

안료를 첨가한 칼라콘크리트의 유동성 및 강도에 대한 실험적 연구

An Experimental Study on the Flowability and Compressive Strength of Color Concrete Mixed with Pigments

최재진* · 황의환** · 문대중***

Choi, Jae Jin · Hwang, Eui Hwan · Moon, Dae Joong

Abstract

To know the effect of pigments on the material properties of color concrete, mortar and concrete tests were carried out by the using 5 kinds of pigment. The major component of red, yellow and black pigments was iron oxide and coloring component of blue and green pigments was copper phthalocyanine. Properties of mortar and concrete were some of difference according to adding ratio and kind of pigments. In case of using red, yellow and black pigments, setting time of concrete speeded a little and compressive strength was tendency to increase and slump or air content of concrete was same or decreased. On the other hand, in case of using green and blue pigments, compressive strength of concrete decreased largely because of the excessive air entrainment of surfactant and slump or air content of concrete increased highly. When the antifoaming agent was added to the color concrete mixed with green and blue pigments, compressive strength of concrete was improved and similar to that of concrete without pigment.

Keywords : pigment, color concrete, air entrainment, compressive strength, antifoaming agent

요 지

안료가 칼라콘크리트의 성질에 미치는 영향을 알아보기 위해 산화철이 주성분인 적색, 황색 및 흑색 안료와 동 프탈로시아닌을 착색성분으로 하는 청색과 녹색 안료 5종류를 사용하여 모르타르와 콘크리트 실험을 실시하였다. 안료의 종류 및 첨가율에 따라 모르타르 및 콘크리트의 품질특성이 차이가 있었다. 적색, 황색 및 흑색 안료를 첨가한 콘크리트의 응결시간은 다소 빨라지고 압축강도는 약간 증가하는 경향이었으며, 슬럼프 및 공기량은 거의 같거나 감소하였다. 반면, 청색 및 녹색 안료를 첨가한 경우 계면활성제의 공기연행에 의해 콘크리트의 압축강도가 크게 저하하였으며, 슬럼프 및 공기량은 크게 증가하였다. 이들 청색 및 녹색 안료를 첨가한 콘크리트에 소포제를 첨가함으로써 콘크리트의 압축강도가 크게 개선되어 안료를 첨가하지 않은 콘크리트와 비슷한 강도발현이 나타났다.

핵심용어 : 안료, 칼라콘크리트, 공기연행, 압축강도, 소포제

1. 서 론

최근에 와서 환경친화적인 콘크리트의 중요성이 강조됨은 물론 콘크리트 구조물의 아름다움을 추구하는 경향이 증가하면서 착색제를 사용한 칼라콘크리트의 생산이 증가하고 있다. 특히, 자전거 도로, 공원 및 학원의 보도에 대부분 칼라 콘크리트가 시공되고 있으며, 한남동의 문화센터는 칼라콘크리트 시공된 좋은 예라 할 수 있다(李承勳 등, 2004).

이러한 칼라콘크리트의 제조방법에는 도료나 뿔어 붙이기 재료를 사용하여 표면부만 착색시키는 방법과 혼합을 할 때 착색제를 첨가하여 콘크리트를 착색시키는 방법 및 질량으로 2% 내지 10%의 안료가 포함된 백색시멘트를 사용하는 방법 등이 있다(A. M. Neville, 1996).

칼라콘크리트용으로 사용할 수 있는 착색제로서 안료는 물과 용매에 녹지 않는 색깔을 가진 미립의 분말로 침투수에 의해 용해되어 색이 변하거나 주위를 오염시킬 우려가 있는 염료에 비해 보다 안정된 성질을 가진다. 또한, 안료 중 무기안료는 열, 빛, 알칼리 등에 대하여 화학적으로 안정하고, 밀비탕 또는 골재의 색을 감추는 능력이 크다. 반면, 유기안료는 색깔이 선명하고 착색력이 크다는 장점은 있으나 열과 빛에 대하여 내구적이지 못한 것이 많고 색이 바래기 쉽기 때문에 유기안료보다는 무기안료가 콘크리트의 착색제로서 적합하다고 알려져 있다(한국콘크리트학회편, 1997).

칼라콘크리트용 착색제로 사용되는 무기안료는 구성성분 및 제조방법에 따라 다양한 종류가 제조되고 있으며, 각각 특성 및 입자형태가 약간씩 다르고 콘크리트의 유동성 및

*정희원 · 공주대학교 공과대학 건설환경공학부 교수(E-mail: jjchoi@kongju.ac.kr)

**공주대학교 공과대학 화학공학부 교수(E-mail: ehhwang@kongju.ac.kr)

*** (주)빅트 기술이사(E-mail: moondaejoong@yahoo.co.kr)

강도에 영향을 미치는 것으로 보고(이재용 등, 1999, 2000) 되고 있으나, 다양한 연구결과가 보고되고 있지는 못한 실정이다. 또한 안료의 종류에 따라서는 초기의 강도발현이 양호하지 못하다는 현장 측의 이야기도 종종 들을 수 있다.

그러므로 본 연구에서는 안료가 칼라콘크리트의 물성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 국내에서 널리 시판되고 있는 안료 5종류를 선정하였다. 이들 안료를 사용하여 제조한 모르타르 및 콘크리트의 유동성, 응결시간, 압축강도를 측정, 고찰함으로써 안료가 칼라콘크리트의 성질에 미치는 영향을 제시하고자 한다.

