

高爐슬래그 微粉末을 活用한 블랙-컬러모르타르 特性 및 色相發現에 관한 研究†

金雲花 · 張洪碩 · *蘇昇永

全北大學校 工科學科 建築工學科(工業技術研究所)

The physical properties evaluation and analysis about color revelation of the black-color mortar which applies the Granulated Blast Furnace Slag†

Seol-hwa Kim, Hong-Seok Jang and *Seung-Young So

Department of Architectural Engineering, Chonbuk National University (Research Center of Industrial Technology)

요 약

본 연구는 생산원가 절감은 물론 에너지절감 및 환경보존을 목적으로 산업부산물인 고로슬래그 미분말을 컬러콘크리트의 활용방안으로 모색하고자 색상발현에 어려움이 있는 블랙색상을 선택하여 고로슬래그 미분말의 혼입률에 따른 기초 물성 및 색상발현정도 등을 확인하였다. 산업부산물인 고로슬래그 미분말을 활용한 컬러모르타르는 안료의 혼입시 유동성이 떨어지는 경향을 나타내었으나 입자표면이 산성피막에 의해 치밀하고 매끈하며 잠재수경성의 특성을 가진 고로슬래그 미분말의 혼입률에 비례하여 유동성이 증가하였다. 또한 일반 백색시멘트를 활용한 컬러모르타르보다 초기강도는 낮았으나 혼입시 우수한 장기강도 발현성을 나타내었다. 특히 현재 컬러콘크리트 시공시 색상발현에 가장 적합한 백색시멘트와 비교하여 동등하거나 그 이상의 색상발현성을 나타내었으며 명도 값-30이하의 우수한 검정색상 발현이 가능하였다.

주제어 : 컬러콘크리트, 고로슬래그 미분말, 산업부산물, 블랙모르타르

Abstract

In the many kind of construct-material, the concrete which has the high-strength and a durability is sufficient to use with structure-material. but the color of concrete is very monotony, so generally concrete isn't used the out surface. although color concrete is a method of expressing surface, the combination of pigment and cement cause many physical problem such as efflorescence phenomenon, strength degradation and so on. In this study, It attempt to develop the black mortar using the industrial granulated blast furnace slag and to evaluate basic physical properties compare with general color concrete to solve the color concrete problem. The result of experiment showed that the flow dropped mixing of pigment. but flow increased in proportion to the mixing rate in occasion of mortar that mix granulated blast furnace sla and black mortar which was made granulated blast furnace slag has more visible black color than any mortar.

Key words : Color concrete, Granulated blast furnace slag, By-product, Black mortar

1. 서 론

현대 사회에서 가장 중요한 건설재료 중 하나인 콘크

리트는 강도발현 및 내구성 등이 우수하여 건축물의 구조재료로 폭넓게 사용되고 있다. 콘크리트로 구조체를 시공할 경우 대부분의 건축물에서는 석재, 타일 등 별도의 추가적인 재료로 마감공사를 실시하거나 모르타르 마감 후 도장공사로 마무리 하여 왔다. 콘크리트 구조체에 별도의 마감공사를 실시하는 기존의 공법은 재료

† 2010년 10월 29일 접수, 2010년 12월 3일 1차수정
2010년 12월 17일 수리

* E-mail: archiso@jbn.ac.kr

와 시공에 따른 인건비 증가와 공사기간의 증가를 동반하게 된다. 이와 같이 비경제적인 마감공사가 필요한 이유는 거푸집을 사용하여 형태를 구축하는 콘크리트 특성에 기인하기도 하지만 콘크리트 특유의 회색이 다양한 유채색 표현이 가능한 천연소재 및 복합재료와 같은 실내·외 마감재료와 어울리지 못할 뿐 아니라 개성을 강조하는 현대인의 미적 감각을 만족시키지 못하기 때문이기도 하다.

