

Color revelation characteristics of color mortar using iron oxide and carbon black

Hwa-Song Seok and Chang-Woo Hong[†]

Department of Civil Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju 27469, Korea

(Received July 13, 2020)

(Revised July 16, 2020)

(Accepted July 16, 2020)

Abstract Recently, as there has been growing demand for aesthetic quality in structural materials, the development of excellent color cement concrete having good coloration properties has become a requirement. This study is designed to analyze the basic physical properties of mortar and the properties of keeping the coloration under an ultraviolet ray accelerated weathering test environment according to changes in the mixing ratio between carbon black and iron oxide used as colorants. The test results show that the use of carbon black and iron oxide reduces the initial flow by 6.3~17.2 % and the air content by 3.5~31.5 % but increases the unit volume weight by 3.4~5.5 %, compared to ordinary Portland cement (OPC). In addition, the study shows that the addition of iron oxide increases the self drying shrinkage. So, caution needs to be taken on the workability of the concrete. The brightness value L^* represented by black showed the most excellent black colour when carbon black 3 % and iron oxide 5 % are added. According to UV accelerated weatherproof test, the brightness value L^* was found to increase in all experiment specimens by 4.28~11.97 %, and the color change by UV was found to be higher for the case where carbon black colorant was not used. Therefore, in terms of color revelation characteristics, the case using carbon black 3 % and iron oxide 5 % was found to show the best black color.

Key words Black color mortar, Carbon black, Iron oxide

산화철과 카본블랙을 사용한 컬러 모르타르의 색상발현 특성

석화승, 홍창우[†]

한국교통대학교 사회기반공학전공, 충주, 27469

(2020년 7월 13일 접수)

(2020년 7월 16일 심사완료)

(2020년 7월 16일 게재확정)

요약 최근에 들어 구조재의 미관에 대한 수요가 증대되고 있어, 색상발현이 우수한 컬러 시멘트 콘크리트 개발이 요구되고 있다. 본 연구에서는 착색제로 사용된 카본블랙과 산화철의 혼입률 변화에 따른 모르타르의 기초물성과 자외선 촉진 내후성 환경에서의 색상발현 유지 특성을 분석하고자 하였다. 실험결과 카본블랙과 산화철을 사용함에 따라 OPC에 비해 초기 플로우는 6.3~17.2 %, 공기량은 3.5~31.5 % 감소되고 단위용적질량은 3.4~5.5 % 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 산화철을 혼입함으로 인해 자기 건조수축량도 증가되어 작업성에 유의해야 할 것을 판단된다. 검정색상을 나타내는 명도 L^* 값은 카본블랙 3 %, 산화철 5 %를 혼입한 경우가 가장 우수한 검정색상을 보였다. 자외선 촉진 내후성 시험에 의해 L^* 는 4.28~11.97 % 증가되었고, 카본블랙을 사용함으로 인해 자외선에 의한 색상변화가 적게 되는 것으로 나타났다. 착색 측면에서 최적배합은 카본블랙 3 %, 산화철 5 %를 사용한 경우로 판단된다.

1. 서론

최근의 건축·토목용 구조 재료는 구조적 안정성과 더불어 생활 및 의식수준의 향상으로 미관에 대한 새로운

요구가 증가하여 의장성 콘크리트의 중요성이 강조되고 있다[1,5]. 이러한 요구에 맞추어 안료 또는 착색제를 사용한 컬러콘크리트는 다양한 색상을 발현시킬 수 있으며, 중소형 건축물을 중심으로 사용이 확대되고 있으나, 토목구조물에서는 버스정류장, 스킨 등 한정된 범위에 적용되고 있는 상황이다[2,7]. 국외의 경우는 내·외부 공간을 중심으로 다양한 색상의 컬러콘크리트가 광범위하

[†]Corresponding author
E-mail: cwhong@ut.ac.kr

게 쓰이고 있지만, 국내의 경우는 고가의 재료를 사용하는 관계로 공사비 증가 및 외부 환경에서의 내구성 평가가 검증되지 않아 사용이 제한적인 상황이다[2,3].

컬러콘크리트를 위해 사용되는 안료는 유기안료와 무기안료로 구분되며, 유기안료는 착색력이 크며, 색상이 선명한 장점을 갖고 있으나, 빛과 열에 의해 색이 변하고, 내구성이 떨어지기 때문에 유기안료보다는 무기안료가 콘크리트의 착색제로서 적합하다고 보고되고 있다[5,9].

