를 공시체 절편의 쪼갬 인장강도로부터 산정된 압축강도 값과 비교분석하여 공시체 깊이별 압축강도 변화를 고찰한다(Choi et al. 2006). 이 연구에서 수행된 실험방법을 순서대로 나열하면 Fig. 1과 같다.

### 2.3.2 가열방법

Fig. 1의 (a), (b)는 공시체 가열실험에 사용된 전기로의 상세로서, 내부 크기는 800mm×1,500mm 높이 900mm이고, 전기로 뚜껑에 구멍을 뚫어 공시체 일면 가열실험이 가능하도록 한다. 공

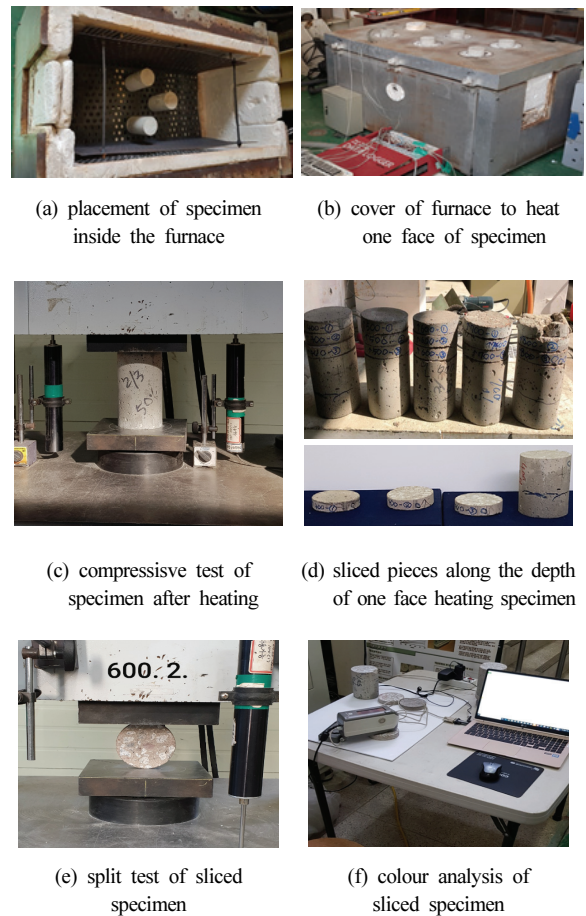


Fig. 1. Test procedure to find the depth of damage in heated concrete under fire

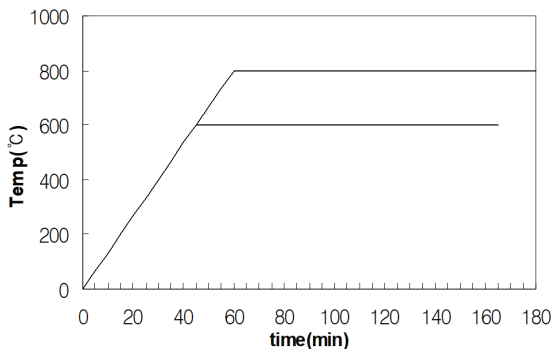


Fig. 2. Furnace heating curve

시체 가열 방법은 목표 온도를 400°C에서 800°C까지 100°C씩 변화시키면서, 가열속도를 13.3°C/분으로 하여 목표 온도에 도달 후 2시간동안 그 온도가 유지되도록 제어하고 자연냉각 되도록 한다. 예로, 목표온도 600°C와 800°C의 가열곡선이 Fig. 2에 나타나 있다.

### 2.3.3 색조분석방법

고온에 노출된 콘크리트는 수열온도에 따라 색상의 변화를 경험하는데 일반적으로 300°C에서 600°C에서는 핑크나 빨강색, 600°C에서 900°C는 연회색(whitish grey), 900°C에서 1000°C는 담황색(buff)으로 변한다고 알려져 있는데, 이렇게 콘크리트의 색상값(Hue value)은 온도가 증가함에 따라 변화하기 때문에 색상변화를 통하여 콘크리트 압축강도 저감 정도를 추정할 수 있다(Short et al, 2001).

