

고온을 받은 콘크리트의 색상변화와 잔존압축강도

Compressive strength-color change relation in concrete at high temperature

이중원* 최광호** 홍갑표***
Lee, Joong-Won Choi, Kwang-Ho Hong, Kap-Pyo

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the relation between color change and residual compressive strength in concrete exposed to high temperature. In order to study the color image analysis, the specimens have been tested with variables of concrete strengths(20Mpa, 40Mpa, 60Mpa) in transient heating conditions(800℃ heating and 2 hour preservation).

The results show that the residual strength of specimens are coincident with the full development of the pink/red color and the method may be used to define the distance from a heated surface where strength degradation has occurred.

1. 서론

화재가 발생한 철근콘크리트 구조물의 건전도 평가를 위해서, 육안조사를 통해 균열양상, 폭렬, 색갈변화 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.

고온에 노출된 콘크리트는 조직구조가 변성되며, 특히 경화된 시멘트페이스트에서 400℃에서 칼슘수화물(C-H)이 분해 되기 시작하여 900℃에 이르러 칼슘-실리카 수화물(C-S-H gel)이 완전 파괴될 때까지 지속되어 콘크리트의 강도 및 내구성이 저하된다. 또한 콘크리트는 수열온도에 따라 색상의 변화를 경험하는데 일반적으로 300℃에서 600℃에서는 핑크나 빨강색, 600℃에서 900℃는 회색(whitish grey), 900℃에서 1000℃는 담황색(buff)으로 변한다고 알려져 있으며, 또한 콘크리트의 색깔변화는 강도손실과 잘 일치하여 색상변화의 관찰로 콘크리트 강도 손실을 예측할 수 있다. 하지만 육안점검에 의한 콘크리트의 색상변화는 조사자의 주관적 판단에 의해 크게 차이가 날 수 있으므로 이에 대한 정량적 평가방법에 대한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구의 목적은 화재 피해를 입은 콘크리트 구조물의 건전도 평가를 위해 고온에 노출된 콘크리트에 색조분석을 수행하여 공시체 깊이별로 콘크리트 시편의 명도, 채도 및 색상변화를 분석하고 콘크리트의 잔존 압축강도와 상관관계를 정량적으로 규명함으로써 화재 피해 구조물의 손상도 평가를 위한 기초 자료로 활용하고자 한다.

* 정회원, 안산공과대학 건축과 조교수

** 정회원, 남서울대학교 건축학과 부교수

*** 정회원, 연세대학교 건축공학과 교수

2. 시험개요

2.1 시험체 제작

이 연구에 사용된 시험체는, $\Phi 100 \times 200$ 콘크리트 공시체를 KS F 2405에 따라 제작하여 1면 가열조건으로 전기로에서 가열한 후, 2cm각으로 절편화시켜 공시체 깊이별로 색조변화와 할렬인장강도법에 따른 압축강도를 고찰한다.

본 실험은 일반강도와 고강도 영역의 콘크리트를 대상으로 화재 시 콘크리트의 손상깊이 추정을 위해 콘크리트 강도를 20, 40, 60MPa의 3가지 종류로 구분하여 배합을 계획한다. 또한 모든 배합의 목표 슬럼프는 15cm로 정하고(단 60MPa는 슬럼프플로우를 65cm으로 설정), 목표 공기량은 4.5%(오차범위는 1.5%)를 목표로 하여 배합한다.

2.2 가열방법

본 연구의 시험을 위하여 그림 1과 같은 전기로를 제작한다. 전기로 사양으로, 내부 치수를 $1300 \times 900 \times 800$ mm로 하고, 두께 100mm의 세라믹 판에 열선을 배선한다. 1면 수열조건을 위해 전기로 상부 두께에 6개의 구멍을 뚫어 공시체를 설치하여 가열할 수 있게 한다. 전기로 내부의 온도조건을 일정하게 하기위해 3개의 온도조절기를 설치하고, 용량은 1시간에 1000°C 가열을 위해 60kw로 한다.

가열은 전기로 특성 상 표준 내화곡선을 구현하지 못하고, 그림 3과 같이 800°C 까지 선형증가 시키고 이 후 2시간 그 온도를 지속시켜 과도상태(transient heating) 가열조건을 모사한다.

2.3 색조분석방법

콘크리트의 변색상황을 측정하기 위해 그림 2와 같이 $L^*a^*b^*$ 표색계를 기초로 하여 L^* 는 명도(Lightness), C^* 는 채도(Chroma)를 표시하고 있고 C^* 의 값이 증가하면 표색계 원의 외측에 위치하므로 색감이 증가하고 반대로 감소할 때는 원의 중심축에 위치하여 무채색이 된다. h 는 색상각도(Hue angle)을 표시하고 있고 a^* 의 빨강색 방향의 축을 0° 하며 반시계방향의 색상에 대해 이동한 각도에 따라 색의 위치를 알게 된다.