그러나 최근 현대인들의 생활수준과 의식수준의 향상으로 미관에 대한 새로운 요구가 증대되고, 건축가들이 의도에 따라 콘크리트의 질감, 색상, 형태 등의 디자인 요소를 구조물의 특성에 맞게 반영하고 있는 추세이다. 이렇듯 미관을 고려한 콘크리트를 총칭하여 Architectural Concrete라 하며 이는 골재노출콘크리트, photo engraved 콘크리트, 컬러콘크리트 등 다양한 방향으로 발전하고 있다.¹⁾

Architectural Concrete 중 컬러콘크리트는 백시멘트에 여러 가지 안료를 사용하여 사용자나 건축가가 요구하는 다양한 색채를 만드는 것으로 콘크리트를 구조체 구축과 같은 구조적 기능뿐만 아니라 그 자체를 의장적인 요소를 지닌 마감재로서 활용하고자 한 것이다. 컬러콘크리트 제조시 백시멘트를 사용하는 것은 기존의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용할 경우 고유한 회색에 의해 발현시키고자 하는 색상의 선명성과 채도를 감소시켜 원하는 색상을 발현시킬 수 없기 때문이다. 백시멘트를 사용하여야만 하는 컬러콘크리트는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용할 때보다 단가상승은 물론 시공성과 내구성도 보통 포틀랜드 시멘트와 다르게 된다. 또한 보통 콘크리트에 비해 백화나 오염에 의한 훼손에도 취약 하는 등의 여러 가지 문제가 현재까지 충분히 검토되지 않았기 때문에 아직까지는 실용화되고 있지 않다.

그러나 다양한 색상의 콘크리트 제조가 가능할 경우 세심한 거푸집 작업을 통해 별도의 마감공사가 필요치 않는 콘크리트 구조체를 구축할 수 있어 공기 단축은 물론 공사비 절감과 회색의 구조물에 개성 있는 다양한 컬러를 입힐 수 있기 때문에 건축문화에 커다란 변화를 가할 수 있을 것으로 예상되고 있다.

컬러콘크리트는 특정한 안료를 사용하여 다양한 색상을 발현시킬 수 있다. 유채색의 경우 채도의 변화에 따라 원색 및 중간 파스텔톤의 색상을 발현시킬 수 있으나 콘크리트 자체의 장중함과 견고한 이미지를 나타낼 수 있는 검은색은 명도가 현저하게 낮지 않을 경우 의장적인 요소로 사용하기 곤란하여 컬러콘크리트 제조 시

가장 어려운 색상중의 하나이다. 이와 같은 이유로 블랙-컬러콘크리트의 경우 전 세계적으로도 사용례를 찾아보기 어려우며, 표현방식이나 마감방식에서 다소 차이가 있으나 일본 후쿠오카에 있는 “Office for Metropolitan Architecture”의 2개 건물과 LA의 “Prada Project” 등의 소수에 불과한 것으로 조사되어 블랙-컬러콘크리트와 관련한 연구개발은 건축사적으로도 큰 의미를 가진다고 할 수 있다.²⁾

이에 본 연구는 다양한 색상의 컬러콘크리트 중 색상 발현이 가장 어려운 블랙-컬러콘크리트 개발을 목표로 하여, 백시멘트만을 사용한 기존의 컬러콘크리트 제조 방법에 생산원가 절감은 물론 환경부하 저감과 색상발현에 효과가 있는 산업부산물인 고로슬래그 미분말을 활용하고자 계획하였다. 이를 위한 기초연구의 일환으로 모르타르를 대상으로 고로슬래그 미분말의 혼입률 및 안료의 혼입률 등의 조건변화에 따른 기초 물성 및 색상발현정도 등을 확인하여 산업부산물을 혼입한 컬러콘크리트의 활용 가능성을 확인하고 자원재활용 및 경제적인 컬러콘크리트의 제조 기술 확립에 기초 자료를 제공하고자 하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 주요 사용재료

본 연구는 시중에서 판매되는 U사의 백시멘트(White portland Cement, 이하 WC)와 K제철에서 발생하는 고로슬래그 미분말(Granulated Blast Furnace Slag, 이하 GBFS)을 주재료로 사용하였다. 또한 블랙 색상발현을 위한 독일 I사의 검정무기안료와 카본블랙을 사용하였다. 재료의 화학성분은 Table 1과 Table 2에 나타내었다.