2. 실험계획

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

시멘트는 H사가 생산한 밀도 3.15 g/cm^3 의 보통포틀랜드시멘트를 사용하였다.

2.1.2 안료

사용한 안료는 D사에서 제조한 것으로 Table 1에 나타낸 적색, 황색, 녹색, 청색 및 흑색 5종류이다. 이중 적색, 황색 및 흑색은 산화철이 주성분인 무기안료이며, 녹색과 청색은 유기질의 발색성분과 산화철, 실리카 및 알루미늄 등의 무기질 성분이 포함된 안료를 사용하였다.

2.1.3 골재

모르타르 시험에 사용한 잔골재는 압축강도 시험용의 주문진 표준사이다.

콘크리트 시험에서 잔골재는 조립률 2.60, 밀도 2.58 g/cm^3 의 강도래를 사용하였고, 굵은골재는 최대치수 25 mm, 밀도 2.65 g/cm^3 의 부순자갈을 사용하였다.

2.2 시험방법

2.2.1 시멘트 응결시간 측정

KS L 5102 및 KS L 5103의 규정에 따라 시멘트 페이스트를 만들어 길모어 침에 의한 응결시간을 측정하였으며, 안료의 첨가량은 시멘트 질량에 대해 0~10%(2% 간격)로 하였다.

2.2.2 모르타르 시험

KS L 5105 및 KS L 5109에 규정된 시험방법에 따라 시멘트와 표준사를 1:2.45 무게비 및 물-시멘트비 48.5%로 하고 안료를 시멘트 질량에 대해 0~10%(2% 간격) 첨가하여 모르타르를 비빈 다음 압축강도시험용 시험체를 제작하

Table 2. Concrete mix proportion

W/C (%)	S/a (%)	unit mass (kg/m^3)				
		W	C	S	G	pigment
54.3	44	190	350	776	1015	0~31.5

였다. 제작된 시험체는 24시간 지난 후 탈형하고, 강도시험 때까지 20°C 의 수중에서 양생하였다.

재령 7일과 28일에 압축강도시험을 실시한 후 시험체를 온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 및 습도 $60 \pm 10\%$ 실내에서 10일간 건조시킨 다음 무게를 측정하여 단위질량을 구하였다.

2.2.3 콘크리트 시험

콘크리트 시험은 Table 2의 콘크리트 배합으로서 실시하였으며, 안료는 시멘트 질량에 대해 각각 0, 3%, 6%, 및 9% 첨가하였다. 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프, 공기량은 각각 KS F 2402, KS F 2421 규격에 준하여 측정하였으며, 응결시간은 5 mm체를 통과한 모르타르를 이용하여 KS F 2436의 Proctor 관입저항 시험방법에 따라 측정하였다. 압축강도는 KS F 2405의 규격에 따라 $\phi 100 \times 200 \text{ mm}$ 압축강도 시험용 공시체를 제작하여 표준양생한 다음 재령 7일과 28일에서 측정하였다.

한편 콘크리트의 공기량을 크게 증가시킨 녹색과 청색 안료의 경우에 있어서는 소포제를 안료 질량에 대하여 10% 첨가한 콘크리트 시험을 병행하였다.

이때 소포제는 백색 분말의 독일산 Agitan 803을 사용하였다.

3. 시험결과 및 고찰

3.1 안료를 첨가한 시멘트 페이스트 및 칼라모르타르의 성질

3.1.1 시멘트 페이스트의 응결시간

콘크리트용 착색재로서 안료에 요구되는 성질은 콘크리트의 물성을 저하시키지 않을 것 이외에 잘 분산될 것, 耐光性이 강할 것, 알칼리에 대하여 안정할 것 등이며 안료의 발색성분은 여러 가지가 사용된다. 일반적으로 적색, 갈색, 자주색 및 황색의 안료에 있어서는 산화철이 이용되고, 흑색 안료에는 산화철과 카본블랙(carbon black), 백색 안료에는 산화티타늄(titanium dioxide)이 사용된다. 그리고 녹색 안료에는 동 프탈로시아닌 그린 첨가물과 산화크롬(chromium oxide)이 사용되고, 청색 안료는 동 프탈로시아닌 블루 첨가물, 울트라마린(ultramarine) 및 코발트 블루(cobalt blue)가 사용된다(日本콘크리트工學協會編, 1989).

안료 중에는 콘크리트의 물성과 관련하여 워커빌리티의 저하 또는 수축의 증가를 가져오는 것이 있으며, 유기안료 중에는 콘크리트의 응결과 강도발현에 나쁜 영향을 미치는 것이 있다. 또 카본블랙의 경우 종류에 따라서는 첨가할 때 불순물이 떠오르는 것이 있으며, 사용 중 빗물 등에 의해 콘크리트에서 용출되어 변색되거나 주위를 오염시키는 것도 있어 옥외환경에서의 사용은 피하는 것이 좋다고 한다(笠井芳夫 등, 1993).

