감온성 안료의 혼입에 따른 온도반응 색변환 콘크리트의 기초물성에 관한 실험적 연구

Experimental Study on the Basic Properties of Concrete Composition Mixed with Pigments Having been Color Changed by the Temperature

이 주 헌* 박 용 규* 전 인 기** 윤 기 원***
Lee, Joo-Hun Park, Yong-Kyu Jeon, In-Ki Yoon, Ki-Won

Abstract

Recent trends show an increased usage of 'colored concrete', a inorganic pigmented concrete mix, especially in smalll to large scale buildings. However, due to lack of varieties, current usage of colored concrete is limited to the one or two simple color of the time in construction work. so, this study is to investigate the properties of concrete adding temperature reactive pigment.

The results of the experiment, the basic material characteristics of concrete such as of compressive strength and slump is affected by the amount rate of adding the temperature reactive pigment. And, it showed the excellent color expression and changing with temperature reactive pigment.

키 워 드 : 색상변화, 온도반응, 발색도
Keywords : color changing, temperature reactive, ager grad

1. 서 론

최근 콘크리트 구조물에서 미적 · 기능적 요구가 증대됨에 따라 다양한 디자인 요소를 반영하고 있는 추세이다. 특히 컬러 콘크리트는 고유한 질감과 색감을 표현함으로써 수요가 증가하고 있지만 이는 시공 당시의 색상으로 국한되는 단점을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 온도변화에 따라 다양한 색상을 표현할 수 있는 콘크리트의 기초적인 물성을 실험하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험 계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 실험요인으로 W/B는 50% 1수준에 대하여 플레인 배합은 목표 슬럼프 150±25mm, 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 실험계획 하였다. 플레인 배합결정 시에는 색상발현을 위하여 백색 포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 감온성 안료의 색상을 사용하여 첨가량은 시멘트 질량에 대하여 0, 1, 2, 3, 4%의 5수준으로 외할 치환하여 첨가하는 것으로 총 5배치의 실험을 계획하였다.

실험사항으로 굳지 않은 콘크리트에서는 슬럼프, 공기량을 측정하였으며, 경화 콘크리트에서는 압축강도와 온도변화에 따른 발색도를 측정하도록 실험계획하였다.

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준	
배합 사항	W/B(%)	1	50
	슬럼프플로우(mm)	1	150±25
	공기량(%)	1	4.5±1.5
	감온성 안료 첨가율	5	0, 1, 2, 3, 4
실험 사항	굳지않은 콘크리트	2	슬럼프 공기량
	경화 콘크리트	2	압축강도 발색도

2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로서 시멘트는 국내산 U사의 KS L 5204에 합격한 백색도가 90.5인 백색시멘트(밀도: 3.07 g/㎤ , 분말도 : 3,690㎠/g)를 사용하였고, 감온성 안료는 국내 P사의 분말형 안료(평균입경: 5.78㎛)로서 청색계열(다크블루)의 색상을 사용하였다. 또한 혼화제는 나프탈렌계 고성능 감수제(밀도:1.15g/㎤)를 사용하였다.

* 아주산업(주) 기술연구소 주임연구원
** 아주산업(주) 기술연구소 연구원
*** 아주산업(주) 기술연구소 연구소장, 공학박사

2.3 실험 방법

본 연구의 실험방법으로 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프는 KS F 2404, 공기량 시험은 KS F 2421의 시험방법 규정에 의거 실시하였다. 경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2405의 시험방법으로 실시하였고, 발색측정은 평균적인 색을 측정할 수 있는 일본 K사의 분광측색계(CM-2500d)제품을 사용하였으며, 3회 발색측정을 실시하여 평균값을 사용하였다. 온도변화에 따른 색변환 측정은 콘크리트 시편(150×150×100mm)을 제작하여 색변환 온도 범위인 27.0~30.5℃를 기점으로 항온기 30℃와 외기온도 20℃ 조건에서 방치하여 온도가 변화하는 것을 발색측정을 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 슬럼프 및 공기량