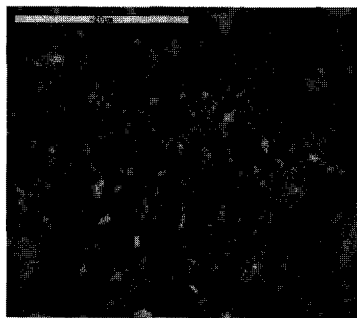
일반적으로 안료의 입경은 WC 및 GBFS보다 훨씬 작기 때문에 안료의 혼입에 의해 단위수량을 증가시키게 되고, 결국 물-시멘트비가 커져서 강도가 저하하는 경향이 있다. 그러나 바인더량의 5~6% 정도까지는 모르타르가 굳기 전후의 물성에 미치는 영향은 거의 없으며, 10%까지는 실용상 영향을 주지 않는 것으로 알려져 있다.³⁾ 그러나 Fig. 1과 같이 컬러콘크리트 용 안료로 사용되는 구형의 일반 무기안료와는 달리 검정색을 표현하는데 있어 필수적인 카본블랙은 95% 이상의 무정형 탄소질로 이루어지는 결합된 미립자 형태로 5~500 nm의 입자크기를 갖고 있어 다른 안료(구형)에 비하여 분말도가 높고 비중이 낮아 3% 이상 혼입 시 시공성 저하의 문제점이 예상되었다.

Table 1. Chemical composition of raw materials

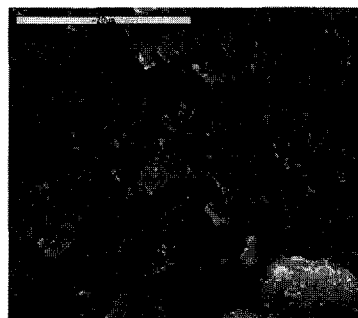
Item Type	Oxide composition(%)										Blaine (cm ² /g)	Specific gravity
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	MgO	TiO ₂	LOI		
WC	20.60	68.69	4.52	0.36	0.07	0.15	3.94	1.26	0.05	1.7	3,500	2.95
GBFS	34.76	41.71	15.02	0.48	0.14	0.44	0.13	6.87	0.62	0.23	6,400	2.91

Table 2. X-Ray fluorescence spectrometry

(a) Inorganic pigment										
Item	Fe ₂ O ₃	MnO	SiO ₂	TiO ₂	SO ₃	Al ₂ O ₃	MgO	CuO	Na ₂ O	ZnO
Result	91.25	3.16	2.26	1.13	0.55	0.45	0.23	0.16	0.14	0.13
(b) Carbon black										
Item	CuO	SO ₃	NiO	ZnO	PbO	K ₂ O	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	P ₂ O ₅
Result	34.48	21.50	20.87	18.17	2.71	1.38	0.24	0.23	0.17	0.13



Inorganic pigment



Carbon black

Fig. 1. SEM image(× 5,000).

2.2. 배합비율

백색 모르타르는 소량의 컬러콘크리트를 제조하기 위해서 인위적인 첨가제를 사용해야만하며, 일반적으로 무기계 콘크리트용 안료를 사용하여 색상을 도출한다. 무기안료의 혼입 비율은 바인더 대비 5~10%의 비율로 선정하는 것이 일반적이며, 본 연구는 블랙 컬러 색상 발현과 경제성을 고려하여 바인더 대비 총 8%로 선정하였다.⁴⁾ 특히 색상발현에 있어 블랙 컬러를 표현하기 위해서는 반드시 혼합용 착색재로 카본블랙을 첨가해야만 한다. 그러나 시멘트 중량비 최대 10%가 한계인 일반 무기안료와는 달리 카본블랙은 비표면적이 큰 재료로 반죽질기 및 기타물성에 큰 영향을 미치며, 대기 중에 노출된 경우 탈색 및 내구성 저하가 우려되어 적정 첨가량은 3%이하로 제한되므로²⁾ 본 연구에서도 재료배

합 시 그 첨가량을 3%로 제한하였다. 이상의 결과를 반영한 배합비율은 Table 3과 같다.

2.3. 시험 방법

2.3.1 Flow 및 압축강도테스트

시험체는 안료가 충분히 혼합되도록 결합재에 안료를 용해시킨 물(W/C 55%)을 가해 결합재가 물을 흡수하도록 30초 동안 두었다. 혼합기를 시동하여 30초 동안 제 1속으로 혼합하고, 혼합기를 정지하고 15초 동안 반죽 전부를 긁어내려 모아 놓은 후 혼합기를 제 2속으로 변속하여 60초 동안 혼합하였다. 이를 KS F 2594 균치 않은 콘크리트의 슬럼프 플로 시험 방법을 이용하여 측정된 뒤 5×5×5 cm인 몰드에 타설 후 표준 양생실(20, 50% RH)에서 양생 후 재령별 압축강도를 측정하였다.