Table 1. Chemical and physical properties of pigments

color	coloring component	density (g/cm^3)
red	iron oxide	4.47
yellow	iron oxide	3.90
green	copper phthalocyanine	2.70
blue	copper phthalocyanine	2.57
black	iron oxide	4.54

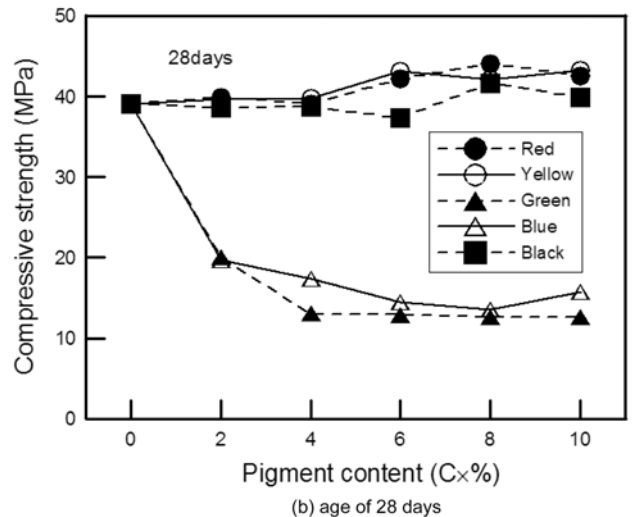
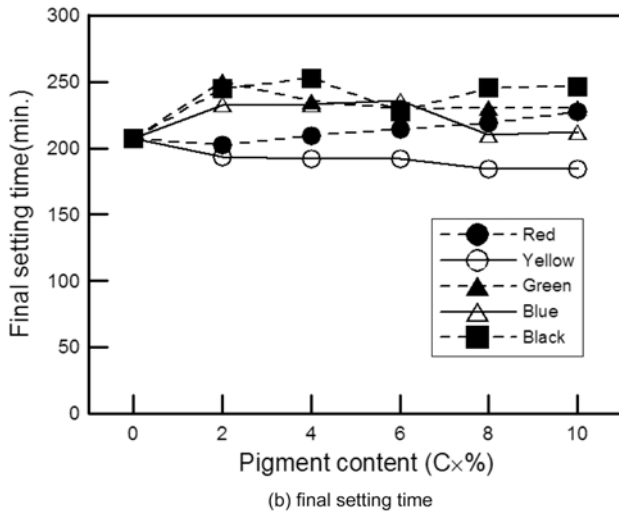
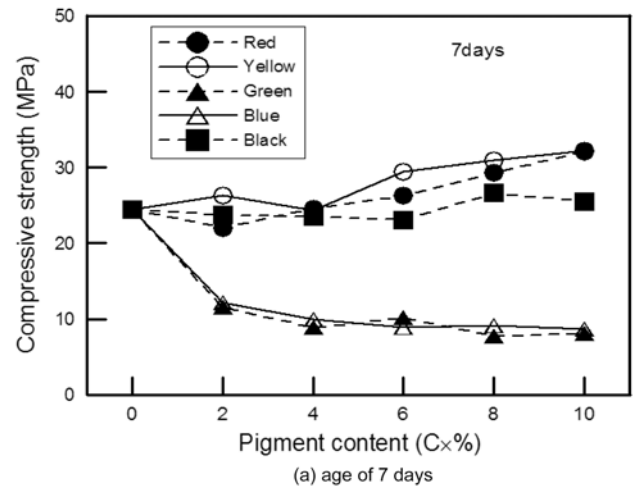
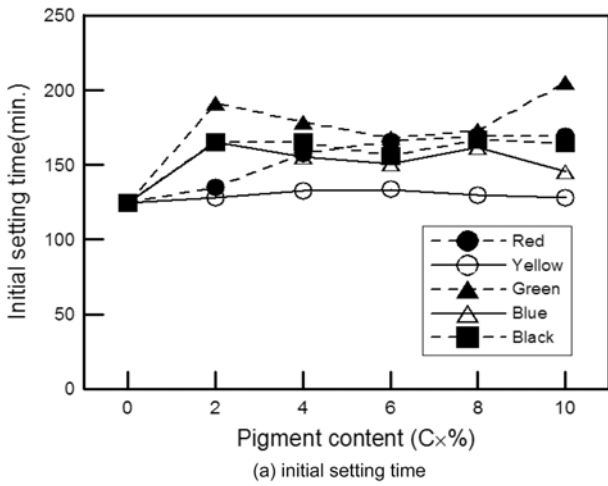


Fig. 1 Setting time of cement paste versus pigment content

Fig. 2 Compressive strength of mortar versus pigment content

안료가 시멘트 페이스트의 응결시간에 미치는 영향을 검토하기 위하여 안료를 시멘트 질량에 대해 0, 2, 6, 8 및 10%로 변화시켜 첨가한 시멘트 페이스트의 응결시간을 측정하여 정리한 것이 Fig. 1이다.

Fig. 1(a)에서 시멘트 페이스트의 초결시간은 황색의 안료를 첨가한 시멘트 페이스트의 응결시간의 경우 안료를 사용하지 않은 경우와 거의 같으나 그 밖의 안료를 첨가한 경우는 응결시간이 다소 증가하였다. 또한, Fig. 1(b)의 시멘트 페이스트의 종결시간도 Fig. 1(a)와 유사한 경향으로 안료의 종류에 따라 응결시간이 다소 차이를 보이고 있으며, 흑색안료를 10% 첨가한 경우 다른 안료에 비하여 종결시간이 근소하게 더 지연되는 경향이 있었다. 그러나 안료의 종류 및 사용량에 따른 이러한 정도의 응결시간의 변화는 실제 콘크리트의 시공에 있어서 큰 문제를 야기할 정도로는 보이지 않는다.

