

색도 이미지 분석을 이용한 화재 피해 모르타르의 손상 평가

박광민^{1*}, 이병도², 유성훈³, 함남혁⁴, 노영숙⁵

Assessment of Fire-Damaged Mortar using Color image Analysis

Kwang-Min Park^{1*}, Byung-Do Lee², Sung-Hun Yoo³, Nam-Hyuk Ham⁴, Young-Sook Roh⁵

Abstract: The purpose of this study is to assess a fire-damaged concrete structure using a digital camera and image processing software. To simulate it, mortar and paste samples of W/C=0.5(general strength) and 0.3(high strength) were put into an electric furnace and simulated from 100 °C to 1000 °C. Here, the paste was processed into a powder to measure CIELAB chromaticity, and the samples were taken with a digital camera. The RGB chromaticity was measured by color intensity analyzer software. As a result, the residual compressive strength of W/C=0.5 and 0.3 was 87.2 % and 86.7 % at the heating temperature of 400 °C. However there was a sudden decrease in strength at the temperature above 500 °C, while the residual compressive strength of W/C=0.5 and 0.3 was 55.2 % and 51.9 % of residual strength. At the temperature 700 °C or higher, W/C=0.5 and W/C=0.3 show 26.3% and 27.8% of residual strength, so that the durability of the structure could not be secured. The results of L*a*b color analysis show that b* increases rapidly after 700 °C. It is analyzed that the intensity of yellow becomes strong after 700 °C. Further, the RGB analysis found that the histogram kurtosis and frequency of Red and Green increases after 700 °C. It is analyzed that number of Red and Green pixels are increased. Therefore, it is deemed possible to estimate the degree of damage by checking the change in yellow(b* or R+G) when analyzing the chromaticity of the fire-damaged concrete structures.

Keywords: Concrete, High temperature, Fire damage, Damage assessment, Color analysis, CIELAB color model, RGB color model

1. 서 론

콘크리트 구조물이 화재에 노출되면 물리적, 화학적 변화에 따른 균열이 발생한다. 이러한 내부 손상으로 인해 국부적으로 콘크리트 압축강도가 저하되고, 구조물로서의 성능 저하 및 내구수명 단축을 초래한다. 따라서 화재 피해를 입은 콘크리트 구조물의 보수보강을 결정하기 위해서 손상 정도를 평가 분석하는 것이 필수적이다.

일반적으로 화재 피해를 입은 구조물에 대해 외관상 육안 검사를 실시하여 구조체의 균열, 들뜸, 박리, 처짐 및 색상 변화 등을 확인한다. 육안 검사를 통해 화재 피해 정도를 추정하고 특정 부위를 선정하여 코어 채취, 중성화 및 재하 시험 등의 상세 조사를 거쳐 손상 정도를 정량적으로 평가한다.

화재 피해 손상 정도를 평가하는 방법 가운데 가장 직접적

이고 정확한 방법은 코어 채취 및 재하 시험 방법이다. 그러나 모든 개소에서 실시하는 것은 한계가 있다. 따라서 적절한 개소에서 상세 조사가 진행될 수 있도록 초기 육안 검사가 중요하다. 그러나 육안 검사는 조사자 주관적 판단, 정성적 평가 방법, 낮은 정밀도 및 느린 조사 속도 등의 문제점이 있다.

기존 조사자 의존의 진단 방식을 개선하고 신뢰성을 확보하기 위하여 3차원 레이저 스캐닝 시스템(Three-dimensional laser scanning system) 및 이미지 프로세싱(Image processing)을 이용하여 수열 온도에 따른 콘크리트 표면의 색도 분석으로 손상도 평가를 제안하는 방법이 보고되고 있다(Hancock et al, 2012 ; Luo et al, 2013).

그러나 기존 색도 분석 연구는 공시체 표면 전체를 대상으로 하고 있어서 표면 균열 및 돌출 골재의 영향으로 인한 분석 오차가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구는 표면 균열 및 박락으로 인한 이미지 분석 오차를 최소화하기 위하여 페이스트를 분말 형태로 가공하여 측정하였다. 그리고 고온에 노출된 페이스트의 색도 분석 및 모르타르 압축강도 저하의 상관관계를 분석하여, 색도 분석을 통한 성능 저하를 예측하였다. 3차원 레이저 스캐닝은 대상 물체의 X, Y, Z 좌표 및 RGB 데이터를 얻을 수 있어서, 본 연구 결과는 3차원 레이저 스캐닝 시스템 및 이미지 프로세싱을 활용한 콘크리트 구조물의 손상도 평가를 위한 기초 자료로써 활용하고자 한다.

¹정회원, (재)한국건설생활환경시험연구원, 주임연구원

²정회원, (주)동양구조안전기술, 건설ICT, 부소장

³정회원, (주)동양구조안전기술, 설계1본부, 상무

⁴정회원, 한양사이버대학교 디지털건축도시공학과, 교수

⁵정회원, 서울과학기술대학교 건축학부 건축공학전공, 교수

*Corresponding author: kmpark@kcl.re.kr

Korea Conformity Laboratories(KCL), Seoul, 08503, Korea

• 본 논문에 대한 토의를 2019년 5월 1일까지 학회로 보내주시면 2019년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

2. 색(color)의 표시방법

2.1 L*a*b 표색계

1976년에 국제조명위원회(CIE, Commission internationale de l'eclairage)에서 규격화한 지각적으로 거의 균일한 색 공간의 하나로서 L*a*b 표색계는 물체의 색을 표현하는데 가장 일반적으로 사용하고 있다. 인간 감성에 접근하기 위한 연구 결과로 인간이 색채를 감지하는 노란색-파란색, 초록색-빨간색의 반대색설에 기초하여 CIE에서 정의한 색 공간이다. 여기서 균일한 색 체계는, 색 공간에서 같은 거리만큼 떨어진 색채가 인간의 눈에 같은 크기만큼의 색 차이로 인지되는 것을 목표로 했다는 의미이다(Wikipedia, 2019).