색조분석은 Fig. 3과 같이 L\*a\*b 또는 이로부터 파생된 L\*C\*h 표색계를 기준으로 측정하며, 측정값 중 수열온도에 따른 콘크리트 변색과 밀접한 관계가 있는 색상좌표 변화에 초점을 맞춰 분석

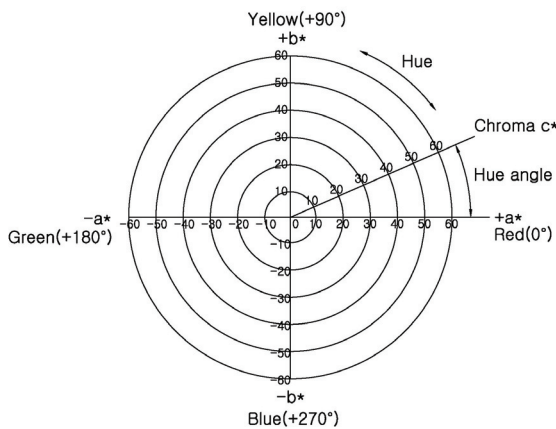


Fig. 3. L\*a\*b / L\*C\*h colour space

한다. Fig. 3의 표색계에서 L\*은 명도(Luminosity), a\*, b\*는 색의 방향을 표시하는데, +a\*는 빨강색 방향 -a\*는 녹색 방향으로, +b\*는 노랑색 방향, -b\*는 파랑색 방향을 표시하고 있다. 각 방향으로 수치가 커짐에 따라 색도가 높게 되고 중앙으로 감에 따라 무채색으로 된다. 색의 방향 a\*, b\*로부터 채도(Saturation) C\*와 색상각도(Hue angle) h는 식(1), 식(2)를 사용하여 표시할 수 있다. C\*값이 증가하면 표색계 원의 외측에 위치하여 색감이 증가하고 반대로 감소할 때는 원의 중심축에 위치하여 무채색이 된다. 또한 h는 a\*의 빨강색 방향의 축을 0도로 하여 반시계방향으로 이동한 각도에 따라 색상의 위치가 결정된다(Yüzer et al, 2004). 일면 가열 후 절편화된 조각에 대한 색조분석은 일본 MINOLTA사 색조분석기(Spectrophotometer, CM - 2500 d)를 사용하였다.

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (1)$$

$$h = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \text{ (degree)} \quad (2)$$

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 공시체 내부온도

콘크리트 공시체를 전기로에서 600°C와 800°C로 일면 가열하는 조건에서 측정된 전기로와 공시체 내부 온도는 Fig. 4, Fig. 5와 같다. 여기서 공시체 깊이별 내부온도는 가열 면을 기준으로 30mm - 120mm 깊이에 설치된 4개의 열전대를 통해 측정된 값을 나타낸다. 전기로 내부 온도는 잠열로 인하여 입력온도보다 최대 100°C 정도 높게 나타났으며, 600°C 가열조건에서 공시체 수열면으로부터 깊이별 최고 온도는 30mm에서 530°C, 60mm에서 400°C, 90mm에서 300°C, 120mm에서 210°C였다. 반면, 800°C 가열조건에서 공시체 깊이별 최고 온도는 600°C 가열조건 공시체 위치에서 각각 740°C, 560°C, 400°C, 280°C를 보였다. 이들을 비교할 때 800°C 가열조건에서 최고 온도가 600°C 가열조건보다 30%-40% 높은 것으로 나타났다. 특히 800°C 가열조건에서 온도가 상승할수록 30mm 위치의 열전대가 급격한 온도상승을 보이고 있는데, 이는 열이 공시체에 발생한 균열을 통해 열전대에 직접 전달되었기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 공시체 깊이별로 시간 변화에 따른 온도 증가 경향은 600°C와 800°C에 도달되는 45분과 1시간까지는 가파르게 온도가 증가하고 2시간 온도 유지구간에서는 온도 증가가 완만한 경향을 보여주고 있으며, 그 이후에는 자연냉각상태로 온도가 감소됨을 알 수 있다.