3.1.2 모르타르의 압축강도 및 단위질량

안료가 시멘트 경화체의 강도발현에 미치는 영향을 검토하기 위하여 안료를 시멘트 질량에 0, 2, 6, 8 및 10%로 변화시켜 제조한 모르타르의 재령 7일 및 재령 28일의 압축강도를 측정하여 정리한 것이 Fig. 2이다.

이 그림에서 안료를 사용하지 않은 모르타르의 재령 7일 및 28일의 압축강도는 각각 24.2 MPa 및 39.4 MPa 이었다.

반면, 안료를 사용한 경우 그 첨가율에 따른 차이는 크지 않았으나, 안료의 종류에 따라 압축강도가 크게 변화하는 것을 알 수 있다. 즉, 발색성분이 산화철로 구성된 적색, 황색 및 흑색 안료를 첨가한 모르타르의 7일 및 28일의 압축강도는 모두 안료의 사용량에 따라 다소 증가하는 경향이었으며, 흑색안료를 첨가한 경우가 약간 작게 나타났다.

한편, 동 프탈로시아닌(copper phthalocyanine)계의 녹색 및 청색 안료를 첨가한 모르타르는 재령에 관계없이 모두 강도가 크게 저하하였다.

이와 같이 안료 종류에 따른 모르타르의 압축강도 변화를 분석하기 위하여 강도시험이 끝난 시험체를 10일 동안 공기 중에서 건조시킨 다음 무게를 측정하여 단위질량을 계산한 결과가 Fig. 3이며, 모르타르의 재령 28일 압축강도와 단위질량의 관계를 나타낸 것이 Fig. 4이다.

Fig. 3의 안료 첨가율에 따른 모르타르의 단위질량은 Fig. 2와 유사한 경향으로 적색, 황색 및 흑색안료를 첨가한 경우 단위질량은 감소하지 않았다. 그러나 녹색 및 청색안료를 첨가한 경우 그 첨가율이 증가함에 따라 단위질량이 감소하여 안료를 10% 첨가한 경우 안료를 첨가하지 않은 모르타르에 비하여 약 350 kg/m³ 정도 작게 나타났다.

Fig. 4에서 모르타르의 압축강도는 단위질량이 증가함에 따라 직선적으로 증가하는 경향으로 서로 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 즉, 녹색 및 청색 안료를 첨가한 모르타르