CIE L*a*b* 색 공간에서 L* 값은 밝기를 나타낸다. L* = 0 이면 검은색이며, L* = 100 이면 흰색을 나타낸다. a*는 색도 다이어그램으로 +a*는 빨간색, -a*는 초록색 방향을 나타낸다. b*는 색도 다이어그램으로 +b*는 노란색, -b*는 파란색 방향을 나타낸다.

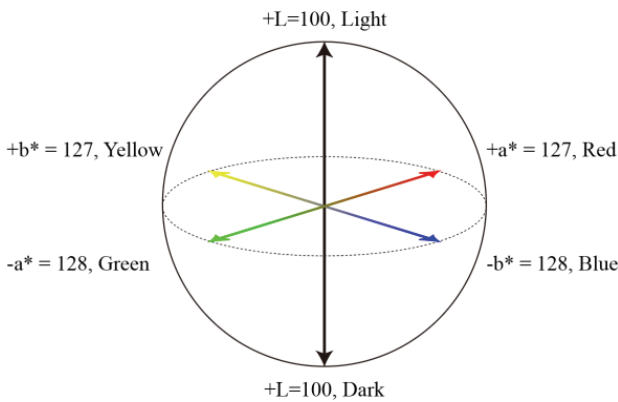


Fig. 1 CIELAB(L*a*b) color space

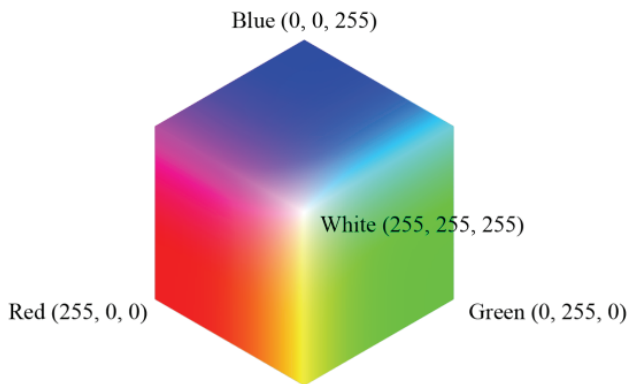


Fig. 2 CIELAB(L*a*b) color space

2.2 RGB 표색계

RGB 색체계는 빛의 특성을 이용해 색상을 표현하는 방법으로 빨간색(Red), 녹색(Green), 파란색(Blue)의 삼원색이 각

각 최대값이 되면 흰색이 되는 가산혼합법으로 색을 조합한다(Wikipedia, 2019). RGB 좌표는 단순하게 이미지를 표현할 수 있어서 카메라나 모니터에 광범위하게 사용되고 있다. 색 체계는 빨간색, 녹색, 파란색의 개별적 신호를 각 색상의 퍼센트로 합성한다. 그러나 이 시스템의 단점은 인간이 빨강, 녹색, 파랑색의 조합된 색을 인지할 수 없다는 것이다.

3. 실험 개요

3.1 사용 재료 및 양생 방법

3.1.1 사용 재료

본 연구에 사용한 시멘트는 KS L 5110을 만족하는 국내산 1종 보통 포틀랜드 시멘트(OPC), 잔골재는 KS L ISO 679를 만족하는 ISO 표준사를 사용하였다.

3.1.2 배합 및 양생

Table 1과 같이 물-시멘트비(W/C)를 0.5 및 0.3으로 구분하여 일반강도 및 고강도 모르타르 시험체를 제작하였다. KS L ISO 679에 따라서 W/C=0.5, 결합재-잔골재비(W/S)를 1:3으로 해서 일반강도 시험체를 제작하였으며, 시멘트량을 조절하여 W/C=0.3의 고강도 시험체를 제작하였다. 여기서 KS L ISO 679에 준하여 W/C=0.5를 일반강도를 설정하였으며, 혼화제를 첨가하지 않고 배합할 수 있는 범주를 고려하여 W/C=0.3을 고강도로 설정하였다. 페이스트는 Table 1 배합에서 잔골재를 제외하여 제작하였다. 모르타르는 KS L ISO 679에 따라서 400 mm × 400 mm × 1 600 mm, 페이스트는 20 mm × 20 mm × 20 mm 크기의 큐빅 몰드에 타설하였다. 온도 20 °C, 상대습도 90 % R.H.의 습기함에서 24시간 초기양생을 실시한 후, 재령 28일까지 온도 (20 ± 1) °C, 상대습도 (60 ± 10) % R.H.의 항온항습실에서 양생하였다.

Table 1 Mix properties

Item	W/C	Cement (g)	Water (g)	Sand (g)
Low strength	0.5	450	225	1 350
High strength	0.3	750		

3.2 화재 피해 모사 방법

물리적 특성 및 색도 분석을 위해 100 °C에서 1 000 °C까지 100 °C 간격으로 전기로 가열을 통해 화재 피해를 모사하였다(photo 1). 승온 속도는 KS F 2257-1~8에 따라 초기 승온 조건을 40 °C/min 으로 설정하였다. 목표 온도에 도달 후 시험체 내부 온도가 균일하도록 가열 지속시간은 국내 연구 결과(Kang, 2014) 및 국토교통부령 제 433호 내화성능기준을 참고하여 2

시간 동안 온도가 유지되도록 제어한 후에 상온에서 자연 냉각하였다.

3.3 물리적 시험 방법

3.3.1 압축강도

압축강도 측정은 KS L ISO 679에 준하여 UTM (INSTRON 1 200 kN)을 사용하여 하중 속도 2 400 ± 200 N/s로 시험하였다. 압축강도 변화율은 식(1)과 같이 산출하였다. 압축강도는 온도별로 400 mm × 400 mm × 1 600 mm 공시체 3개를 측정하여 평균값을 도출하였다.

$$S_{ch} = \frac{f_f - f_s}{f_s} \times 100 \quad (1)$$

여기서, S_{ch} 는 압축강도 변화율(%), f_f 는 화재피해 모사 후의 압축강도(MPa) 및 f_s 는 재령 28일 압축강도(MPa)이다.