Table 3. Mix proportions of the mortar

Type	WC	GBFS	Inorganic Pigment	Carbon Black	S	W/B
WC	1,000	-	-	-	2,450	55 %
G20	800	200				
G40	600	400				
G60	400	600				
WC-B	920	-	50	30		
G20-B	736	184				
G40-B	552	368				
G60-B	368	552				

2.3.2 색상발현성 평가

각 시험체의 재령별 모르타르 표면을 Minolta 색차계 (CM-2600D)를 활용하여 L*a*b 색좌표 단위로 값을 표시하였으며, 3번 촬영 후 산술평균하여 그 값을 나타내었다. L*a*b 값은 색의 3가지 특성인 명도, 채도, 색상을 나타내며 L(luminosity)값은 명도로 0~100까지 표시가 되고 a, b값은 일반적으로 XY좌표계와 같은 평면 좌표계로써 가로축이 a값, 세로축이 b값이다. 그리고 +a 쪽은 Red, -a 쪽은 Green, +b 쪽은 Yellow, -b 쪽은 Blue를 나타낸다. 검정의 경우 색차계 촬영 시 L-값이

0에 가까울수록 채도 및 색상이 검정에 가깝다. 본 연구에서는 블랙-모르타르 시험체의 L-값이 30이하일 경우 충분히 색상발현이 된 것으로 판단하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 유동성 테스트

Fig. 4는 안료의 혼입유무에 따른 각 시험체의 Flow 값을 나타낸 것으로 전체적으로 안료를 혼입한 시험체가 Flow 값이 떨어지는 경향을 나타내었다. 기존 연구에 의하면 착색제, 즉 무기안료를 혼입하면 그 입형과 잔입자가 유동성을 저하시키는 원인이 되는 것으로 보고⁵⁾되기도 하나 본 연구에서는 무기안료보다 무정형 탄소질로 이루어진 미립자 형태의 카본블랙이 비표면적이 크고 비중이 낮기 때문에 반죽질기에 큰 영향을 미쳤기 때문으로 판단되었다.

또한 안료의 혼입유무에 관계없이 WC에 비해 GBFS를 혼입한 모든 시험체가 높은 Flow 값을 보였고, GBFS의 혼입률이 증가할수록 Flow 값이 증가하는 경향을 보였다. 이는 GBFS 입자표면이 산성피막에 의해 치밀하고 매끈하며,⁶⁾ 또한 GBFS의 잠재수정성에 의해 초기에는 물과의 수화반응이 일어나지 않기 때문으로 판단되었다.⁷⁾

즉, 블랙-컬러콘크리트 제조시 무기안료 및 카본블랙의 혼입은 유동성의 저하를 가져올 수 있으나 GBFS의 혼입률이 증가할수록 유동성이 증가하는 것으로 나타나 안료에 의한 유동성 저하를 GBFS 혼입으로 충분히 상쇄할 수 있음을 알 수 있었다.

3.2. 재령별 압축강도 테스트

Fig. 5는 GBFS 혼입률에 따른 재령별 압축강도를 나

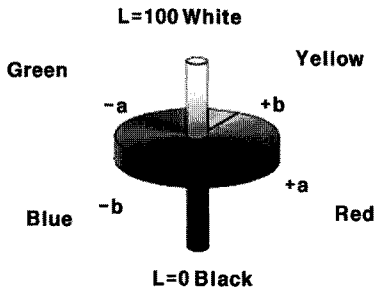


Fig. 2. Lab color coordinates.

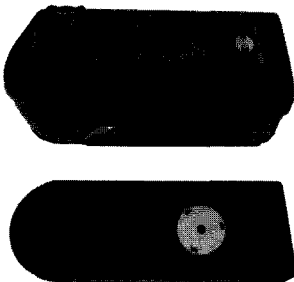


Fig. 3. Minolta-CM-2600D.