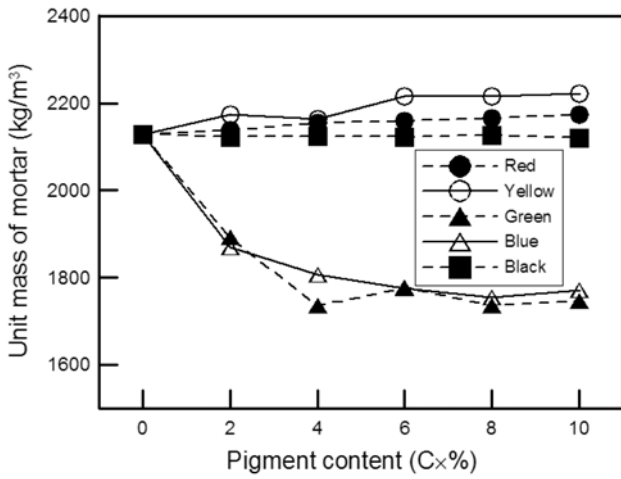


Fig. 3 Unit mass of mortar versus pigment content

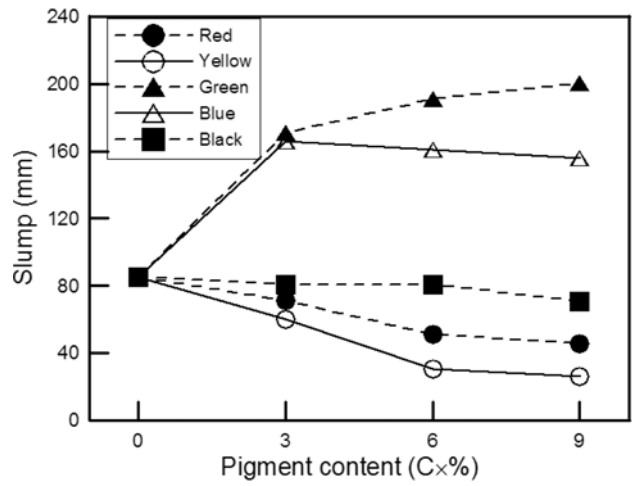


Fig. 5 Slump value of concrete versus pigment content

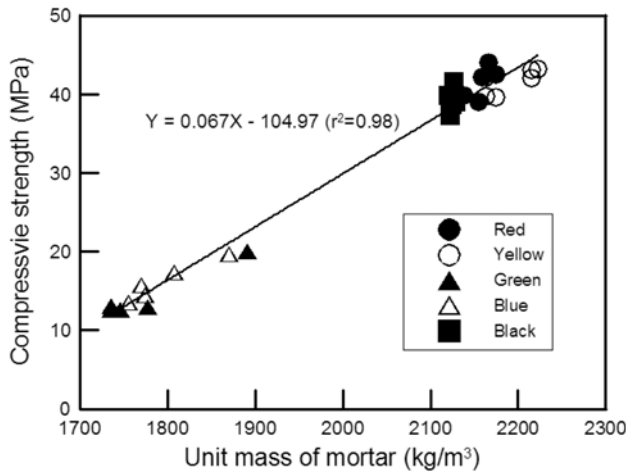


Fig. 4 Relation of compressive strength of mortar to unit mass

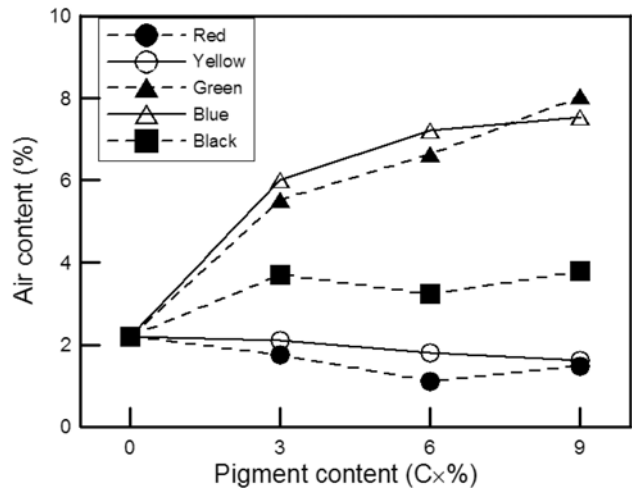


Fig. 6 Air content of concrete versus pigment content

의 경우 단위질량이 감소하였기 때문에 압축강도가 감소하였다고 판단된다.

이와 같이 녹색 및 청색 안료를 첨가한 모르타르의 단위 질량 및 압축강도가 매우 작게 나타난 이유는 이들 안료의 발색성분이 유기물인 동 프탈로시아닌으로 물에 대한 분산성을 개선시키기 위해 안료를 제조할 때 계면활성제가 사용되어 모르타르의 내부에 기포가 과도하게 발생되었기 때문으로 추정된다.

3.2 안료를 첨가한 칼리콘크리트의 성질

3.2.1 굳지 않은 칼리콘크리트의 슬럼프 및 공기량

Fig. 5는 안료의 종류와 첨가율에 따른 콘크리트의 슬럼프 측정결과를 정리한 것이다.

안료를 첨가하지 않은 콘크리트의 슬럼프는 8.5 cm로 나타났으나, 적색, 황색 및 흑색의 안료를 첨가한 콘크리트는 안료 첨가율이 증가함에 따라 슬럼프가 저하하는 경향으로 황색 안료를 9% 첨가한 경우 안료를 첨가하지 않은 콘크리트보다 약 40 mm 정도로 가장 크게 감소하였다. 이러한 안료를 사용할 경우 시공성이 현저히 떨어질 우려가 있으므로 충분한 시공성을 확보할 수 있는 대책이 필요하다. 반면, 녹색과 청색 안료를 첨가한 콘크리트의 슬럼프는 첨가율이 증가함에 따라 크게 증가하였다. 녹색 안료를 9% 첨가한 경우는 콘크리트의 슬럼프값이 안료를 첨가하지 않은 경우보

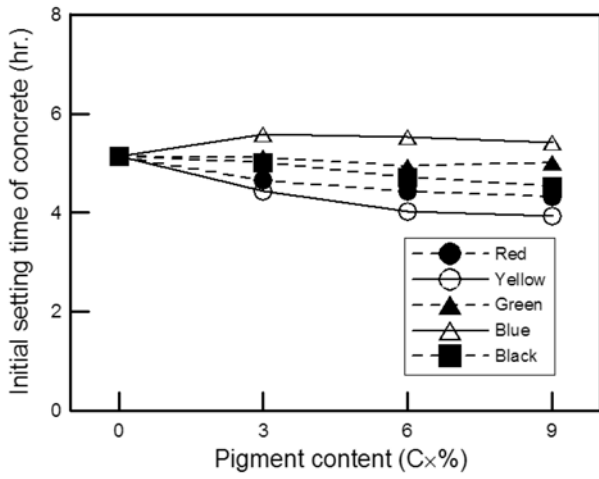
다 약 11.5 cm 크게 나타났다.

Fig. 6은 안료 종류에 따른 콘크리트의 공기량 변화를 나타낸 것으로서, 안료를 첨가하지 않은 콘크리트의 공기량은 약 2.2%이었다. 이것에 비하여 적색 및 황색 안료를 9% 첨가한 경우는 공기량이 약 0.7% 및 0.8% 감소하였다. 반면에 흑색 안료를 9% 첨가한 경우는 공기량이 약 1.6% 증가하였고, 녹색과 청색의 안료를 9% 첨가한 경우는 공기량이 약 5.8% 및 5.3% 만큼 크게 증가하였다.