3.3.2 질량변화율

400 mm × 400 mm × 1 600 mm 시험체를 대상으로 전기로 가열 전후의 질량을 측정하였다. 질량변화율은 식(2)와 같이 산출하였다. 질량변화율은 온도별로 400 mm × 400 mm × 1 600 mm 공시체 3개를 측정하여 평균값을 도출하였다.

$$W_{ch} = \frac{W_f - W_s}{W_s} \times 100 \quad (2)$$

여기서, W_{ch} 는 질량변화율(%), W_f 는 화재모사 후의 시험체 질량(g) 및 W_s 는 재령 28일 시험체 질량(g)이다.

3.4 색도 측정 방법

3.4.1 L*a*b 색도 측정

화재 피해 모사 후의 페이스트를 대상으로 표면에서 중심까지의 중간부 깊이인 10 mm 부근에서 시료를 채취하였다. 여기서, 표면 색도의 불규칙성을 해소하기 위하여 분말 형태로 시료를 제조하고 no.200(75 μm) 표준망체 통과분으로 색도 측정을 실시하였다. 사용 기기는 ㈜포산인더스트리사의 분광색차계(Spectrophotometer, Color i5)를 사용하였다. 가로 × 세로 × 깊이 20 mm × 20 mm × 0.2 mm의 시편 글라스에 분말 시료를 넣고, 분광색차계를 사용하여 L*a*b를 5회 측정하여 평균치를 도출하였다. 여기서 CIE에서 정한 측정용 광원인 D₆₅(상관색온도 6 500 K)를 표준 광원으로 적용하였다.

3.4.2 RGB 색도 측정

분말 시료를 넣은 가로 × 세로 × 깊이 20 mm × 20 mm × 0.2

mm의 시편 글라스를 iPhone XS 카메라를 사용하여 동일조건에서 촬영하였다. 3차원 레이저 스캐닝 및 이미지 프로세싱 시스템의 사전 연구로서, 본 논문에서는 스마트폰 내장 카메라를 활용하였다. 단 촬영 기기 및 조건에 따른 결과값 편차에 대해서는 추가적으로 확인할 필요가 있다. 촬영 파일은 이미지 처리 소프트웨어를 사용하여 시편 부분을 800 px × 800 px 크기로 잘라내기 한 후, Fig. 3과 같이 image color intensity analyzer 소프트웨어를 활용하여 빨간색(Red), 녹색(Green) 및 파란색(Blue)의 히스토그램을 추출하고 색상 강도(Color intensity)를 도출하였다.



Photo 1 Muffle furnace

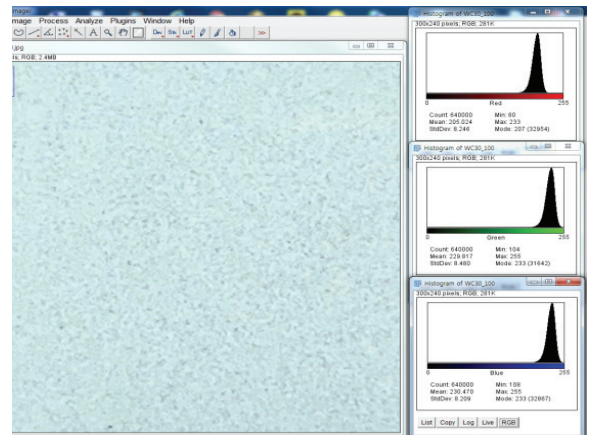


Fig. 3 Main menu of image color intensity analyzer

4. 실험 결과 및 분석

4.1 물리적 시험 결과

4.1.1 압축강도

Fig. 4 및 5에 가열 온도에 따른 W/C=0.5 및 0.3의 모르타르 압축강도 및 압축강도 잔존율을 나타내었다. X축은 시료 표

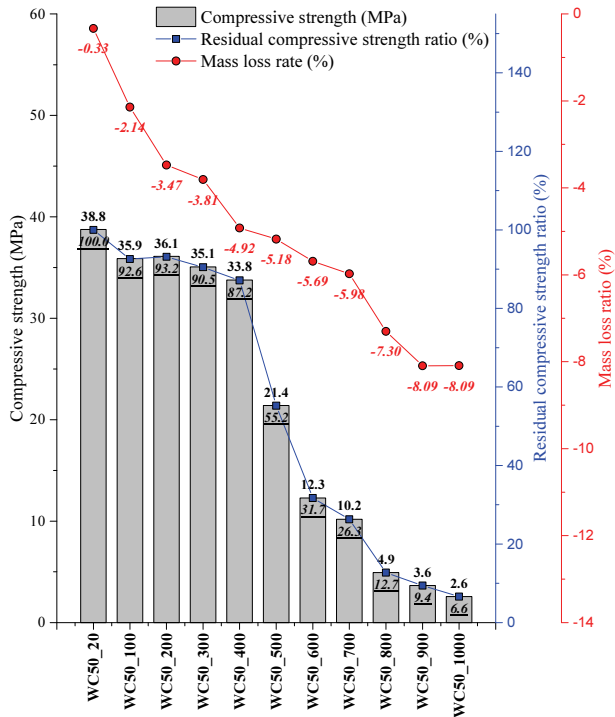


Fig. 4 Compressive strength and mass loss ratio as a function of fire exposure (W/C=0.5)

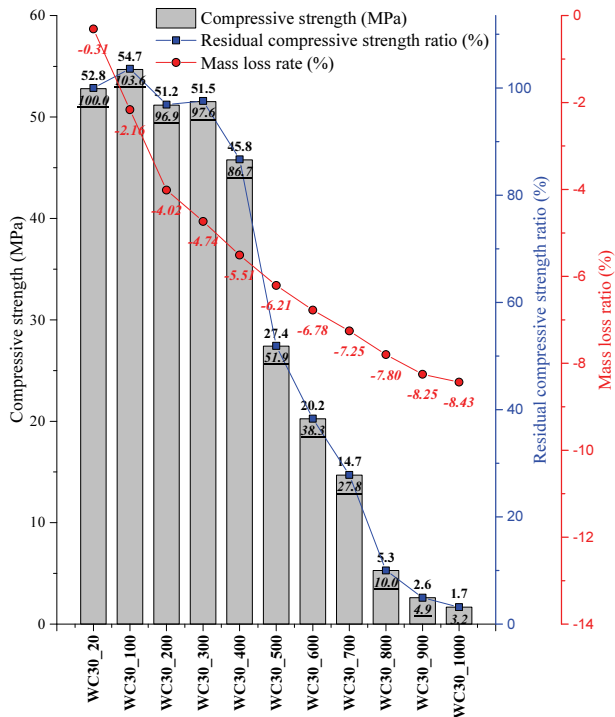


Fig. 5 Compressive strength and mass loss ratio as a function of fire exposure (W/C=0.3)