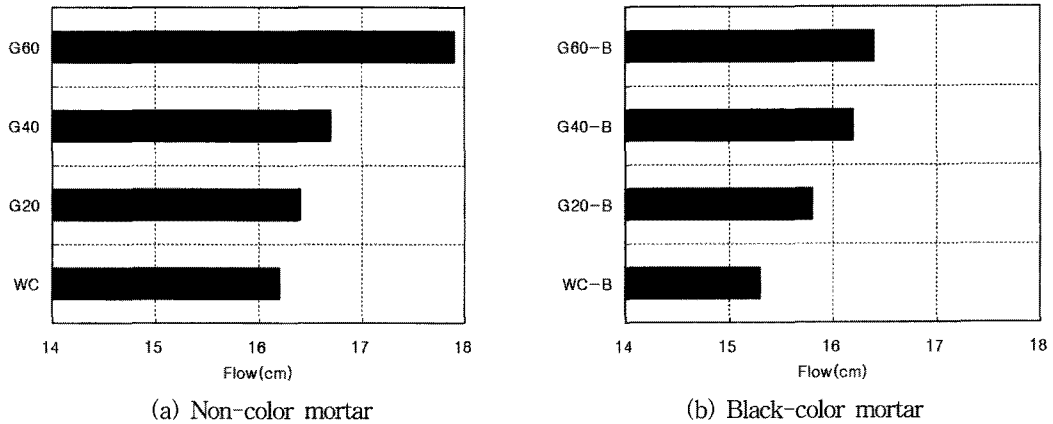


Fig. 4. Mortar flow test.

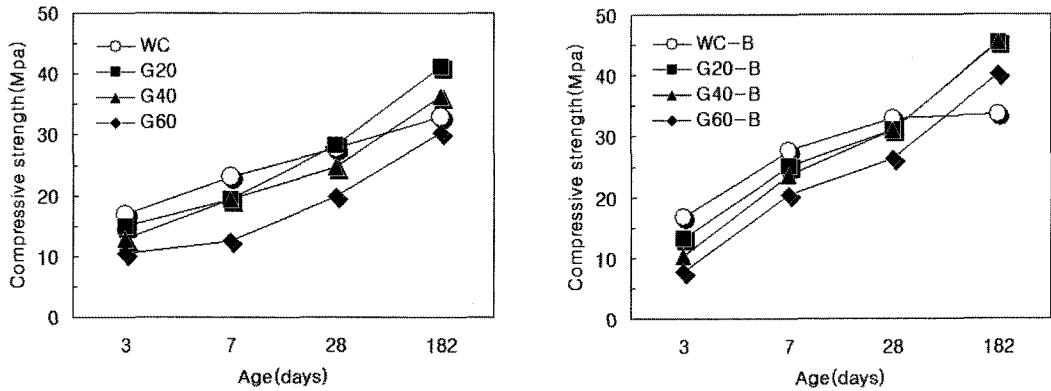


Fig. 5. Compressive strength of mortar.

타낸 그래프이다. 안료의 혼입에 따른 단위수량의 변화로 혼입유무에 따른 강도의 차이는 있으나 초기 강도의 경우 GBFS를 혼입한 시험체가 WC의 압축강도보다 다소 낮았고, GBFS의 혼입률이 높아질수록 압축강도는 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 잠재수경성 물질인 GBFS가 알칼리나 황산염에 의해 박막이 파괴되면서 불용성의 물질이 석출되어 경화하기 시작하기까지 일정시간이 소요되며⁸⁾ 이로 인해 WC의 수화반응보다 수화진행속도가 지연되어 강도 발현이 늦게 이루어지기 때문으로 보인다. 그러나 28일 이후 강도의 경우 GBFS를 혼입한 시험체 모두 WC 강도를 상회하였으며, 28일 이후 강도의 증진의 큰 변화가 없는 WC와 달리 계속적으로 강도가 증가하는 경향을 나타내었다. 특히 GBFS의 혼입률이 50% 이상인 시험체의 경우 혼입률이 낮은 시험체보다 전체적으로 강도발현성이 낮아지는 것으로 나타났으며 GBFS의 혼입시 적절한 비율의 선정이 필요하다.

3.3. 색상발현성 평가

Fig. 6은 시험체의 재령별 L값 평균과 표준오차를 도표화한 것이다. WC-B의 경우 재령이 증가할수록 색감이

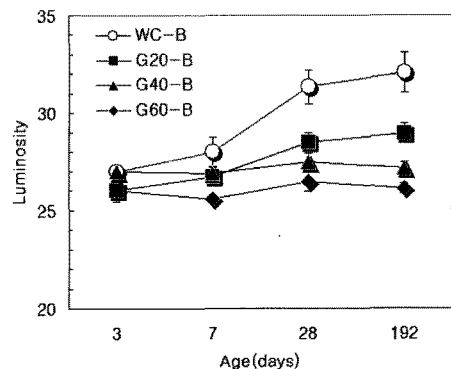


Fig. 6. Luminosity of the mortar surface by days.