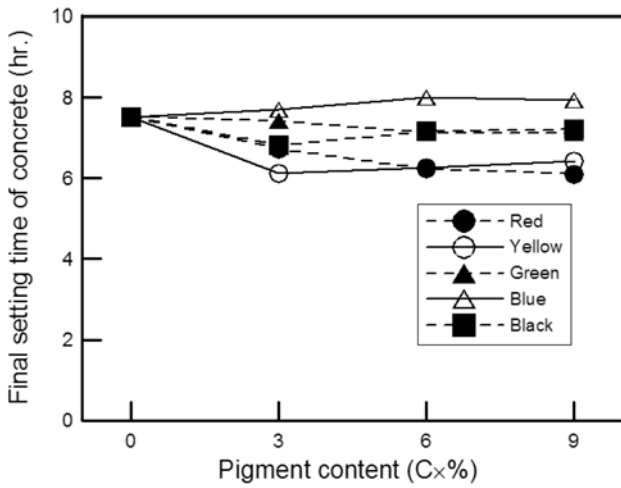
이와 같이 적색, 황색 및 흑색의 안료를 첨가한 콘크리트의 슬럼프가 감소하는 현상은 이재용 등(2000)의 연구결과와 유사한 결과로서 안료 입자의 형태가 각 지고 분말도가 크기 때문으로 생각된다. 반면, 녹색 및 청색 안료를 첨가함으로써 콘크리트의 공기량 및 슬럼프가 크게 증가된 이유는 안료 제조시 계면활성제를 사용하여 기포가 과도하게 생성되었기 때문으로 판단된다.

한편, 계면활성제 사용에 따른 기포의 생성으로 공기량이 증가하여 슬럼프는 증가하는 효과를 얻을 수 있지만, 압축강도는 공기량 1% 증가에 따라 약 4~6% 정도 감소되는 문제점이 나타난다.

Fig. 7은 안료를 첨가하여 콘크리트를 비빈 다음 5 mm체를 통과시킨 모르타르에 대해 Proctor 관입저항시험을 하여 얻은 응결시간 측정결과이다.



(a) initial setting time



(b) final setting time

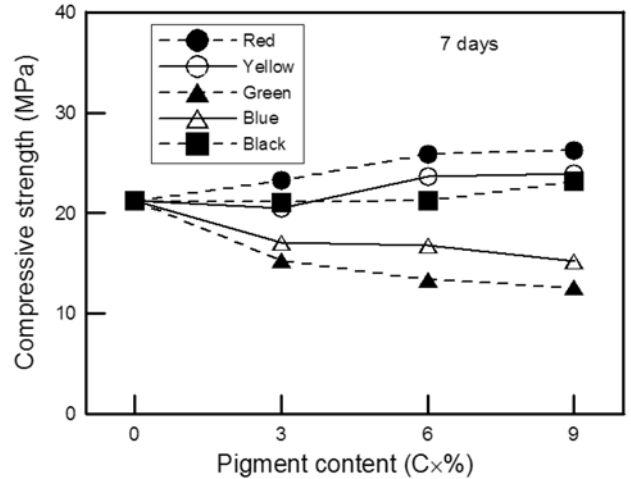
Fig. 7 Setting time of concrete versus pigment content

이 그림으로부터 콘크리트의 응결시간은 안료를 사용하지 않은 경우와 비교하여 안료를 첨가한 경우 초결과 종결시간은 다소 빨라지는 경향으로 그 차이는 초결 1시간 이내, 종결 2시간 이내로서 실용상으로 문제가 되는 정도는 아니라고 생각된다. 또한, 안료를 첨가함으로써 콘크리트의 종결시간이 청색<녹색<황색<적색의 순으로 약간 빨라졌으며, 콘크리트의 초기강도 발현을 지연시키는 화학적 영향은 크지 않은 것으로 판단된다.

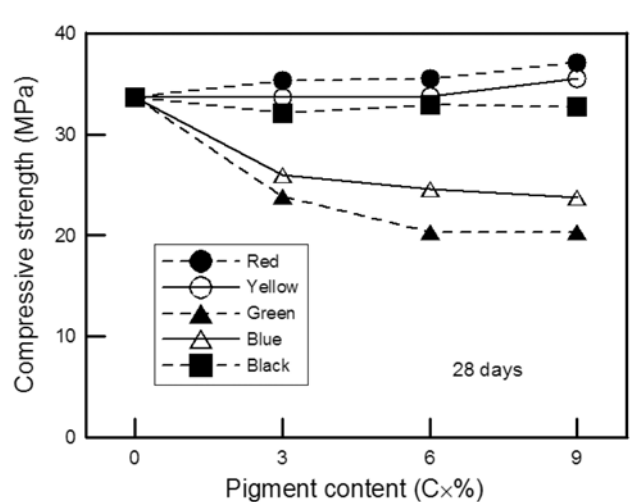
3.2.2 경화한 칼라콘크리트의 압축강도와 단위질량

Fig. 8은 안료를 첨가한 콘크리트의 재령 7일 및 28일의 압축강도를 그림으로 나타낸 것이다. 안료를 첨가하지 않은 콘크리트의 재령 7일 및 28일 압축강도는 각각 21.2 MPa 및 33.7 MPa를 나타내었다. 적색, 황색 및 흑색의 안료를 첨가한 경우는 안료를 첨가함에 따라 약간씩 강도가 증가하였으며, 재령에 관계없이 안료를 사용하지 않은 경우에 비하여 동등 이상의 강도를 나타냈다. 또한, 안료 종류에 의한 영향으로는 Fig. 7에서도 알 수 있듯이 종결시간이 빠른 흑색, 황색 및 적색 안료 순으로 압축강도가 약간 크게 나타나는 경향으로 안료가 시멘트의 수화반응에 얼마간 영향을 미치는 것으로 보인다.