기로서 'W/C_가열온도'로 표기하였다. 가열 온도 400 °C 까

지는 압축강도 잔존율이 W/C=0.5는 87.2 %, W/C=0.3은 86.7 % 수준으로 화재피해 모르타르의 손상 정도는 미비한 수준에 그쳤다. 그러나 가열 온도 500 °C 이상에서 급격한 강도 저하가 나타났으며, W/C=0.5는 55.2 %, W/C=0.3은 51.9 %의 압축강도 잔존율이 나타났다. Khoury (Khoury, 1992) 및 Piasta (Piasta, 1989)에 따르면 일반적으로 콘크리트 및 모르타르는 100 °C에서 자유공극수가 방출, 100 °C ~ 200 °C에서 물리적 흡착수가 방출되어 콘크리트가 수축, 300 °C 이상에서 콘크리트 중의 시멘트 수화물이 화학적으로 변질, 400 °C 이상에서는 화학적 결합수가 방출되는 수준으로 내구성의 영향은 미비한 수준으로 알려져 있다. 그러나 가열 온도 500 °C 이상의 고온에 노출되면 수화물의 화학적 결합수 상실, 수산화칼슘 (Ca(OH)₂) 열분해에 따른 알칼리성 소실로 내구성이 현저히 저감되어 약 50 %의 강도 저하가 나타나며, 600 °C ~ 800 °C에서는 시멘트 페이스트 수축 및 골재 파열에 따라 약 80 %의 강도 저하가 나타난다고 보고되고 있다. 최종적으로 본 연구 결과와 일치하고 있다.

4.1.2 질량변화율

Fig. 4 및 5에 가열 온도에 따른 W/C=0.5 및 0.3의 모르타르 질량변화율을 나타내었다. 가열 온도 200 °C까지는 질량변화율이 W/C=0.5는 -3.47 %, W/C=0.3은 -4.02 % 수준으로 급격한 질량감소가 나타났다. 이것은 100 °C ~ 200 °C에서 물리적 흡착수가 방출되어 모르타르가 수축하는 것에 기인하고 있다고 판단된다. 가열 온도 300 °C부터는 선형적인 감소 경향이 나타났다. Fig. 6 및 7에 화재 피해 후의 압축강도 및 질량변화율의 상관관계를 나타내었다. W/C=0.5 및 0.3 모두 2차수 다항식의 상관관계를 나타내며, 결정계수(R²)는 W/C=0.5 및 0.3에서 각각 0.8282 및 0.8132로 높은 상관관계가 나타났다. 2차수 다항식 추세선은 식(3) 및 식(4)와 같다.

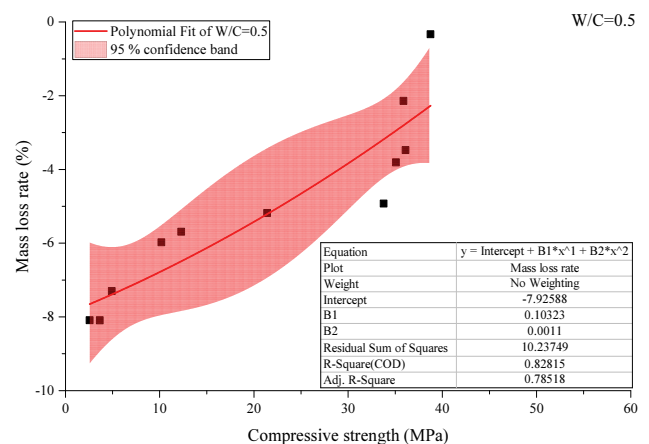


Fig. 6 Relationship of compressive strength and mass loss ratio as a function of fire exposure (W/C=0.5)

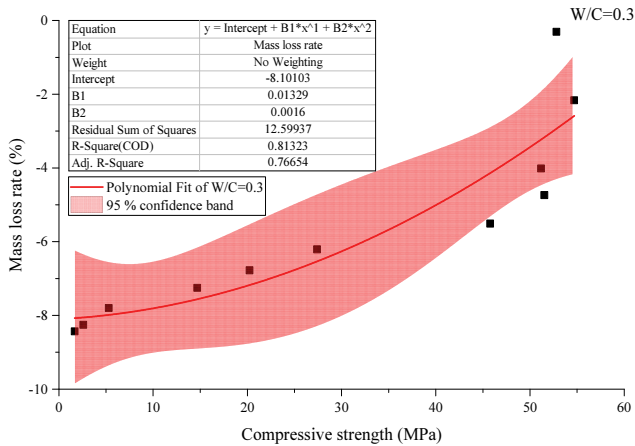


Fig. 7 Relationship of compressive strength and mass loss ratio as a function of fire exposure (W/C=0.3)

$$W_{ch} = LSUB(W/C=0.5)0.0011fLSUBf^2 + 0.1032f_f - 7.9259 \quad (3)$$

$$W_{ch} = LSUB(W/C=0.3)0.0016fLSUBf^2 + 0.0133f_f - 8.1010 \quad (4)$$

여기서, W_{ch} 는 질량변화율(%), f_f 는 화재피해 모사 후의 압축강도(MPa)이다.

4.2 색도 분석 결과

4.2.1 L*a*b 색도 분석

Fig. 8에 가열 온도에 따른 페이스트의 색상 변화를 나타내었다. 색상 변화 정도를 정량적으로 파악하기 위하여 L*a*b 색도 측정을 실시하였고 Table 2 및 Fig. 9에 측정 결과를 나타내었다. Table 2에는 측정된 L*a*b 결과값 및 sRGB 색공간을 적용한 RGB 변환값, HEX color code 및 Color description를 표기하였다. HEX color code는 16진수 표기법으로 광원인 R, G, B를 조합하여 표기하는 것으로 값의 최소치는 0이며 최대치는 255(FF)이다(color-hex.com, 2019).