컬러콘크리트의 색상 구현에 있어서 콘크리트 자체의 장중함과 견고한 이미지를 나타낼 수 있는 검은색은 명도가 현저하게 낮지 않을 경우 의장적인 요소로 사용하기 어려워 컬러콘크리트 제조시 가장 어려운 색상중의 하나이다[4-6]. 이와같이 최근에 들어 콘크리트는 환경친화적이고, 미관을 추구하는 경향이 대두되면서 착색제를 사용한 컬러 콘크리트의 적용이 증가되고 있으나, 컬러콘크리트에 관한 관련 규격이 없어 품질관리 및 현장 적용성에 어려움을 겪고 있는 것도 적용 확대의 문제점으로 제시되고 있다[5].

따라서 본 연구에서는 블랙 컬러 착색제로 카본블랙과 산화철을 사용한 블랙 컬러 모르타르의 유동 및 강도특성을 분석하고, 재령별 색상발현도와 자외선 촉진내후성 시험을 통한 색상변화도를 평가하여 최적배합을 도출하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1. 사용재료

실험에 사용된 시멘트는 국내 S사의 보통포틀랜드시멘트이며, 비중은 3.15, 분말도는 $3300 \text{ cm}^2/\text{g}$ 이다. 잔골재는 KS L 5199에 규정된 비중 2.68, 조립률 1.99, 단위용적질량 $1,537 \text{ kg}/\text{m}^3$ 인 주문진산 표준사를 사용하였다. 그리고 블랙착색제는 카본블랙과 산화철을 사용하였으며, 카본블랙은 국내 M사의 CAS Number 1333-86-4 제품을 사용하였으며, 밀도는 $1.8 \text{ g}/\text{cm}^3$ 이다. 또한 산화철은

국내 W사의 Black 318을 사용하였으며, 밀도는 $4.6 \text{ g}/\text{cm}^3$ 이다.

2.2. 실험항목

굳지않는 시멘트 모르타르의 플로우 실험은 KS F 2594, 공기량 시험은 KS F 2421, 단위용적질량 시험은 KS F 2409에 의거해 수행하였다. 그리고 건조수축에 의한 수축량 측정은 독일 Schleibinger사 시험기를 사용하였으며, 수축 및 팽창 측정은 기기의 레이저 빔과 시험편 표면의 접착센서에 의해 자동 측정하였다[5,7]. 압축강도는 KS L 5105 시험규격에 의하여 재령 7일 및 28일에 측정하였다. 자외선 촉진 내후성 시험은 KS M ISO 11507에 의한 자외선 노출 시험 사이클은 8시간을 1사이클로 구성하고, 사이클 모드는 $60 \pm 3^\circ\text{C}$ 에서 4시간 UV 조사($0.63 \text{ W}/\text{m}^2/\text{nm}$), $50 \pm 3^\circ\text{C}$ 에서 4시간 응축하는 것으로 하였다. 그리고 시험편의 색차 측정은 색차계를 사용하였다[5,8].

2.3. 실험인자 및 배합설계

블랙 착색제의 종류(카본블랙, 산화철)와 블랙 착색제의 혼입량 변화를 주요 실험인자로 선정하였다. 산화철 및 카본블랙의 혼입량은 시멘트량 대비 0%, 5%, 10%와 0%, 1.5%, 3.0%이다. 그리고 배합설계는 Table 1과 같다. 시멘트 모르타르의 제조는 KS L 5109의 기계적 혼합방법에 의거해 제조하였으며, 양생은 항온항습기에서 $20 \pm 1^\circ\text{C}$, 습도 $80 \pm 2\%$ 조건으로 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1. 유동특성

카본블랙과 산화철의 혼입률 변화에 따른 플로우 경시 변화 결과는 Fig. 1과 같다. 배합 초기의 플로우 값은

Table 1
Mix design of black-colored mortar

Classification	CB (%)	IO (%)	W/C (%)	Unit weight (kg/m^3)					
				C	W	S	CB	IO	SP
OPC	0	0	50	450	225	1499	-	-	9.0
CI-3-0	3	0	50	450	225	1499	13.5	-	9.0
CI-0-10	0	10	50	450	225	1499	-	45.0	9.0
CI-1.5-5	1.5	5	50	450	225	1499	6.75	22.5	9.0
CI-1.5-10	1.5	10	50	450	225	1499	6.75	45.0	9.0
CI-3-5	3	5	50	450	225	1499	13.5	22.5	9.0
CI-3-10	3	10	50	450	225	1499	13.5	45.0	9.0