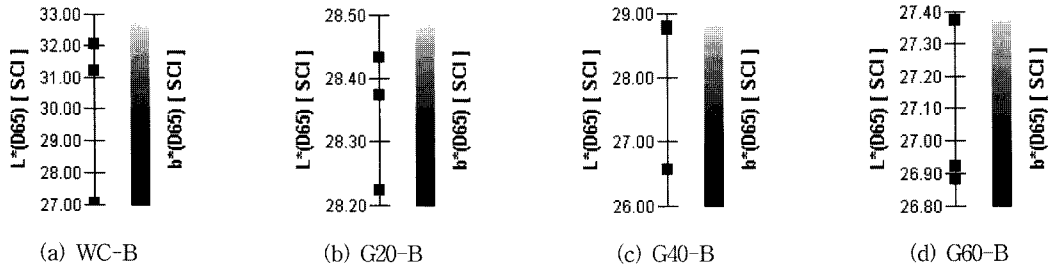


Fig. 7. Luminosity of the mortar surface.

떨어져 L-값이 점차 증가하는 경향을 보였으나 GBFS를 혼입한 시험체의 경우 혼입률 정도에 따라 차이는 있으나 재령에 관계없이 L-값이 거의 일정한 경향을 나타내었다. 재령 3일에서의 색상발현 정도에 큰 차이가 없다가 재령이 증가함에 따라 L-값의 차이가 나타나는 것은 백시멘트만을 사용할 경우 블리딩에 의한 레이턴스 및 알칼리 황산염, 수산화칼슘(Ca(OH)₂) 등의 각종 가용 성분이 표면에 석출되거나 이산화탄소와 반응하여 표면에 침착하는 현상이 증가하였기 때문이다. 이들 석출물 및 침착물은 모두 백색에 가깝기 때문에 안료에 의해 초기에 발현한 블랙컬러의 L-값을 증가시켜 색상의 선명성과 광도를 크게 떨어뜨리는 것을 확인하였다. GBFS를 혼입하였을 경우 혼입률이 증가할수록 초기재령의 L-값을 유지하는 경향을 나타내었다. 이것은 GBFS의 혼입으로 바인더 내의 백시멘트량이 감소하여 블리딩에 의한 레이턴스와 각종 가용성분이 저감되어 이것들이 표면에 석출되거나 표면에 침착하는 현상이 감소하였을 뿐만 아니라 보통 포틀랜드 시멘트에 비해 백색에 가까운 GBFS 수화생성물의 양이 증가하여 안료의 색상발현이 충분히 가능하였기 때문인 것으로 판단되었다.

Fig. 7은 장기재령의 색상발현 편차정도를 평가하기 위하여 색차계로 재령 182(26주)일 모르타르 표면을 임의의 3곳을 측정된 결과이며, Fig. 8은 측정된 L-값을 평균하여 도표화 한 것이다. 편차정도 측정결과 GBFS의 혼입률과 색상발현 편차는 큰 상관관계가 없는 것으로 평가되었으며 편차정도는 모르타르 제조시 안료의 분산정도에 관계하는 것으로 판단되었다.

특히 Fig. 8과 같이 GBFS 혼입률이 증가할수록 WC-B에 비해 색상발현이 우수한 것으로 나타났으며 GBFS를 혼입한 시험체 모두 평균 L-값이 30 이하로 목표치에 모두 적합한 컬러를 발현할 수 있었다.

이상의 연구를 통해 블랙과 같은 진한 색의 컬러콘크리트를 제조할 경우 백시멘트만을 사용하는 것보다

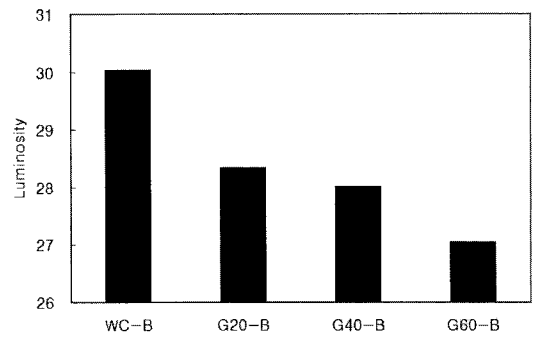


Fig. 8. Average Luminosity of the mortar surface.