그러나 녹색과 청색의 안료를 첨가한 경우는 안료 사용량의 증가에 따라 강도가 크게 저하하였으며, 녹색 안료를



(a) 7 day strength



(b) 28 day strength

Fig. 8 Compressive strength of concrete versus pigment content

9% 첨가한 콘크리트의 재령 28일 압축강도는 20.3 MPa로 강도저하가 가장 크게 나타났다. 이와 같이 녹색과 청색 안료를 첨가한 콘크리트의 강도가 크게 저하하는 이유는 공기량에 의한 영향으로 생각된다. 즉, 공기량 1% 증가에 따라 압축강도 감소를 약 4~6% 고려할 경우, 녹색안료를 9% 첨가한 콘크리트는 안료를 첨가하지 않은 콘크리트에 비하여 공기량이 약 5.8% 증가하였으므로 압축강도는 약 7.8~11.7 MPa 범위의 강도감소를 예상할 수 있으며, 실제 압축강도 감소와 비슷한 값으로서 녹색 및 청색 안료를 첨가하였을 때 강도감소의 가장 큰 원인은 공기량 증가로 판단할 수 있다.

콘크리트의 공기량에 따른 압축강도 변화를 알아보기 위하여 굳지 않은 콘크리트의 공기량과 재령 28일 압축강도와의 관계를 나타낸 것이 Fig. 9이다.

이 그림에서 콘크리트의 공기량과 압축강도와의 관계는 공기량의 증가함에 따라 압축강도가 직선적으로 감소하는 역비례 관계임을 보여주고 있다. 따라서 이들 안료를 사용할 경우 공기량 증가에 따른 압축강도 감소가 우려되므로 공기연행을 억제시키기 위하여 소포제의 사용을 고려할 필요가 있다.

3.3 소포제에 의한 칼라콘크리트의 압축강도 개선효과

녹색과 청색 안료를 첨가한 콘크리트의 강도저하를 개선할

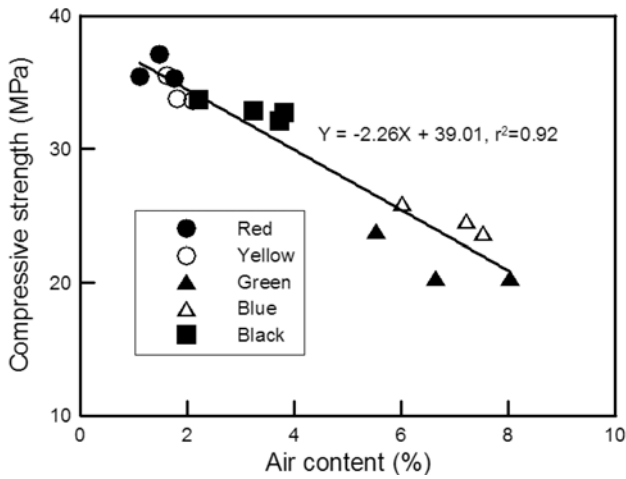


Fig. 9 Relation of 28 day compressive strength of concrete to air content

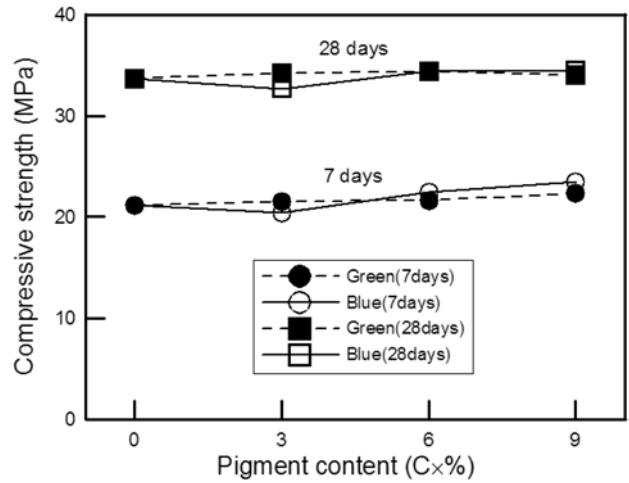


Fig. 10 Compressive strength of concrete using antifoaming agent

목적으로 백색 분말로 된 Agitan 803 소포제를 안료 질량에 대하여 10% 첨가한 콘크리트의 슬럼프, 공기량 및 압축강도를 측정하여 소포제를 첨가하지 않은 경우와 비교, 정리한 것이 Table 3이다.

녹색 및 청색 안료를 첨가한 콘크리트에 소포제를 첨가함으로써 청색 안료를 9% 첨가한 콘크리트의 슬럼프 값을 제외하고는 안료첨가율에 따라 슬럼프가 80 ± 10 mm, 공기량이 $2.0 \pm 0.5\%$ 범위로서 안료를 첨가하지 않은 콘크리트와 비슷한 슬럼프와 공기량을 확보할 수 있었다.