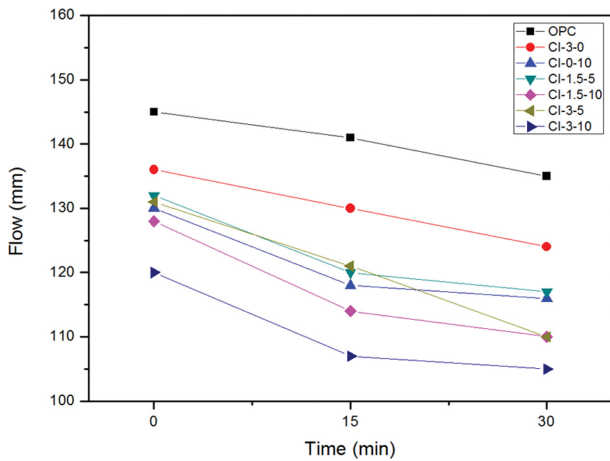


Fig. 1. Flow according to colorant type and contents.

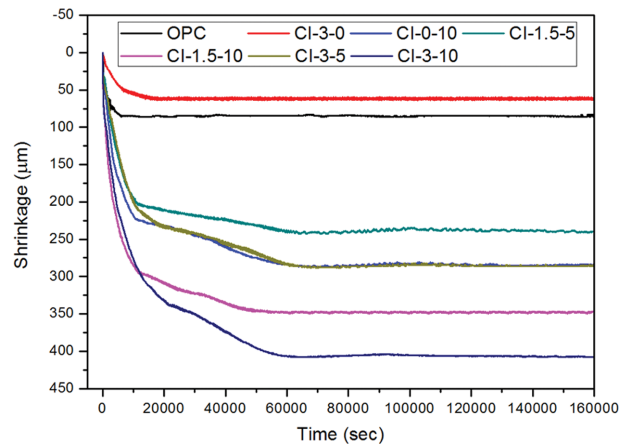


Fig. 3. Shrinkage according to colorant type and contents.

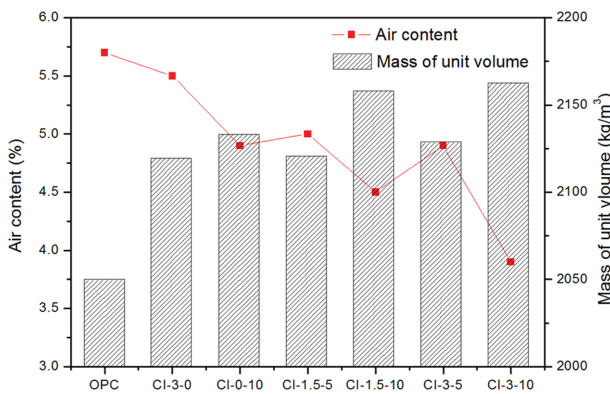


Fig. 2. Air and unit volume weight of black color mortar.

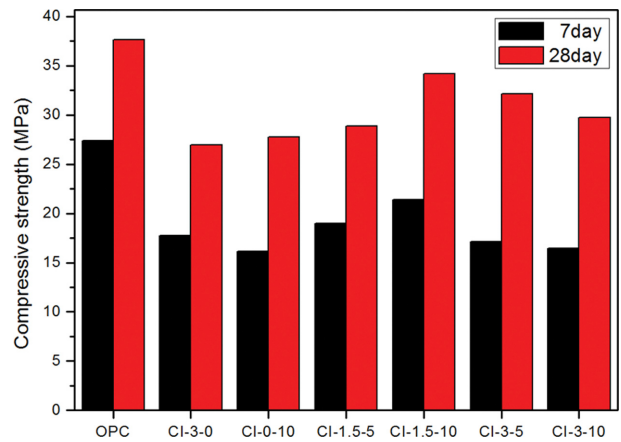


Fig. 4. Compressive strength with age in black color mortar.