L값은 밝기를 나타내는 값으로 시멘트량이 적은 W/C=0.5가 W/C=0.3보다 높은 값을 나타내고 있다. W/C=0.5 및 0.3 모두 상온(20 °C)보다 가열 온도 100 °C에서 L값이 높아지는 결

과로써 W/C=0.5는 76.9에서 80.8로 높아졌고, W/C=0.3은 71.5에서 74.9로 높아지는 결과였다. 그 이후 가열 온도가 상승함에 따라 L값이 낮아지는 결과가 나타났으며, W/C=0.5는 700 °C까지 L값이 낮아져서 700 °C에서 68.1으로써 최저값이 확인되었다. W/C=0.3은 800 °C까지 L값이 낮아져서 800 °C에서 67.7으로써 최저값이 나타났다. W/C=0.5는 700 °C이후부터 L값이 상승하여 900 °C에서 70.9로 높아지고 1 000 °C에서 68.8로 낮아지는 결과가 확인되었다. W/C=0.3은 800 °C이후부터 L값이 상승하여 900 °C에서 68.9로 높아지고 1 000 °C에서 67.9로 낮아지는 결과가 확인되었다.

a*는 색도 다이어그램으로 +a*는 빨간색(max. 127), -a*는 초록색(max.-128) 방향을 나타낸다. 본 시험에서는 W/C=0.5 및 0.3 모두 a*가 -1.10 ~ 0.30 범위에 분포하는 결과로써 가열 온도에 따른 변화의 차이(Δ_{max} 1.40)는 미비한 수준이었다. 이는 모든 시료가 빨간색과 초록색의 중간단계인 노란색 범주에 있는 것이라고 할 수 있다.

b*는 색도 다이어그램으로 +b*는 노란색(max. 127), -b*는 파란색(max.-128) 방향을 나타낸다. 본 시험에서는 W/C=0.5 및 0.3 모두 상온(20 °C)보다 가열 온도 100 °C에서 b*값이 낮아지는 결과로써 W/C=0.5는 5.58에서 5.00으로 낮아졌고, W/C=0.3은 5.42에서 4.69로 낮아지는 결과였다. 그 이후 가열 온도가 상승함에 따라 *b값이 높아지는 결과가 나타났다. W/C=0.5 및 0.3 모두 700 °C까지는 완만한 상승을 보이다가 700 °C이후는 급격히 상승하는 경향이였다. W/C=0.5의 경우 700 °C, 800 °C, 900 °C 및 1 000 °C에서 8.66, 10.56, 12.64 및 13.73으로 상승하였다. W/C=0.3의 경우 7.69, 9.61, 11.56 및 13.13으로 상승하였다. 결론적으로 700 °C이후에서 노란색의 강도가 강해지는 것으로 판단된다.

4.4.2 RGB 색도 분석

L*a*b 색도 분석 결과에 따르면 가열 온도가 상승함에 따라서 b*높아지는 결과가 확인되었다. 따라서 RGB 색도 분석에서는 Red 및 Green 색상의 히스토그램 분석을 수행하였다. Fig. 10에 Red 및 Green 색상 빈도(Frequency) 최대값을 나타내었다. 또한, Fig. 11 및 12에 가열 온도에 따른 Red 및 Green 색상의 히스토그램을 나타내었다. 히스토그램에서 X축은 이