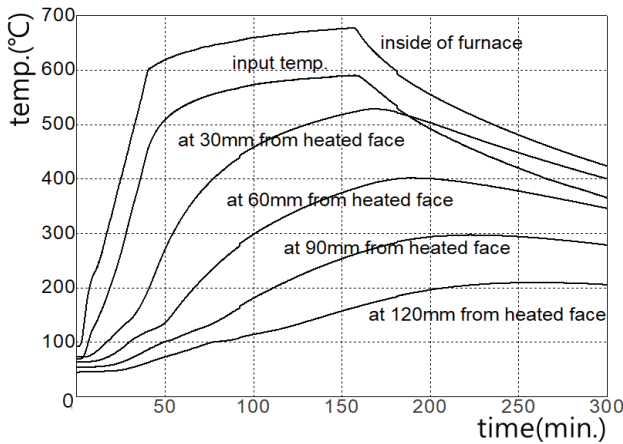


Fig. 4. Temperature by depth of specimen at 600°C heating condition

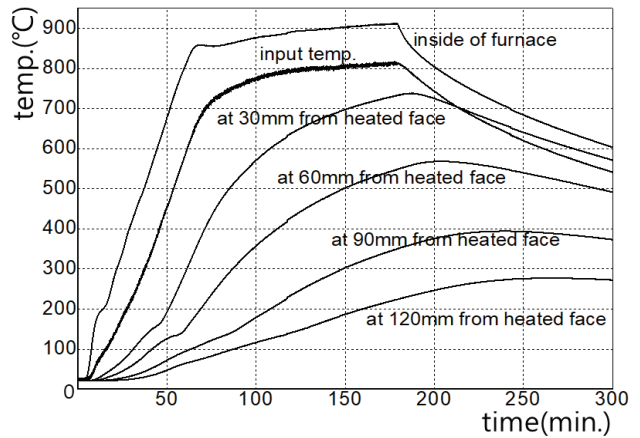


Fig. 5. Temperature by depth of specimen at 800°C heating condition

### 3.2 온도상승에 따른 압축강도 잔존률 변화

콘크리트 공시체를 일면 가열조건과 아울러, 전기로 내부에 둔 상태에서 400°C부터 800°C까지 100°C 간격으로 최대 온도에 변화를 주며 가열하고, 가열 후 압축강도를 공인 시험기관에서 측정하였다. 공시체의 측정된 압축강도들로부터 온도별 강도와 상온대비 잔존강도, 잔존강도 감소비의 변화를 Table 2와 Fig. 6 - Fig. 8에 표현하였다. Table 2와 Fig. 6, Fig. 7에서 상온대비 잔존강도비를 살펴보면, 400°C에서 58%, 500°C에서 44%의 강도를 발휘하는 것으로 나타났으며, 600°C이상 가열조건에 노출된 공시체의 압축강도는 급격히 줄어들어 상온 값 대비 600°C에서 29%, 700°C에서 10%정도만 되었으며, 800°C에서는 압축력을 전혀 받지 못하였다. 또 하나의 지표로서 잔존강도 감소비를 살펴보았는데, 이는 상온의 강도를 100%로 하여 여기서 잔존강도비를 뺀 값으로 나타내었다.

Table 2. Comparison of compressive strength and residual strength ratio by heating temperatures

	20°C	400°C	500°C	600°C	700°C	800°C
$P_{max}$	450.00	310.00	220.00	110.00	50.00	0.00
$\sigma_{max}$	57.32	33.38	25.35	16.56	5.45	0.00
Residual strength ratio	100.00	58.23	44.22	28.89	9.51	0.00
Residual strength reduction ratio	0.00	41.77	55.78	71.11	90.49	100.00
Residual strength ratio in BS 8110	100.00	92.00	74.00	56.00	38.00	20.00