가열된 공시체의 색조분석을 위해 일본 MINOLTA사 색조분석기(Spectrophotometer, CM-2500d)를 사용하여 공시체의 색상, 명도, 채도의 변화를 측정한다.

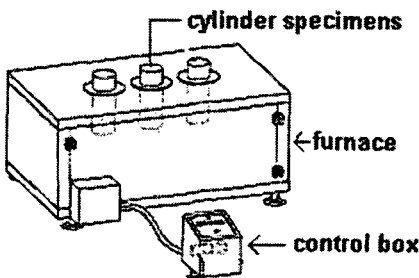


그림 1 전기로 개념도

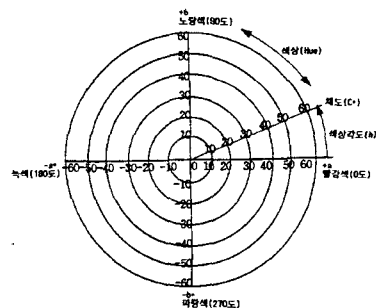


그림 2 $L^*a^*b^*$ 표색계의 색도도

3. 실험 결과 및 분석

3.1 공시체 내부 온도분포

콘크리트 공시체를 전기로에서 800°C 로 1면 가열하는 조건에서 측정된 전기로와 공시체 내부 온도는 그림 3

과 같다. 여기서 공시체 깊이별 내부온도는 가열 면을 기준으로 3cm~15cm 깊이에 설치된 5개의 열전대를 통해 측정된 것을 나타낸다.

800℃ 가열조건에서 공시체 깊이별 최고 온도는 3cm에서 579℃, 6cm에서 396℃, 9cm에서 232℃, 12cm에서 139℃, 15cm에서 101℃를 나타내고 있고, 특히 150℃일 때 3cm 위치의 열전대가 급격한 온도상승을 보이고 있는데, 이는 열이 공시체에 발생한 균열을 통해 열전대에 직접 전달되었기 때문인 것으로 판단된다.

3.2 분광 반사율(spectral reflection factor)변화

착색된 물체에 백색광이 접촉하면 각 파장에 대해 몇 %의 빛을 반사하고 있는지를 나타낸 것이 분광반사율(spectral reflection factor)이며, 이를 파장에 대한 곡선으로 표현하며 그림 4와 같다.

그림에서 F는 고온에 노출된 공시체, S는 건전 공시체를 의미한다. 그림 4는 800도에 2시간 동안 1번 노출된 공시체의 분광 반사율 곡선을 나타내며 본 반사율의 측정은 가열 면을 기준으로 측정된 값이다. 건전 공시체의 경우 모든 강도에서 각 파장에 걸쳐 고른 반사율을 나타내고 있으며 공시체 강도에 따라서는 20Mpa가 60Mpa에 비해 반사율의 값이 더 커지고 있어 백색광을 거의 반사하는 흰색의 색상을 많이 나타내고 있음을 알 수 있고, 또한 강도에 상관없이 560nm파장 이상에서 반사율이 비교 건전 공시체에 비해 높아짐에 따라 공시체 색상이 붉은 색으로 변색됨을 알 수 있다.

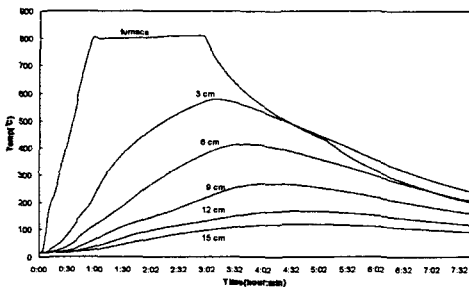


그림 3 가열곡선 및 공시체 내부온도분포

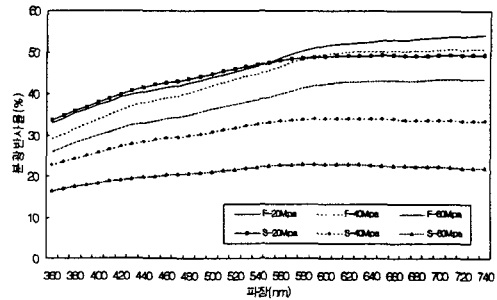
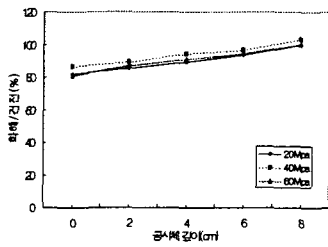


그림 4 공시체 가열면의 분광반사율

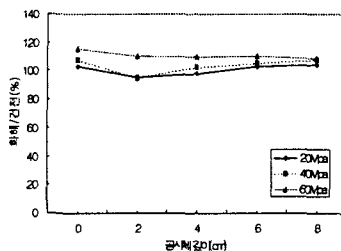
3.3 공시체 깊이에 따른 명도, 채도, 색상변화

강도변화에 따라 공시체 깊이별로 명도, 채도, 색상의 상대변화 값을 나타내면 그림 5와 같다.