또한 Fig. 10은 소포제를 사용한 칼리콘크리트의 재령 7일과 28일 압축강도를 나타낸 것이다. 녹색 또는 청색 안료를 소포제와 함께 사용하는 경우 콘크리트의 압축강도는 재령 7일과 28일에서 모두 안료의 첨가율에 관계없이 거의 같은 값을 나타내었다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 본 실험에서의 녹색과 청색의 안료를 첨가한 콘크리트의 강도저하는 공기량의 증가가 직접적인 원인이 되었으며, 콘크리트의 강도저하를 막기 위해서는 이들 안료의 제조과정 중에 소포제를 첨가하거나 또는 콘크리트 첨가시에 소포제를 첨가할 필요가 있다. 그러나 AE콘크리트의 경우는 소포제에 의해 연행공기량에 영향을 줄 수 있기 때문에 이 점에 대해서는 세심한 주의가 필요할 것으로 사료된다.

4. 결 론

안료를 첨가한 모르타르 및 콘크리트 시험에서 얻은 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 모르타르 실험에서 적색, 황색 및 흑색 안료를 첨가한 경우 압축강도의 변화는 크지 않았으나, 동 프탈로시아닌(copper phthalocyanine)을 발색성분으로 하는 녹색 및 청색 안료를 첨가한 경우의 강도저하는 크게 나타났다. 또 녹색 및 청색 안료를 첨가한 모르타르는 단위질량이 매우 작게 나타났는데 이는 유기물인 동 프탈로시아닌을 발색성분으로 하는 안료를 제조할 때 분산성을 개선시키기 위해 계면활성제가 다량 사용됨으로써 공기연행효과를 초래한 데에 원인이 있는 것으로 추정된다.
2. 안료를 첨가한 경우의 콘크리트의 슬럼프는 안료를 첨가하지 않은 콘크리트와 비교할 때 적색, 황색 및 흑색 안료를 사용한 경우 감소하였으며, 녹색과 청색 안료를 사용한 경우는 증가하는 경향을 나타냈다. 한편, 콘크리트의 공기량은 적색 및 황색 안료를 첨가한 경우 감소한 반면, 흑색, 녹색 및 청색 안료를 첨가한 경우 증가하였으며, 특히 녹색과 청색 안료를 사용한 경우의 공기량 증가가 매우 현저하였다.
3. 안료를 첨가한 경우의 콘크리트 응결시간은 안료를 사용

Table 3. Slump and air content of color concrete using antifoaming agent

pigment		slump(cm)		air content(%)		28 day compressive strength (MPa)	
color	content (C×%)	before using antifoaming agent	after using antifoaming agent	before using antifoaming agent	after using antifoaming agent	before using antifoaming agent	after using antifoaming agent
green	0	8.5	8.0	2.2	2.5	33.7	33.7
	3	17.1	8.5	5.2	1.5	23.8	34.2
	6	19.1	7.5	6.6	2.0	20.3	34.4
	9	20.0	7.0	8.0	1.8	20.3	34.2
blue	0	8.5	8.0	2.2	2.5	33.7	33.7
	3	16.6	7.5	6.0	2.1	26.0	32.7
	6	16.1	7.0	7.2	2.1	24.6	34.4
	9	15.5	5.5	7.5	2.2	23.7	34.5

하지 않은 경우와 비교하여 초결과 종결이 다소 빨라지는 경향을 나타냈다. 그러나 그 차이는 초결 1시간 이내, 종결 2시간 이내로서 안료의 첨가에 따른 콘크리트 응결시간의 변화가 실용상으로 문제가 되는 정도는 아니라고 생각된다.

4. 녹색 또는 청색 안료를 소포제와 함께 사용함으로써 콘크리트의 공기량을 같게 한 경우 콘크리트의 압축강도는 재령 7일과 28일에서 모두 안료의 첨가율에 관계없이 거의 같은 값을 나타내었다. 따라서 공기량이 과도하게 연행되는 안료를 사용하게 되는 경우는 소포제의 사용을 고려해야 하며 보다 더 근본적으로는 과잉의 공기연행이 생기지 않도록 안료의 제조공정을 관리할 필요가 있다고 생각된다.

참고문헌

이재용, 장명훈, 이현수(1999) 안료를 혼입한 인터로킹블록의 특

성에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 대한건축학회, 제15권 4호, pp. 123-132.
 한국콘크리트학회편(1997) 콘크리트 혼화재료, 기문당, pp. 248-256.
 이재용, 고성석, 이현수(2000) 無機顔料가 시멘트모르터의 流動性에 미치는 影響, 한국건설관리학회논문집, 한국건설관리학회, 제1권 제2호, pp. 63-70.
 李承勳, 金奎東, 金圭庸, 金明植(2004) ブラックコンクリートの製造および施工技術, 콘크리트工學, Vol. 42, No. 6, pp. 18-23.
 日本コンクリート工學協會編(1989) 콘크리트便覽, 技報堂, pp. 255-258.
 笠井芳夫, 小林正凡(1993) セメント・コンクリート用混和材料, 技術書院, pp. 175-188.
 Neville, A.M. (1996) Properties of Concrete, Fourth Edition, Longman, pp. 78-79.

(접수일:2005.9.6/심사일:2006.1.3/심사완료일:2006.3.16)