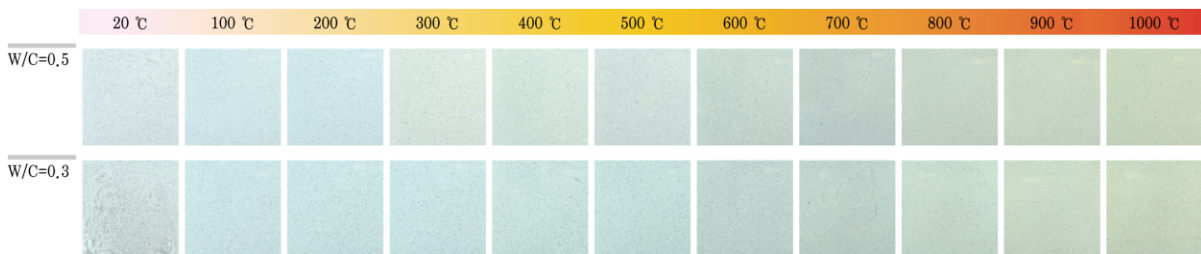


Fig. 8 Color change of heated paste powder

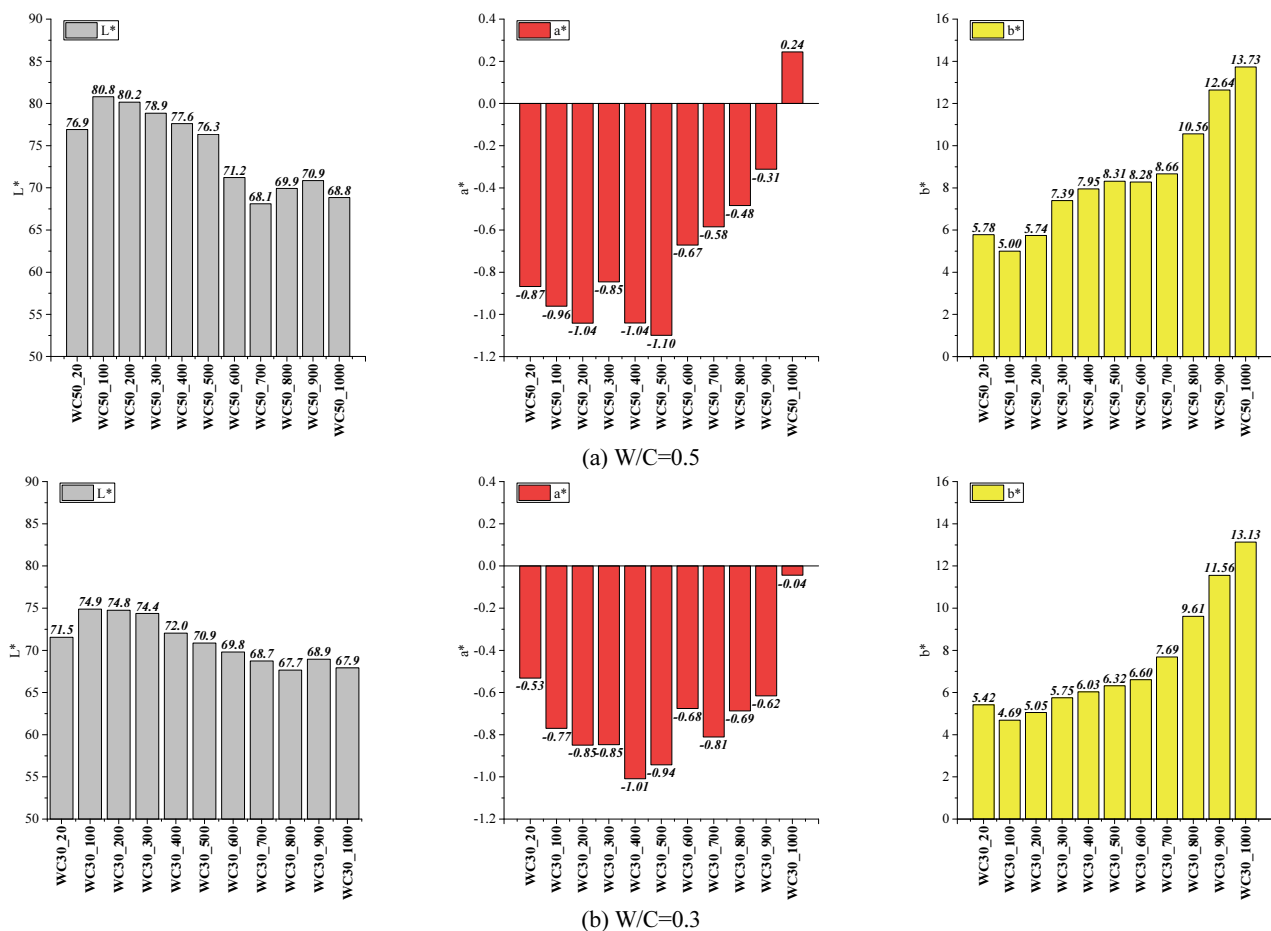
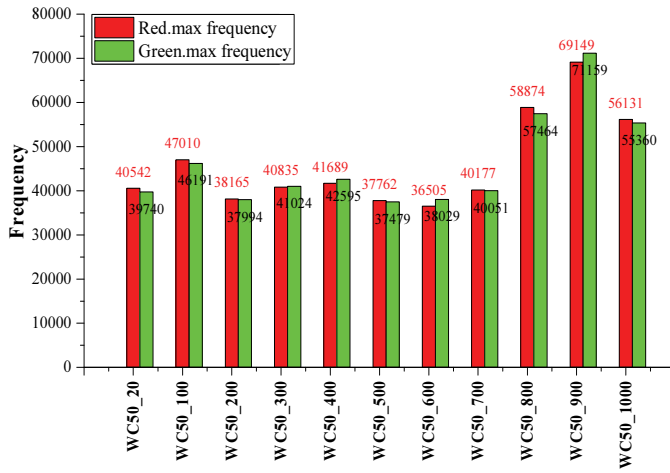


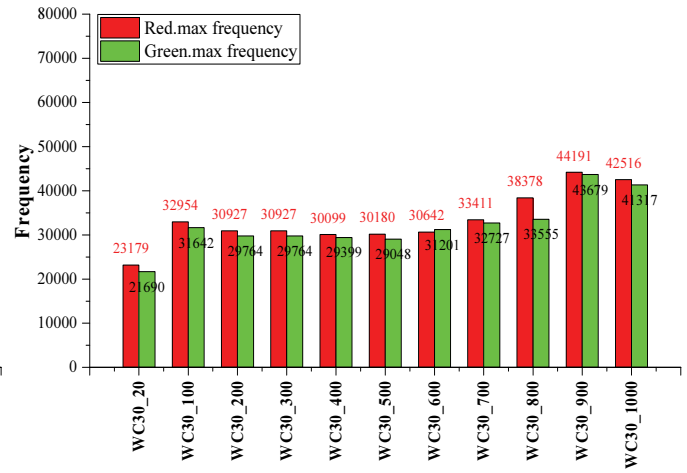
Fig. 9 Relationship between temperature and L*, a* and b* components

Table 2 Color Information of heated paste powder

W/C	Temp	CIELAB			RGB(sRGB color space)			HEX Color Code of RGB	Color description of HEX Color Code
		L	a*	b*	R	G	B		
0.5	20	76.9	-0.87	5.78	192.8	189.9	179.2	#C0BDB3	Grayish yellow
	100	80.8	-0.96	5.00	202.9	200.8	191.2	#CAC8BF	Grayish yellow
	200	80.2	-1.04	5.74	201.6	199.1	188.2	#C9C7BC	Grayish yellow
	300	78.9	-0.85	7.39	199.7	195.3	181.6	#C7C3B5	Grayish yellow
	400	77.6	-1.04	7.95	196.2	191.8	177.1	#C4BFB1	Grayish orange
	500	76.3	-1.10	8.31	192.7	188.2	172.9	#C0BCAC	Grayish yellow
	600	71.2	-0.67	8.28	179.5	174.1	159.3	#B3AE9F	Grayish yellow
	700	68.1	-0.58	8.66	171.6	165.7	150.4	#ABA596	Dark grayish orange
	800	69.9	-0.48	10.56	178.0	170.4	151.8	#B2AA97	Dark grayish orange
	900	70.9	-0.31	12.64	182.4	172.8	150.6	#B6AC96	Grayish orange.
1000	68.8	0.24	13.73	178.4	166.8	143.2	#B2A68F	Dark grayish orange	
0.3	20	71.5	-0.53	5.42	178.5	175.0	165.3	#B2AFA5	Dark grayish orange
	100	74.9	-0.77	4.69	186.7	184.5	175.7	#BAB8AF	Grayish yellow
	200	74.8	-0.85	5.05	186.6	184.2	174.8	#BAB8AE	Grayish yellow
	300	74.4	-0.85	5.75	186.0	183.1	172.5	#BAB7AC	Grayish yellow
	400	72.0	-1.01	6.03	179.4	176.6	165.5	#B3B0A5	Grayish yellow
	500	70.9	-0.94	6.32	176.8	173.6	162.0	#B0ADA2	Dark grayish orange
	600	69.8	-0.68	6.60	174.5	170.5	158.6	#AEAA9E	Dark grayish orange
	700	68.7	-0.81	7.69	172.1	167.5	153.7	#ACA799	Dark grayish orange
	800	67.7	-0.69	9.61	171.0	164.7	147.7	#ABA493	Dark grayish orange
	900	68.9	-0.62	11.56	175.7	167.7	147.3	#AFA793	Dark grayish orange
1000	67.9	-0.04	13.13	175.1	164.6	141.9	#AFA48D	Dark grayish orange	