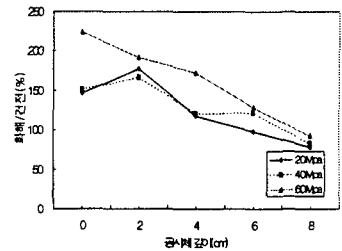
색상은 모든 강도에서 공시체 깊이가 가열 면에서 멀어질수록 선형적으로 증가가 되는 경향을 나타내어 가열 면에서 붉은색으로 변색이 가장 크게 발생하였음을 알 수 있고, 명도는 가열 면에서부터 멀어질수록 감소되어 수열온도가 높을수록 밝은 색상을 띄게 됨을 알 수 있다. 하지만 채도의 변화는 색상, 명도 변화율에 비해 그 변화 폭이 크며 공시체 깊이에 따라 감소하나 일관된 경향을 나타내지는 않았다.



(a) 색상



(b) 명도



(c) 채도

그림 5 공시체 깊이별 명도, 채도, 색상의 변화

3.4 색상변화와 콘크리트 잔존압축강도 관계

공시체 깊이별로 잔존압축강도 변화를 나타내면 그림 6과 같고 800℃ 2시간에 노출된 공시체는 가열 면에서 4cm깊이까지는 0.1미만, 8cm까지는 0.2에서 0.7정도의 잔존압축강도를 보였고, 20Mpa의 강도손실이 60Mpa에 비해 크게 나타났다.

색상변화에 따른 잔존압축강도와 관계를 회귀분석하여 식으로 나타내면 그림 7과 같다. 그림 7에서 상대색상변화는 건전 공시체에 대한 수열을 받은 공시체의 색상변화의 백분율을 의미하며, 상대색상변화가 15%이상 발생하면 잔존압축강도는 0.1미만을, 상대색상변화가 5%에서 10% 범위에서는 0.1~0.6 정도의 잔존압축강도를 나타내고 있고 있어 색상변화에 따른 잔존강도비의 변화를 정량적으로 확인할 수 있었다.

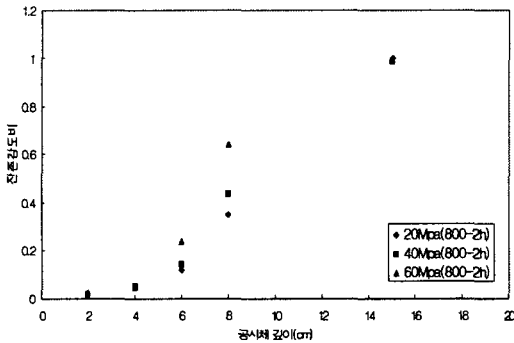


그림 6 공시체 깊이별 잔존압축강도

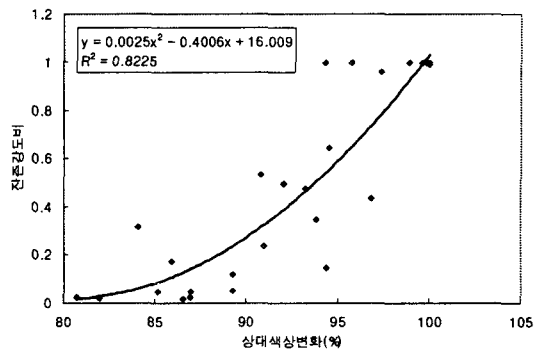


그림 7 색상변화비와 잔존압축강도

4. 결 론

본 연구에서는 콘크리트 강도를 변수로 한 콘크리트 공시체를 대상으로 과도상태 가열조건으로 공시체를 1면 가열 한 후 2cm각으로 절편화 시켜, 공시체 깊이 별로 색조분석과 할렬인장강도법에 의한 압축강도를 추정한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 색조분석 결과 공시체 깊이에 따라 명도나 채도 값에 비해 색상 값의 변화가 일정하게 저감되는 경향을 나타냈고, 특히 색상의 변화는 $L^*a^*b^*$ 표색계 색상 좌표에서 가열 면에 가까울수록 빨강색으로 접근하는 경향을 나타냈다.
- 2) 색상의 변화는 잔존 압축강도의 변화와 잘 일치하고 있어, 색상의 정량적 변화 값을 측정하여 수열 콘크리트의 압축강도의 손실을 평가할 수 있다.
- 3) 실험결과의 신뢰성 제고를 위해 다른 변수를 고려한 실험 및 색조분석 방법 등에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

감사의 글

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

참고문헌

1. Nabi Yuzer 외 2인, "Compressive strength-color change relation in mortars at high temperature.", Magazine of concrete research, 2004.1.
2. N.R.Short 외 2인, "Assessment of fire damaged concrete using color image analysis", Construction and building materials, 2001.