OPC가 145 mm이며, 카본블랙을 3% 혼입한 경우는 136 mm로 OPC보다 9 mm 저하되었고, 산화철을 10% 혼입한 경우는 130 mm로 15 mm 저하되었다. 또한 카본블랙을 1.5%, 산화철을 5%, 10% 동시에 혼입한 경우는 132 mm, 128 mm, 카본블랙을 3%, 산화철을 5%, 10% 혼입한 경우는 131 mm, 120 mm로 OPC보다 13~25 mm 감소되는 것으로 나타났다. 따라서 두가지 블랙착색제를 혼합한 경우가 블랙 착색제 한가지를 사용하는 경우보다는 플로우 값이 더 크게 감소되는 것으로 확인되었다. 그리고 시간경과에 따른 플로우 경시변화도 배합초기와 유사한 경향을 보였다. 이와같이 블랙 착색제를 혼합함으로써 인해 플로우가 감소됨으로 시공시 작업성에 유의해야 할 것으로 판단된다. 그리고 블랙 컬러 모르타르의 공기량 및 단위용적질량의 실험결과는 Fig. 2와 같다. OPC의 공기량은 5.7%인 반면에 카본블랙을 3% 사용한 경우는 5.5%, 산화철을 10% 사용한 경우는 4.9%를 보였으며, 블랙안료 2가지를 모두 사용한 경우에는 3.9~5.0%로 OPC보다 공기량이 감소되는 것으로 나타났다. 또한 Fig. 2와 같이 카본블랙과 산화철을 사용함으로써 인해 단위용적질량은 3.4~5.5% 증가하였다.

3.2. 자기 건조수축 특성

시멘트 모르타르의 자기 건조수축은 체적이 변화되는 현상으로 Fig. 3에 나타난 바와 같이 카본블랙만 사용한 경우는 OPC보다 자기 건조수축량이 감소되었으나, 산화철만 사용하거나, 카본블랙과 산화철을 동시에 사용한 경우는 자기 건조수축량이 OPC보다 증가되는 결과를 보였다. 자기 건조수축량은 산화철과 카본블랙을 혼입함으로써 인해 증가되며, OPC는 10,000 sec에서 수축량이 수렴된 반면에, CI-3-0을 제외하고 블랙 착색제를 사용한 경우에는 대체적으로 60,000 sec에서 수렴되는 것으로 나타나, 배합 후 24시간 이내에서는 건조수축에 유의해야 할 것으로 판단된다.

3.3. 강도특성

재령별 압축강도는 Fig. 4와 같다. 블랙 착색제를 사용한 경우의 압축강도는 26.97~34.21 MPa으로 OPC의 37.64 MPa 보다 9.1~28.34% 감소되었다. 그리고 카본

블랙 1.5%, 산화철 10%를 혼입한 경우는 34.21 MPa, 카본블랙 3%, 산화철을 5% 사용한 경우는 32.17 MPa으로 OPC를 제외하고 가장 큰 압축강도를 보였다. 이와 같은 결과는 공기량이 4.5%, 4.9%로 나타난 결과와 연관성이 있는 것으로 판단된다.

3.4. 색상 발현성 평가

Figure 5는 재령별 모르타르의 표면의 L^* , a^* , b^* 의 색차계 측정결과이다. Figure 5(a)는 채도 변화를 나타낸 것으로 OPC의 경우 재령 14일을 기점으로 녹색에서 빨강 방향으로 변화된 반면에 블랙착색제를 사용한 경우에는 전반적으로 재령 7일까지 녹색 방향으로 변화하면서 유지되는 것으로 나타났다. Figure 5(b)는 색상을 나타내는 것으로, 산화철만 10% 혼합한 경우를 제외하고는 $+b^*$ 인 노랑 쪽에 위치하였으며, 재령별 차이점은 거의 없는 것으로 나타났다. Figure 5(c)는 a^* 와 b^* 의 관계를 나타낸 것으로 OPC의 경우는 $-a^*$, $+b^*$ 에 위치하였으나, 산화철을 10% 혼합한 경우를 제외한 모든 변수조건에서 $+a^*$, $+b^*$ 방향으로 위치되는 것으로 나타나, 색상과 채

도의 관계성에서 명확한 차이를 보였다. Figure 5(d)는 재령별 명도를 나타낸 것으로 L^* 값이 낮을수록 검정색상 발현이 높은 것을 의미한다. 재령 28일의 L^* 의 측정 결과는 OPC > CI-3-0 > CI-1.5-5 > CI-0-10 > CI-1.5-10 > CI-3-10 > CI-3-5 순으로 나타나, 카본블랙 3%, 산화철 5%를 혼입한 CI-3-5가 가장 우수한 검정색상을 보였다.