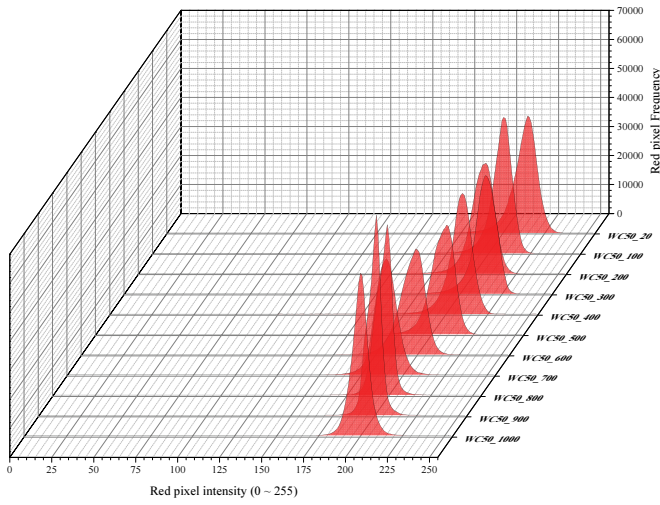


(a) W/C=0.5

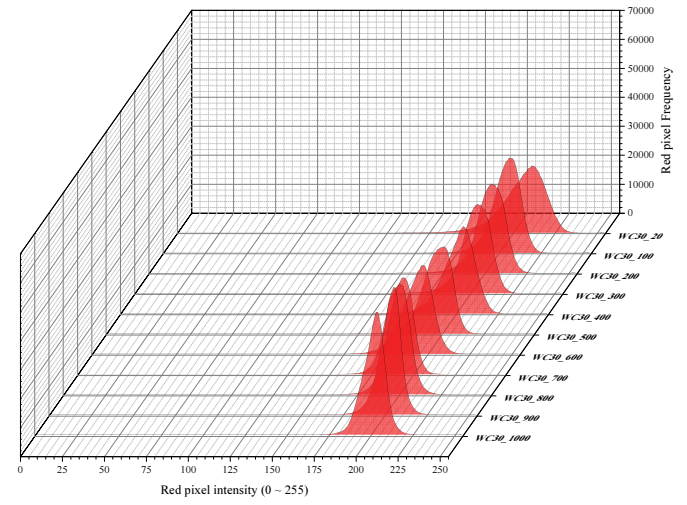


(a) W/C=0.3

Fig. 10 Relationship between temperature and max. Frequency (R and G)

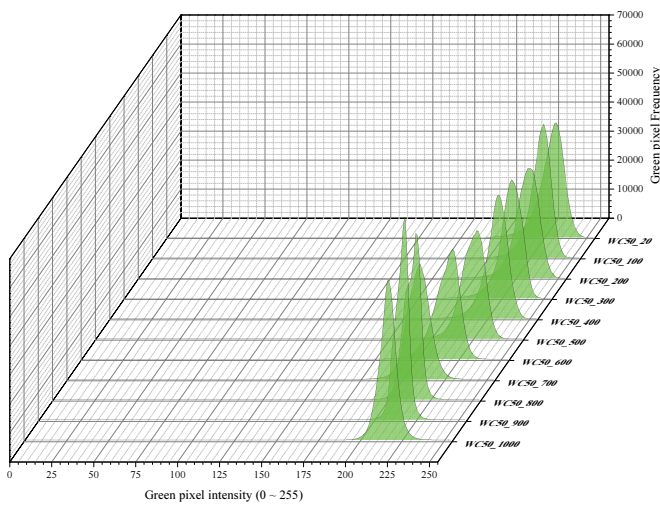


(a) W/C=0.5

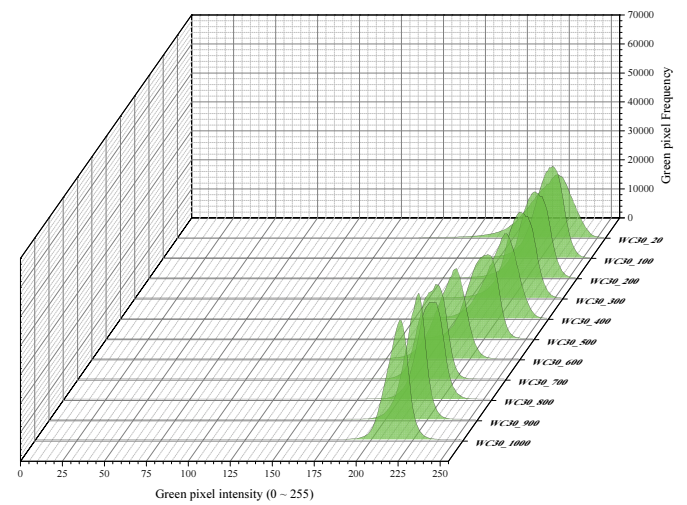


(a) W/C=0.3

Fig. 11 Relationship between temperature and Red color histogram



(a) W/C=0.5



(a) W/C=0.3

Fig. 12 Relationship between temperature and Green color histogram

미지 파일에서의 색상 강도(pixel intensity)를 나타내며, Y축은 색상 빈도(pixel frequency)를 나타낸다.

b* 색도 분석과 동일하게 700 °C 이후에서 Red 및 Green 색상 빈도가 높아지며 900 °C에서 최대값이 나타났다. 이는 L*a*b 결과와 동일하게 700 °C 이후에서 픽셀의 노란색 퍼센트가 많아지는 것으로 판단된다. W/C=0.5의 Red 색상 빈도는 700 °C에서 40 177이 900 °C에서 69 149로 높아졌으며, Green 색상 빈도는 40 051에서 71 159로 높아졌다. W/C=0.3의 Red 색상 빈도는 33 411에서 44 191로 높아졌으며, Green 색상 빈도는 32 727에서 43 679로 높아졌다.