그림 1과 2는 안료 첨가율 변화에 따른 슬럼프 및 공기량 변화를 나타낸 것이다. 슬럼프는 감온성 안료를 첨가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었으나, 첨가율에 따라 비례하는 것으로 보기는 어려운 것으로 판단된다. 다만, 일반적으로 분말형의 첨가물이 콘크리트에 첨가되는 경우 첨가물의 분말도나 입도가 슬럼프에 영향을 주기 때문에, 평균 입자 크기가 시멘트보다 작은 감온성 안료의 첨가로 인해 콘크리트의 점성이 늘어남으로서 슬럼프가 Plain에 비해 증가된 것으로 사료된다.

공기량도 마찬가지로 Plain에 비해 감온성 안료를 첨가한 경우에서 전반적으로 증가되는 현상을 나타내었으나, 증가율이 첨가율에 비례하는 경향은 아닌 것으로 판단된다.

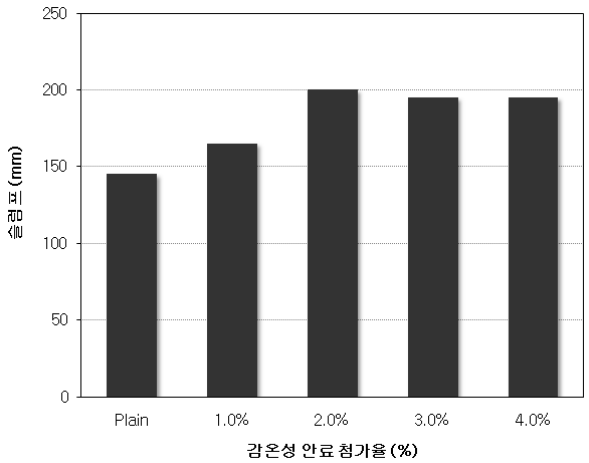

그림 1. 감온성 안료의 첨가율에 따른 슬럼프 시험 결과

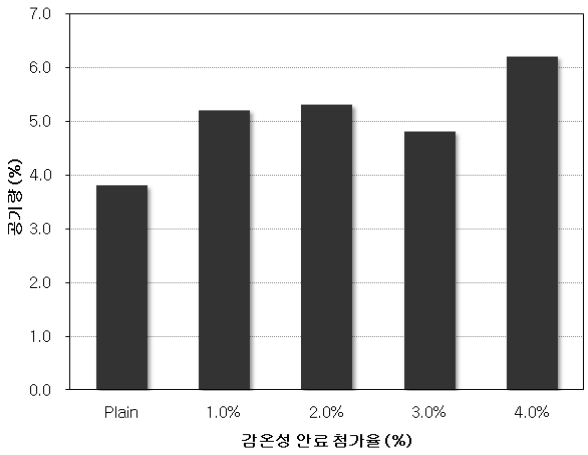

그림 2. 감온성 안료의 첨가율에 따른 공기량 시험 결과

3.2 압축강도

그림 3은 감온성 안료의 첨가율에 따른 압축강도를 비교하여 나타낸 그래프이다. 압축강도는 감온성 안료의 첨가율이 증가할수록 전반적으로 감소하는 경향을 나타내었는데, 이는 공기량 증가와 더불어 비시멘트질계인 감온성 안료의 첨가량이 증가함에 따라 안료의 비반응성 물질에 의해 시멘트의 수화반응을 저해하여 나타나는 것으로 사료된다.