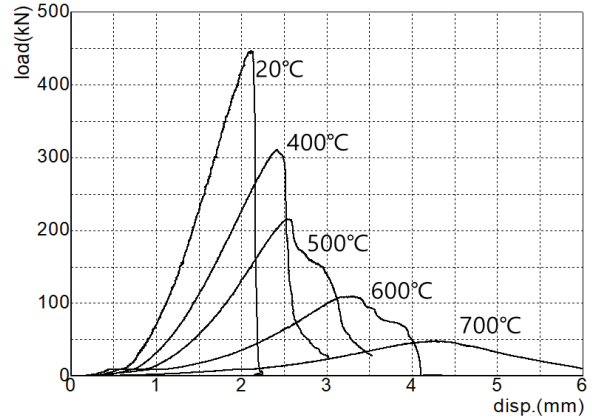


Fig. 6. Comparison of maximum load of specimen by temperature

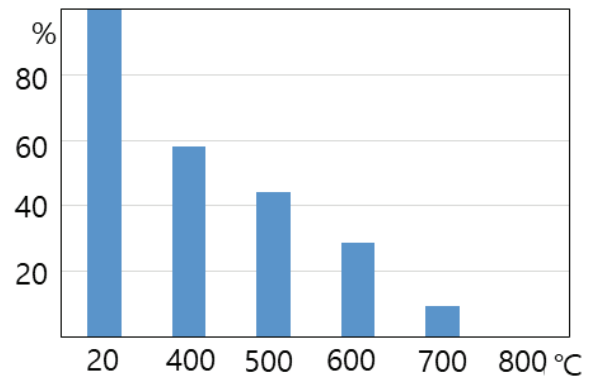


Fig. 7. Comparison of residual compressive strength ratio of specimen by temperature

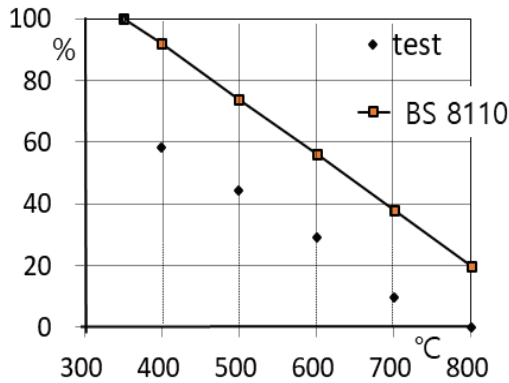


Fig. 8. Comparison of residual compressive strength ratio of experiments with BS 8110 by temperature

이 연구의 고온수열 콘크리트 공시체의 잔존 압축강도비를 BS 8110의 잔존 압축강도비 곡선(BSI Eurocode 2, 2004)과 비교하였으며, Fig. 8과 같다. 여기서, 고온수열 후 잔존압축강도비에 대한 실험 값 모두 BS기준의 상한값 이내에 들어오고, 각 온도별 잔존강도감소 비율도 BS기준의 직선과 비교 시 25% 내지 30%이내에서 변화를 따라가고 있다.

### 3.3 공시체 깊이별 압축강도 잔존률 변화

화재 시 콘크리트 깊이별 압축강도 잔존률 변화를 살펴보기 위하여 전기로 뚜껑에 뚫린 구멍에 콘크리트 공시체를 삽입, 일면 가열 조건의 가열 실험을 실시하였다. 일면 가열된 공시체는 20mm 두께의 절편으로 자른 후, Fig. 1(e)와 같이KS F 2423에 따른 쪼갬인장강도 실험을 공인 시험기관에서 수행하였다.

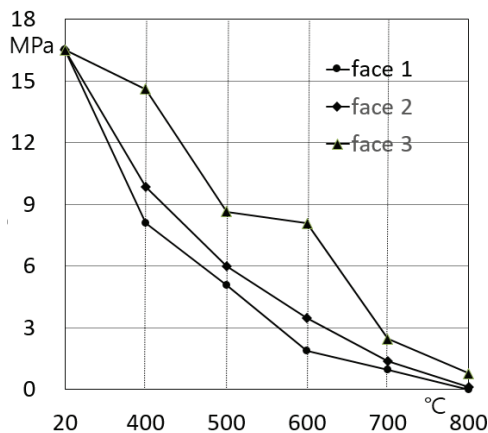


Fig. 9. Comparison of compressive strength from splitted tensile strength of sliced specimen by temperature

Table 3. Variation of strength(MPa) and residual strength ratio(%) of sliced specimen by Temperature