3.5. UV 촉진내후성 시험에 따른 색차변화도

UV 촉진 내후성 시험에 따른 L^* , a^* , b^* 의 색차계 측정 결과 값은 Fig. 6과 같다. Figure 6(a)는 재령별 색도 변화를 나타낸 것으로 모든 시험조건에서 $+a^*$ 방향인 빨강색 방향으로 변화되었다. 그리고 Fig. 6(b)는 재령별 색상 변화도로서, CI-0-10, CI-3-5 시험체는 $-b^*$ 방향, 이외의 시험편은 $+b^*$ 방향으로 변화되었다. 그리고 검정색 변화도를 나타내는 명도값 L^* 의 변화도는 Fig. 6(c)와 같다. 자외선 촉진 내후성 시험에 따라 모든 시험편에서 L^* 의 값은 4.28~11.97% 증가되었다. L^* 의 변화값이 가장 적은 경우는 카본블랙 1.5%, 산화철 10%를 혼합한 CI-1.5-10의 경우이며, 카본블랙만 10% 혼합한

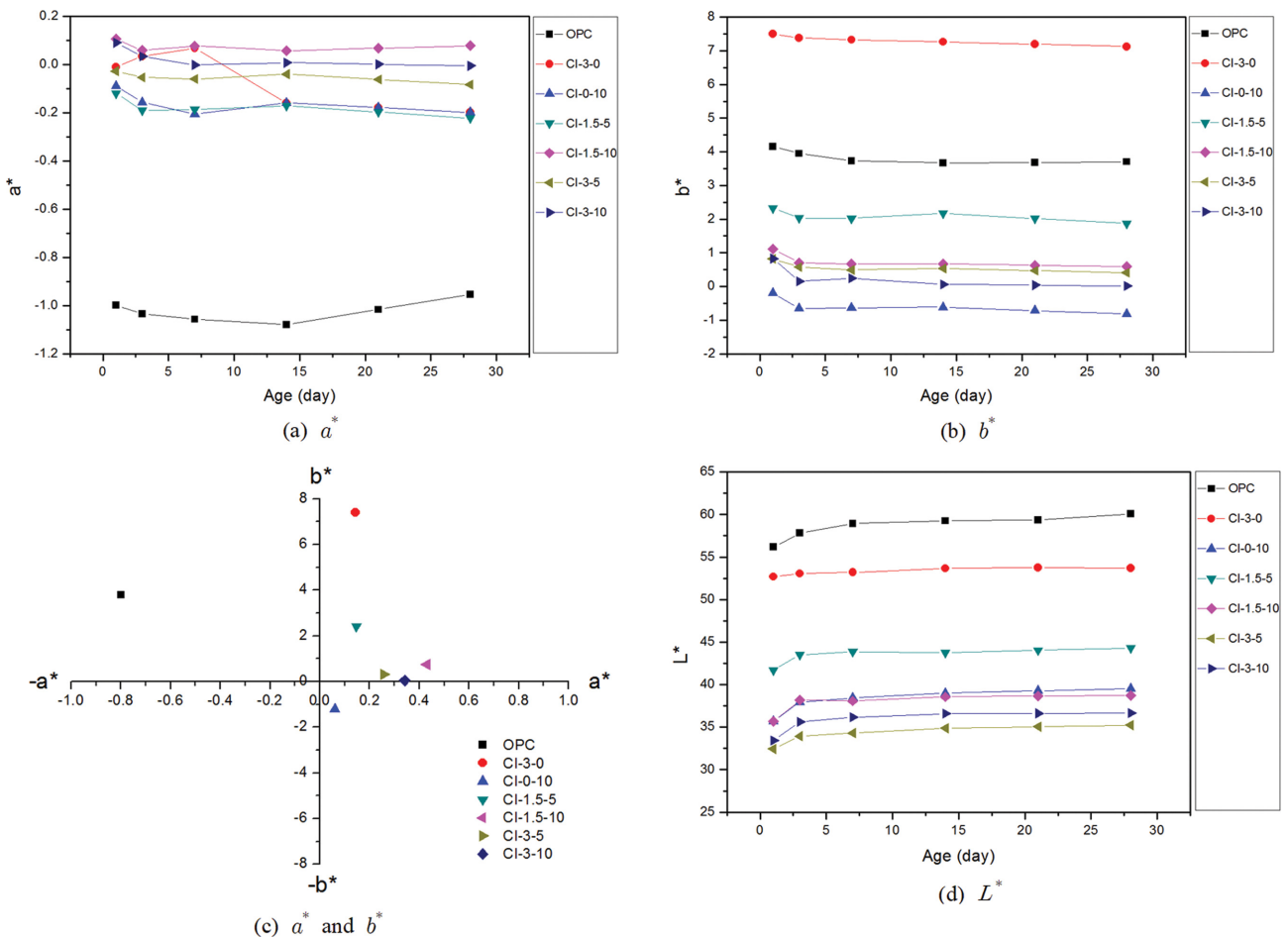


Fig. 5. Color change according to the age of black color mortar.

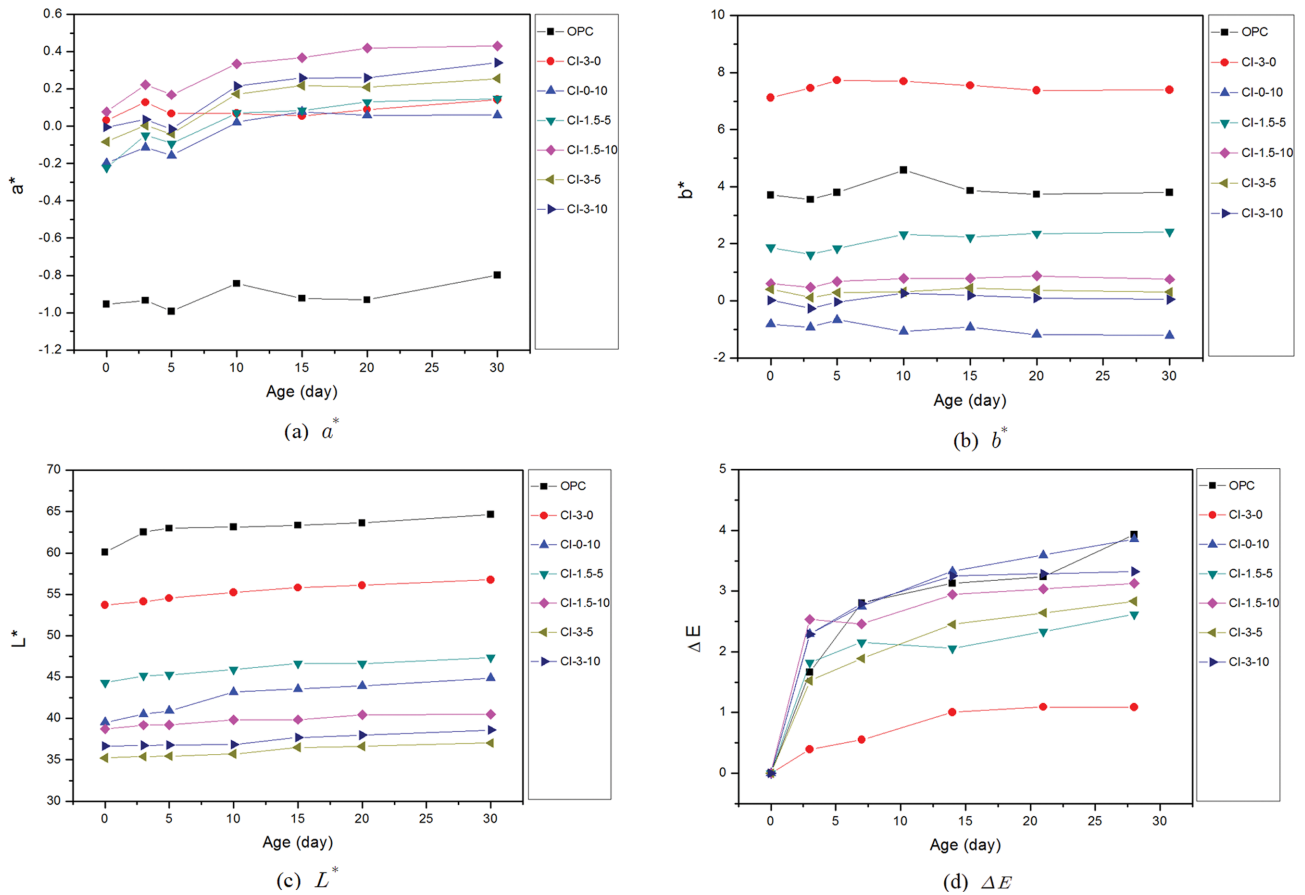


Fig. 6. Color difference change by age according to the UV accelerated weathering test.