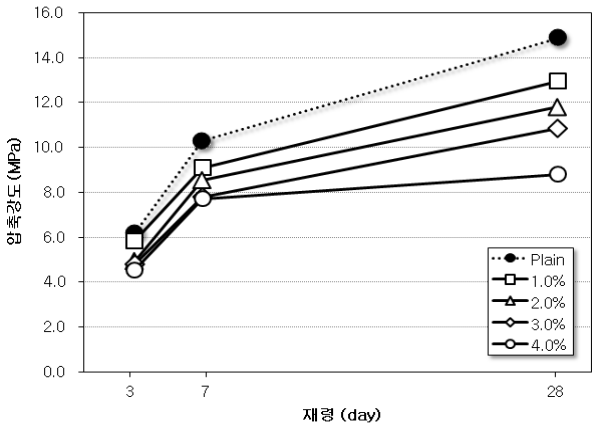

그림 3. 감온성 안료의 첨가율에 따른 압축강도 시험 결과

3.3 발색도

그림 4는 색상을 시각적 · 정량적으로 나타내기 위한 국제조명위원회 색도환(色度環 Chromaticity Diagram)과 색좌표를 나타낸 것이다. 색도환은 L*a*b* 색좌표 단위로 값을 표시하며 L*a*b* 값은 색의 3가지 특성인 명도, 채도, 색상을 나타낸다. L(luminosity)값은 0(검정색)~100(흰색)까지 표시가 되고, a*,b*값은 일반적으로 XY좌표계와 같은 평면 좌표계로써 가로축 a*값은 -60~+60, 세로축 b*값 역시 -60~+60의 범위를 가진다. 그리고 +a*쪽은 Red, -a*쪽은 Green, +b*쪽은 Yellow, -b*쪽은 Blue를 나타낸다.

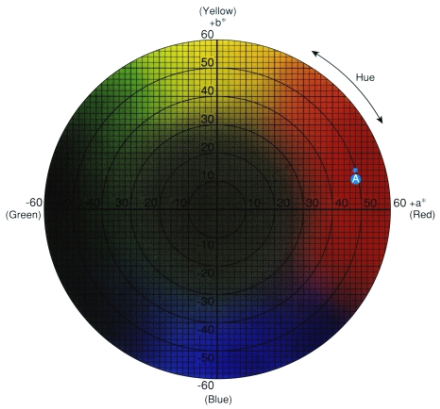

그림 4. CIE의 표준 a*b* Color Space

발색도 및 온도에 따른 색상변화를 관찰하기 위해 색변환의 기점이 되는 온도 범위인 27.0~30.5℃에 맞추어 20℃와 30℃에서 발색도를 측정하였고, 표 2는 감온성 안료의 첨가율에 따른 발색도를 각각의 온도에서 측정한 결과값을 나타낸 것이다.

표 2. 경화 콘크리트의 발색 및 색변환 측정결과

구 분		본색(20℃)	변색(30℃)
Plain	a*	0.57	0.51
	b*	5.11	5.87
	L*	85.78	85.41
1%	a*	5.21	10.21
	b*	−29.33	−22.02
	L*	80.71	82.33
2%	a*	−3.28	3.44
	b*	−32.10	−24.81
	L*	76.33	81.78
3%	a*	−4.12	6.20
	b*	−35.78	−22.32
	L*	69.50	79.47
4%	a*	−1.21	4.12
	b*	−40.04	−20.98
	L*	66.13	75.61

발색도의 측정결과, 외기온도 20℃의 조건에서 a*의 값은 Plain의 경우 0.57, 감온성 안료를 1% 첨가한 경우는 5.21, 2%는 −3.28, 3%는 4.12, 4%는 1.21이며, b*의 값은 Plain 및 첨가율 1%, 2%, 3%, 4%에서 각각 5.11, −29.33, −32.10, − 35.78, −40.04로 그림 5와 같이 a*b*의 조합을 통해 감온성 안료를 첨가한 경우에서 Plain에 비해 선의 선명도가 분명히 나타나며, 첨가율이 높아짐에 따라 청색방향의 색상이 뚜렷이 나타남을 알 수 있었다.

L*의 값은 Plain 및 첨가율 1%, 2%, 3%, 4%에 따라 각각 85.78, 80.71, 76.33, 69.50, 66.13으로 청색계열의 색상이 진해짐에 따라 밝기가 점점 어두워지는 경향을 나타내고 있다.

따라서, 감온성 안료의 첨가율이 증가함에 따라 청색방향의 색상이 발현되고, 선명해지는 것으로 나타났다.