Exposure face	20°C	400°C	500°C	600°C	700°C	800°C
Splitted tensile strength of sliced specimen						
1	2.64*	1.85	1.46	0.89	0.64	0.06
2	2.64	2.04	1.59	1.21	0.76	0.22
3	2.64	2.48	1.91	1.85	1.02	0.57
4**	2.94	2.48	2.68	2.88	2.49	2.37
Compressive strength from splitted tensile strength of sliced specimen						
1	16.50*	8.08	5.08	1.88	0.96	0.01
2	16.50	9.83	6.00	3.47	1.38	0.12
3	16.50	14.61	8.64	8.08	2.46	0.78
4**	20.41	14.61	17.05	19.69	14.71	13.35
Ratio of residual compressive strength from splitted tensile strength of sliced specimen						
1	100	48.95	30.79	11.41	5.82	0.06
2	100	59.61	36.38	21.01	8.38	0.71
3	100	88.54	52.39	48.95	14.90	4.71

\* 4th exposure face : mean value of specimens by 6 temperatures

\*\* The tensile and compressive strength of the 4th exposure face is not significantly affected by temperature, so residual strength is not compared

콘크리트 기준의 식  $f_{sp} = 2P / (\pi dl)$ 에 따라 쪼갬인장강도를 산정하였고, 그 값으로부터  $f_{sp} = 0.65 \sqrt{f_{ck}}$  식을 이용하여 압축강도를 평가하였다. Table 3과 Fig. 9, Fig. 10은 절편 실험체의 온도변화에 따른 쪼갬인장강도와 잔존 강도비를 나타낸다. 이 때 수열면은 face 1, 수열면에서 20mm, 40mm, 60mm깊이의 면은 face 2, face 3, face 4로 구분되며, 여기서, face 4는 온도의 영향이 크지 않아 온도별 공시체의 평균값을 사용하였고, 잔존강도 비를 비교

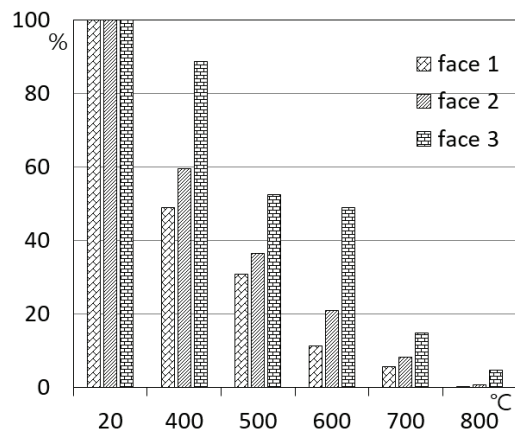


Fig. 10. Comparison of ratio of residual compressive strength from splitted tensile strength of sliced specimen by temperature



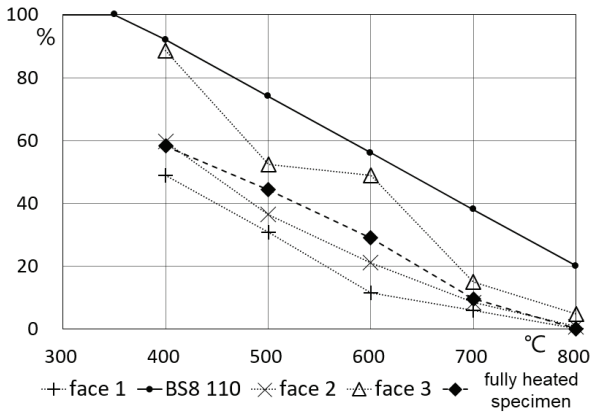


Fig. 11. Comparison of compressive strength ratio by temperature among splitted tensile test, compressive test and the code of BS 8110