경우인 CI-0-10 시험편이 가장 크게 L^* 가 증가되어 검정색상의 변화도가 흰색방향으로 변화되는 것으로 나타나, 카본블랙을 사용하면 자외선에 의한 색상변화가 적게 발생하는 것을 확인하였다. 그리고 총 색차 변화도인 ΔE 는 Fig. 6(d)와 같다. 자외선 촉진 내후성 시험에 따른 재령별 색차 변화도가 크게 나타난 순은 CI-0-10 > OPC > CI-1.5-5 > CI-3-0 > CI-3-10 > CI-3-5 > CI-1.5-10 이다. 따라서 명도는 카본블랙 3%, 산화철 5%를 사용한 경우가 가장 검정색상을 보이고, 총 색차변화도는 카본블랙 1.5%, 산화철 10%일 때 가장 적게 변화되는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

카본블랙과 산화철을 사용함에 따라 OPC에 비해 초기 플로우는 6.3~17.2%, 공기량은 3.5~31.5% 감소되고 단위용적질량은 3.4~5.5% 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 산화철을 혼입함으로 인해 자기 건조수축량은 증가되며, 산화철을 혼입할 경우에 카본블랙 사용량이 증가함에 따라 건조수축량도 증가되는 것으로 나타났

다. 양생 재령에 따른 검정색상을 나타내는 명도 L^* 값은 OPC > CI-3-0 > CI-1.5-5 > CI-0-10 > CI-1.5-10 > CI-3-10 > CI-3-5 순으로 크게 나타나, 카본블랙 3%, 산화철 5%를 혼입한 경우가 가장 우수한 검정색상을 보였다. 자외선 촉진 내후성 시험에 의해 L^* 는 4.28~11.97% 증가되었고, 카본블랙 착색제를 사용하지 않은 경우가 자외선에 의한 색상변화도가 더 크게 나타났다. 착색 측면에서 최적배합은 카본블랙 3%, 산화철 5%를 사용한 경우로 판단된다.

References

- [1] H.S. Jang, H.Y. Lee, K.J. Mun, S.Y. So and Y.S. Soh, "Analysis about color revelation degree of mortar that mixed pigment", Pro. Kor. Con. Inst. (2007) 825.
- [2] W.K. Jung, Y.S. Kil, Y.B. Kim and K.K. Yun, "Field application evaluation of black VES-LMC", Int. J. High. Eng. 13 (2011) 177.
- [3] S.H. Kim, H.S. Jang and S.Y. So, "The physical properties evaluation and analysis about color revelation of the black-color mortar which applies the granulated blast furnace slag", J. Korea Inst. Reso. Recy. 19 (2010) 86.

- [4] J.Y. Lee and S.S. Go, "Inorganic pigment on the colors of colored cement mortars applying CIE L*a*b* color system", J. Arch. Ins. Kor. Stru. Con. 19 (2003) 125.
- [5] H.S. Seok, "Color revelation characteristics of black mortar according to colorant type and contents", Masters thesis, Korea national university of transportation (2017).
- [6] S.J. Hong, T.H. Young and Y.S. Seung, "A study on the black color expression properties of mortar surface using industrial material and inorganic pigment", Pro. Kor. Inst. of Sur. Eng. (2013) 615.
- [7] C.W. Hong and H.S. Seok, "Color revelation of cement mortar using black coloring agent", Pro. Kor. Soc. of Civil Eng. (2016) 179.
- [8] C.W. Hong, "Examination of color difference in elastic pavement that uses EPDM chip using ultraviolet ray accelerated weathering test", J. Kor. Soc. Civ. Eng. 31 (2011) 91.
- [9] H.S. Jang, U.Y. Jeon, H.I. Park, Y.T. Lim and S.Y. So, "The characteristic of CASB mortar color expression using redispersible polymer", Pro. Kor. Vac. Soc. (2016) 627.
- [10] H.S. Jang, M. Lee and S.Y. So, "The analysis of color expression of carbon amino silica black mortar using artificial neural network", J. Nano. and Nanotec. 17 (2017) 8326.