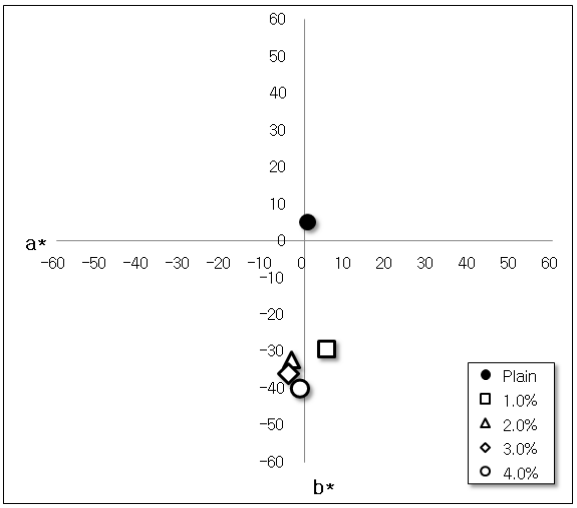

그림 5. 감온성 안료의 첨가율에 따른 색도좌표

온도변화에 따른 색상변화를 알아보기 위해 30℃의 온도 조건에서 감온성 안료의 첨가율에 따른 색변환 정도의 크기를 분석한 결과, 그림 6, 7, 8과 같이 나타났다.

a*의 값은 Plain의 경우 0.06의 변화 값을 기록하였고, 첨가율 1%의 경우 5.00, 2%의 경우 6.72, 3%는 10.32, 4%는 5.33 정도로 Plain에 비해 색의 선명도에 대한 변화폭이 크게 나타난 것을 알 수 있었다.

b*의 수치 변화값은 Plain의 경우 0.73을 기록하였고, 첨가율 1%, 2%, 3%, 4%에서 각각 7.31, 7.29, 13.46, 19.06으로 첨가율이 높아짐에 따라 색상의 변화정도가 커짐을 알 수 있었다.