하지 않았다. Fig. 9와 Fig. 10은 Table 3으로부터 온도에 따른 절편 실험체별 압축강도와 이의 잔존강도 비를 나타내며, 여기서 상온 값 16.50MPa과 비교하여 모든 온도에서 수열면에 가까운 면의 순서대로 쪼갬인장강도로 구한 압축강도 값이 낮게 나타났다. 내화성을 구분하는 온도인 500°C를 살펴보면, 수열면인 face 1은 5.08MPa, 콘크리트 부재의 피복두께인 face 2와 face 3에서 6.00MPa, 8.64MPa로 잔존강도비가 각각 30.79%, 36.38%, 52.39%였다. 또한, 600°C부터는 face 1 - face 3 모두 잔존강도비가 상온대비 50% 아래로 나타났다. Fig. 11은 일면노출 공시체의 절편에 대한 쪼갬인장강도로부터 산정한 압축강도와 공시체 전체가 고온에 노출된 공시체의 압축강도, 그리고 BS 8110 제시 잔존 압축강도 식을 상호 비교한 것이다. 여기서, 일면노출 공시체의 쪼갬인장강도 실험에서 화재피해로 인해 큰 손상이 예상되는 face 1, face 2의 잔존 압축강도 감소율과 전면노출 공시체의 잔존 압축강도 감소율이 평균 10%이내 범위에서 매우 유사하게 나타나고 있어, 화재 후 콘크리트 부재의 손상도 평가 시 코어 공시체의 압축강도 비교와 아울러 공시체 절편에 대한 쪼갬 인장강도의 분석이 수열온도별 손상깊이를 판정할 수 있는 합리적인 기법이 될 수 있음을 확인할 수 있다.

### 3.4 색조분석에 의한 수열온도 추정

#### 3.4.1 균열 및 변색 상태

콘크리트 공시체를 전기로에서 일면 노출조건으로 가열시키고 난 후 Fig. 1(d)와 같이 20mm두께의 절편으로 만들어 균열 및 변색 상태를 관찰하였으며, 수열온도에 따른 균열 및 변색상태는 Fig. 12와 같다. 여기서 각각의 절편은 수열 면부터 순서대로 face 1

Temp.	Face number(depth from heated face)			
	Face1 (0mm)	Face2 (20mm)	Face3 (40mm)	Face4 (60mm)
400°C				
500°C				
600°C				
700°C				
800°C				

Fig. 12. Crack patterns and colour changes of sliced specimen after heating by temperature

- 4로 구분하였는데, 수열 면인 face 1은 600°C 가열조건까지는 육안으로 식별이 가능한 균열이 관찰되지 않았으며, 700°C부터 절편 바깥쪽에 폭 0.2~0.3mm 크기의 균열이 발생하였다. 최고 가열 온도인 800°C에서는 절편 외부의 작은 균열이 내부로 커지면서 0.6~0.7mm 크기의 큰 균열로 진행되었다. 콘크리트의 고온 수열 시 수분 손실에 의한 수축과 열팽창이 함께 진행되는데, 이 때 균열은 시멘트페이스트와 골재의 열팽창계수 차이로 발생한다 (Arioz 2007). 가열면의 변색상태를 정밀한 색조분석 이전 육안으로 관찰한 결과, 수열온도가 500°C부터 700°C까지는 빨간색이 심화되었으며, 700°C이상의 온도에서는 공시체의 색상이 전반적으로 희끄무레한(whitish) 색으로 변색되게 나타났다.

#### 3.4.2 공시체 깊이별 색상 변화

이 연구에 사용된 공시체의 상온 압축강도는 57MPa로 나타났으며, 공시체를 일면 가열 후 두께 20mm로 절편을 만들어 색조분석을 실시하였다. 먼저, 20mm 두께 절편에서 측정된 식(2)의 a\*값과 b\*값은 Table 4, Table 5와 같고 이로부터 식 2에 의해 계산된 색상각(degree) h는 Table 8, Fig. 13과 Fig. 14에 나타나 있다. Fig. 13은 face면 별로 온도에 따른 색상각을 나타내는데, 수열면인 face 1의 색상각은 400°C~600°C에서 75° 정도로 Fig. 3의 색상 좌표계에서 빨강 색상쪽인 반면 700°C이상 고온에서는 83°의 회

Table 4. Values of a\* and b\* in the sliced specimen by face

Temp. (°C)	Face 1		Face 2		Face 3		Face 4	
	a	b	a	b	a	b	a	b
400	1.61	5.99	1.71	7.22	0.62	5.62	0.31	3.97
500	1.71	6.81	2.42	8.17	1.54	6.85	0.29	5.01
600	2.42	8.06	2.74	7.37	2.34	7.55	2.28	7.50
700	1.03	8.07	2.55	6.54	2.49	7.70	2.28	7.91
800	1.06	9.22	2.72	7.43	2.46	7.04	1.73	6.80