700 °C 및 900 °C에 해당하는 히스토그램의 형상이 뾰족해지는 것을 확인하였으며, 형상을 정량적으로 판단하기 위하여 첨도를 분석하였다. W/C=0.5의 Red 히스토그램 첨도는 700 °C에서 11.96이 900 °C에서 22.99로 높아졌으며, Green 히스토그램 첨도는 11.50에서 23.52로 높아졌다. W/C=0.3의 Red 히스토그램 첨도는 8.73에서 13.83으로 높아졌으며, Green 히스토그램 첨도는 8.39에서 13.34로 높아졌다.

결론적으로 온도가 상승함에 따라 Red 및 Green의 픽셀(화소)이 많아지는 것을 확인할 수 있었다. 또한, Fig. 11 및 12에 따르면 W/C=0.5 및 0.3 모두 Red pixel intensity는 198에서 223, Green pixel intensity는 215에서 238 사이에 분포되어 있으며, 가열 온도에 따른 차이는 미비하였다.

5. 결론

가열 조건에 따른 모르타르의 압축강도 및 페이스트 색도 변화에 관한 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 또한, 향후 3차원 레이저 스캐닝 시스템 및 이미지 프로세싱을 활용한 손상도 평가 지표를 구축하기 위한 기초 자료로 활용하기 위하여 지속적인 실험 자료 구축이 필요하다.

- 1) 가열 온도 400 °C까지는 압축강도 잔존율이 W/C=0.5은 87.2 %, W/C=0.3은 86.7 % 수준의 강도 손상을 보였다. 그러나 500 °C 이상에서 급격한 강도 저하가 나타났으며, W/C=0.5는 55.2 %, W/C=0.3은 51.9 %의 압축강도 잔존율이 나타났다. 700 °C에서는 W/C=0.5는 12.7 %, W/C=0.3은 10.0 %의 압축강도 잔존율이 나타났다.

- 2) L*a*b 분석 결과 700 °C 이후부터 b*가 급격히 높아지는 결과가 나타났다. 이는 700 °C 이후에서 노란색의 강도가 강해지는 것으로 분석된다.
- 3) RGB 분석 결과 700 °C 이후부터 R 및 G의 히스토그램 빈도가 높아지는 것을 확인하였다. 이는 노란색(R + G)의 픽셀(화소)이 많아지는 것으로 분석된다.

감사의 글

본 논문은 2018 중소벤처기업부 산학연협력 기술개발사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제(S2635433)입니다. 이에 감사드립니다.

References

1. Wikipedia. Available at : [wikipedia.org/wiki/CIELAB_color_space](https://www.wikipedia.org/wiki/CIELAB_color_space)
2. Kang Y.H. (2014), Compressive Properties of Ultra High Strength Concrete Exposed to High Temperature, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 26(3), 377-384
3. Hancock, C, Roberts, G.W. (2012), Detecting Fire Damaged Concrete Using Laser Scanning, *International Federation of Surveyors(FIG) Working Week*, Rome, Italy, 6-10 May
4. Luo, H.L, Lin, D.F, Yu, C.C, Chen, L.Y. (2013), Application of Different HSI Color Models to Detect Fire-Damaged Mortar, *International Journal of Transportation Science and Technology*, 2(4), 303-316
5. Khoury, G.A. (1992), Compressive strength of concrete at high temperatures : a reassessment, *Magazine of Concrete Research*, 44 (161), 291-309
6. Piasta, J. (1989), Heat deformation of cement phases and microstructure of cement paste, *Materials and Structures*, 17(102), 415-420
7. color-hex. Available at : <https://www.color-hex.com>

Received : 01/21/2019

Revised : 01/24/2019

Accepted : 01/30/2019

요 지 : 본 연구는 화재 피해를 입은 콘크리트 구조물을 디지털 카메라 및 이미지 프로세싱 소프트웨어를 활용하여 손상도 평가를 하기 위한 기초 연구이다. 이를 위해 W/C=0.5(일반 강도) 및 0.3(고강도)의 모르타르 및 페이스트 시료를 전기로에 넣어 100 °C에서 1 000 °C까지 화재 피해를 모사한 후, 압축강도 및 색도 분석을 분석하였다. 여기서 페이스트는 분말형태로 가공하여 CIELAB 색도를 측정하였고, 디지털 카메라로 시료를 촬영한 후 색상 강도 분석(color-intensity analyzer) 소프트웨어로 RGB 색도를 측정하였다. 그 결과 가열 온도 400 °C까지는 압축강도 잔존율이 W/C=0.5는 87.2 %, W/C=0.3은 86.7 % 수준의 강도 손상을 보였다. 그러나 500 °C 이상에서는 급격한 강도 저하가 나타났으며, W/C=0.5는 55.2 %, W/C=0.3은 51.9 %의 압축강도 잔존율이 나타났다. 700 °C 이상에서는 W/C=0.5는 26.3 %, W/C=0.3은 27.8 %으로써 구조물의 내구성을 확보할 수 없는 수준이었다. L*a*b 분석 결과 700 °C 이후부터 b*가 급격히 높아지는 결과가 나타났다. 이는 700 °C 이후에서 노란색의 강도가 강해지는 것으로 분석된다. 또한, RGB 분석 결과 700 °C 이후부터 R 및 G의 히스토그램 침도 및 빈도가 높아지는 것을 확인하였다. 이는 R 및 G의 픽셀(화소)이 많아지는 것으로 분석된다. 따라서 화재 피해를 입은 콘크리트의 색도 분석은 노란색(b* 혹은 R+G)의 변화를 확인하는 것으로 손상 정도를 예상하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 콘크리트, 고온, 화재 피해, 안전 진단, 색도 분석, CIELAB 색 체계, RGB 색 체계