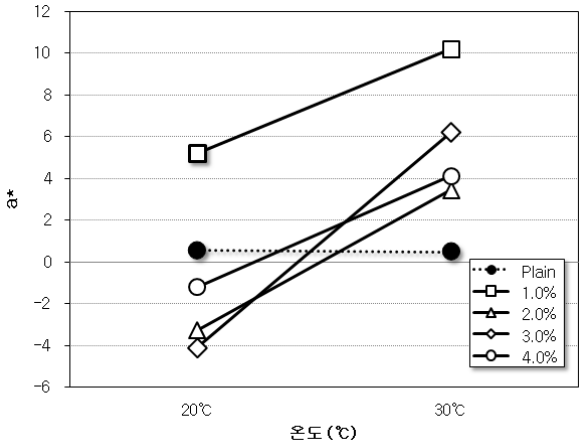

그림 6. 온도변화에 따른 감온성 안료의 첨가율에 대한 a*값

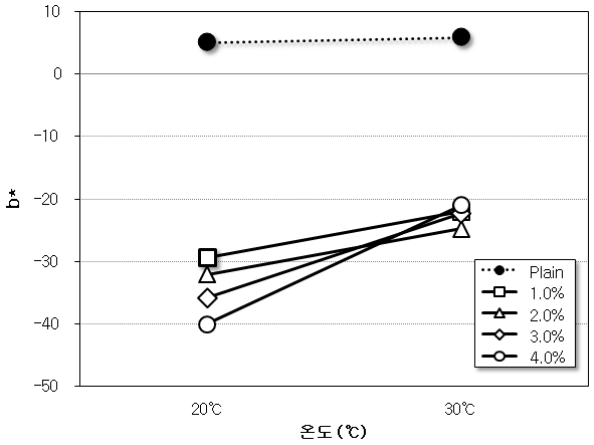

그림 7. 온도변화에 따른 감온성 안료의 첨가율에 대한 b*값

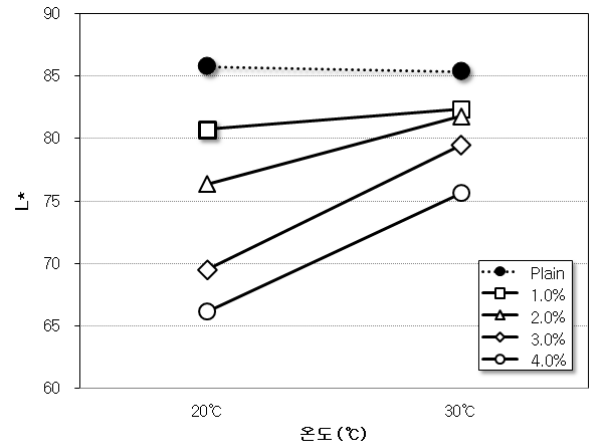

그림 8. 온도변화에 따른 감온성 안료의 첨가율에 대한 L*값

L*(명도)의 변화값 역시 Plain의 경우 0.37이었으나, 첨가율이 증가함에 따라 각각 1.62, 5.45, 9.97, 9.48로 감온성 안료의 첨가율이 증가함에 따라 색의 밝기 변화가 뚜렷해짐을 나타내었다.

따라서 온도변화에 따른 콘크리트의 색변환을 관찰한 결과, 색변환 온도(27.0~30.5℃)를 기점으로 본래의 색인 청색에서 흰색에 가까워지는 무채색 방향으로 색상이 변화함을 관찰하였고, 감온성 안료 첨가율이 증가함에 따라 색상발현 즉 a*b*값의 변화 정도가 뚜렷하게 나타났다. 적용색상인 청색계열의 b*의 색상변화 값이 첨가율이 증가함에 따라 변색온도 조건에서 색변환이 양호하게 나타나는 것으로 확인되었다.

4. 결 론

감온성 안료의 첨가율에 따른 콘크리트의 기초 물성 및 발색도를 검토한 결과는 다음과 같다.

1) 슬럼프 및 공기량은 감온성 안료의 첨가로 인해 점성이 늘어나 증가하지만, 첨가율에 따른 증가량은 비례한 결과값을 나타내지는 않았다.
2) 압축강도는 비시멘트질계인 감온성 안료를 첨가함에 따라 전반적으로 감소하는 경향을 나타냈으며, 첨가율이 증가할수록 그 감소폭이 증가하는 것으로 나타났다.
3) 외기온도 20℃ 조건에서 감온성 안료의 콘크리트 착색도를 실험한 결과, 안료의 첨가율이 증가함에 따라 의도한 청색방향의 색상이 발현되고, 선명해지는 것으로 나타나 착색률이 우수한 것으로 판단된다.
4) 온도변화에 따른 색변환을 관찰한 결과, 감온성 안료 첨가율에 따라 주어진 온도 조건에서 색상의 선명도가 줄어들며 색상의 변화가 뚜렷하게 나타나 온도변화에 따른 색변환성이 양호한 것으로 판단된다.

본 연구에서 도출된 결과를 통하여 감온성 안료의 첨가율이 증가될수록 착색 및 온도에 대한 색변환의 정도가 높게 나타나는 것을 알 수 있었으나, 콘크리트의 내구적인 측면에서의 추가적인 검토가 필요한 것으로 보여진다.

감사의 글

이 연구는 건설교통부가 출연하고 “콘크리트 코리아 연구단”에서 주관하여 시행한 05 건설핵심D11〈고성능 · 다기능 콘크리트의 개발 및 활용기술〉지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다

참 고 문 헌

1. 박종호외, 콘크리트용 안료의 종류 및 첨가율에 따른 칼라콘크리트 기초물성에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 논문집 제20권 제1호, 2008
2. 이문환, 칼라 콘크리트의 제조기술 및 활용, 콘크리트학회지, 제15권 제1호, 2003
3. 이재용외, CIE L*a*b 표색계를 적용한 무기안료가 착색시멘트모르터의 색에 미치는 영향분석, 대한건축학회논문집, 구조계 제19권 2003