색으로 변색되었다. 수열면에서부터 멀어지는 순서로 위치하는 face2 - face4의 색상각을 살펴보면 400°C와 500°C는 수열온도가 낮아 수열면에서 멀어질수록 색상각이 커져 점차 상온색상인 회색 색상으로 변하지만, 이보다 고온인 600°C-800°C에서는 고온으로 인하여 수열면에서 멀어질수록 색상각이 약간은 커지지만 여전히 빨강 색상을 띄는 것으로 나타났다.

Fig. 14는 온도별로 face면에 따른 색상각을 보여주는데 수열면인 face1의 색상각이 400°C-600°C에서 75° 정도의 빨강 색상, 700°C-800°C에서는 83°의 회색 색상을 띄었다.

face2는 400°C에서는 face1과 비슷한 75° 정도의 빨강 색상이며, 이 후 온도가 높아질수록 70° 정도로 완만하게 낮아지고 있다. 수열면에서 멀리 떨어져 있는 face3, face4는 400°C에서 상온과 비슷한 회색 색상을 가지며 온도가 높아질수록 빨강 색상의 색상각을 갖지만 face2보다는 진하지는 않는 것으로 나타났다. Fig. 13의 분석에서 face4의 500°C에 측정된 색상각 86.65°는 상온 값과 비슷한데, 이 위치는 500°C 가열조건에서 온도의 영향이 거의 없기 때문에 여겨진다.

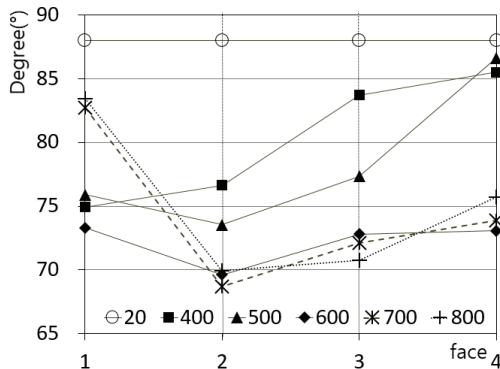


Fig. 13. Hue value of sliced specimen by face

Table 5. Hue angle(degree, °) of sliced specimen by face

Temp. (°C)	Face 1	Face 2	Face 3	Face 4
20	88.00	88.00	88.00	88.00
400	74.93	76.65	83.72	85.52
500	75.90	73.54	77.34	86.65
600	73.31	69.61	72.79	73.07
700	82.71	68.67	72.09	73.90
800	83.47	69.92	70.73	75.73

#### 4. 결론

이 연구에서는 고온에 노출된 콘크리트의 손상깊이 평가를 위하여, 공시체의 압축실험과 고온 노출면부터 20mm두께로 잘려진 절편들에 대하여 쪼갬인장실험과 색조분석을 수행하였다. 이를 통해 수열온도 추정 및 잔존 압축강도를 평가하였으며 이 연구의 범위 내에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 고온 수열 공시체의 압축실험 결과, 상온의 57MPa 대비 잔존 압축강도비가 400°C에서 58%, 500°C에서 44%로 나타났으며, 600°C이상에서는 급격히 줄어들었다. 또한, 각 온도별 실험값 모두 BS 8110의 잔존 압축강도비와 비교할 때 상한값 아래로 25% - 30% 차이를 보였다.
- 2) 공시체 절편의 쪼갬인장강도로부터 산정된 압축강도는 수열면에 가까운 순서대로 낮게 나타났다. 또한, 절편 실험체의 압축강도 감소율이 고온에 전면 노출된 공시체 값과 평균 10%내로, 화재 후 콘크리트 부재의 손상도 평가 시, 공시체 절편에 대한 쪼갬 인장강도 분석이 손상깊이를 판정할 수 있는 합리적인 기법이 될 수 있음을 확인하였다.