GBFS를 혼입하는 것이 유동성 확보와 색상 발현에 유리함을 확인할 수 있었다. 컬러콘크리트 제조에 산업부산물인 GBFS의 혼입이 백시멘트 만을 사용하였을 경우에 비해 효과적인 결과는 그동안 콘크리트 제조 단가 저감을 위해 시멘트의 단순 치환재로 사용되었던 GBFS의 부가가치를 높일 수 있는 새로운 활용방안의 제시는 물론 산업부산물의 재활용과 환경부하 저감에도 기여할 수 있을 것으로 판단되었다.

4. 결 론

산업부산물인 고로슬래그 미분말을 활용한 컬러콘크리트의 활용 가능성을 확인한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 블랙-컬러콘크리트 제조시 색상발현에 필수적인 안료의 혼입은 넓은 표면적과 낮은 비중으로 전체적인 유동성의 저하를 가져왔다. 그러나 입자표면이 산성피막에 의해 치밀하고 매끈하며, 잠재수경성에 의해 초기에는 물과의 수화반응이 일어나지 않는 GBFS의 특성상 혼입량에 비례하여 유동성이 증가하는 경향을 나타내었다.
2. GBFS의 혼입시 혼입비율에 따라 초기 강도발현이

지연되는 결과를 나타내었다. 그러나 28일 이후 장기강도에서 잠재수경성 물질인 GBFS의 특성으로 혼입한 시험체 모두 WC의 압축강도를 상회하는 결과를 나타내었다.

3. WC-B의 경우 재령이 증가할수록 색감이 떨어져 L-값이 점차 증가하는 경향을 보였으나 GBFS를 혼입한 시험체의 경우 혼입률 정도에 따라 차이는 있으나 재령에 관계없이 L-값이 거의 일정한 경향을 나타내었다. 또한 GBFS 혼입률이 증가할수록 WC-B에 비해 색상발현이 우수한 것으로 나타났으며 GBFS를 혼입한 시험체 모두 평균 L-값이 30 이하로 목표치에 적합한 컬러를 발현할 수 있었다.

4. 산업부산물인 GBFS를 컬러콘크리트용 바인더로 치환하여 사용하였을 경우 블랙과 같은 진한 색의 컬러콘크리트를 제조할 경우 백시멘트만을 사용하는 것보다 유동성 확보와 색상발현에 유리함을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. 박종호 외, 2007: 백색컬러 노출콘크리트의 제조 및 시공, 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집 19(1), pp 1007-1010.
2. 이승훈 외, 2004: 한남동 아동교육 문화센터 블랙 컬러 콘크리트의 배합설계 및 시공기술, 콘크리트학회지 16(3), pp 50-57.
3. 이문환 외, 2003: 컬러 콘크리트의 제조기술 및 활용, 콘크리트학회지 15(1), pp 43-48.
4. 장홍석 외, 2007: 안료를 혼입한 모르타르의 색상발현정도 분석, 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집 19(2), pp 825-828.
5. Bruce S. M and Rowe G. H., 1992: *The influence of pigments on mix designs for block paving units*, 4th Proc. Int. Conf. on Concrete Block Paving(CBP), Vol. 2, pp 117-124.
6. 한민철 외, 2009: 혼화재 종류가 콘크리트의 공학적 특성 및 건조수축에 미치는 영향, 한국건축시공학회지 Vol. 9 No. 5, pp 121-127.
7. 나철성 외, 2006: 고로슬래그미분말 치환율에 따른 일반강도 영역 콘크리트의 공학적 특성 및 내구성에 관한 실험적 연구, 한국폐기물학회 춘계학술연구회발표논문집, pp 350-354.
8. 문경주, 2004: 산업폐기물을 이용한 비소성 시멘트 및 콘크리트의 특성, 전북대학교 대학원 박사 학위논문, pp 22-25.
9. 박종호 외, 2007: 백색컬러 노출콘크리트의 제조 및 시공, 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집 19(1), pp 1007-1010.



金雪花

- 2009 전북대학교 건축공학과 공학사
- 현재 전북대학교 건축공학과 석사과정



張洪碩

- 2005 전북대학교 건축공학과 공학사
- 현재 전북대학교 건축공학과 석박사 통합과정



蘇昇永

- 1984 전북대학교 건축공학과 공학사
- 1988 전북대학교 건축공학과 공학석사
- 1993 전북대학교 건축공학과 공학박사
- 현재 전북대학교 건축공학과 교수