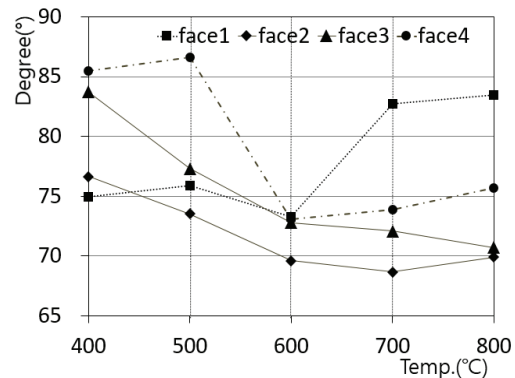


Fig. 14. Hue value of sliced specimen by temperature

3) 색조분석 결과, 수열면의 색상각은 400°C-600°C에서 75° 정도의 빨강 색상인 반면 700°C이상 고온에서는 83°의 회색으로 변색되었다. 수열면에서 멀어질수록 400°C-500°C 경우 상온 색상인 회색계열 색상으로 변하지만, 600°C-800°C의 고온 시는 여전히 빨강 색상을 띄는 것으로 나타났다. 이와 같이, 본 연구에서 적용된 색조분석 방법은 수열온도별 압축강도 저감정도를 평가하기 위한 비파괴방법으로 활용할 수 있을 것이다.

Conflicts of interest

None.

References

Arioz, O. (2007), Effect of elevated temperatures on properties of concrete, *Fire Safety Journal*, **42(8)**, 516-522.

BSI Eurocode 2, (2004), Design of Concrete Structures-part 1-2 : General Rules - Structural Fire Design, 19-59.  
Choi, K.H., Lee, J.W., Hong, K.P. (2006). A experimental study on the evaluation of deteriorated concrete member exposed one side at high temperature, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **18(3)**, 431-438 [in Korean].  
Choi, K.H., Lee, J.W., Hong, K.P. (2009). Material property change in concrete exposed to high temperature, *Journal of Asian Architecture And Building Engineering*, **8(1)**, 175-182 [in Korean].  
Colombo, M., Felicetti, R. (2007). New NDT techniques for the assessment of fire-damaged concrete structures, *Fire Safety Journal*, **42(6-7)**, 461-472.  
Short, N.R., Purkiss, J.A., Guise, S.E. (2001). Assessment of fire damaged concrete using colour image analysis, *Construction and Building Materials*, **15(1)**, 9-15.  
Yüzer, N., Aköz, F., Öztürk, L.D. (2004). Compressive strength-color change relation in mortars at high temperature, *Cement and Concrete Research*, **34(10)**, 1803-1807.

화재피해 콘크리트의 수열온도에 따른 강도 및 색상 변화 연구

화재피해 콘크리트 구조물의 안전진단 시, 기존 내구성 평가 방법으로는 고온으로 인한 강도감소 및 재료의 변화 등을 정량화하기가 어렵다. 특히, 두께별 손상도가 다른 공시체의 압축강도를 부재의 압축강도 저하의 대표 값으로 사용하고 있어 콘크리트의 깊이에 따른 손상도 변화를 반영하지 못하고 있다. 이 연구에서는 고온에 노출된 콘크리트의 손상깊이를 정량적으로 평가하기 위하여 400°C-800°C 온도로 콘크리트 공시체를 전면 가열과 일면 가열 조건으로 가열실험을 수행하였다. 가열 후 전면 가열 공시체의 압축실험과, 일면 가열 공시체를 고온 노출면부터 20mm두께의 절편을 만든 후 각각에 대해 쪼갬 인장실험과 색조분석을 실시하였다. 실험결과, 공시체 절편의 쪼갬 인장강도로부터 산정된 압축강도 감소율이 전면 가열 공시체의 압축강도 값과 평균 10% 이내로 나타났고, 색조분석 결과 400°C-600°C에서 빨강 색상, 700°C이상에서는 회색계열로 변색되는 일관적인 색상 값이 관찰된 바, 이 연구에서 제안한 기법은 수열온도의 추정과 콘크리트 잔존 압축강도와 손상깊이를 합리적으로 평가할 수 있는 것으로 나타났다.