

산업부산물을 활용한 블랙모르타르의 제조 및 물성평가

The Manufacture and physical properties evaluation of the black mortar which applies the industrial by-product

장 홍 석^{*} 문경주^{**} 소승영^{***} 소양섭^{***}
Jang, Hong Seok Mun, Kyoung Ju So, Seung Young Soh, Yang Seob

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 by-product and to evaluate basic physical properties compare with general color concrete to solve the color concrete problem. The result of experiment showed that Black NSC which was made by-product has more visible black color than any mortar.

1. 서론

각종 구조물에 사용되는 재료에 있어서 콘크리트는 강도발현 및 내구성 등 구조재료가 가져야 할 물리적인 성능을 충족하고 있다. 하지만 다양한 종류의 유채색 표현이 가능한 천연소재 및 복합재료에 비하여 무채색의 콘크리트는 외관상 그 형태와 질감 및 색상 등은 현대인들이 요구하는 미적 감각에 미치지 못하는 재료로 구조물의 뼈대를 이루는 구조재료 이외에 실내·외 마감 재료로서의 사용은 미흡한 실정이다. 또한 최근 들어 건축 설계자의 의도에 따라 콘크리트의 질감, 색상, 형태 등의 디자인요소를 구조물의 특성에 맞게 다양한 콘크리트를 설계에 반영하는 추세에 있으며, 블랙 칼라 콘크리트가 적용된 건축물은 그 시공사례가 희소하여 국내 건축사적으로 큰 의미를 가질 수 있다고 하겠다. 이러한 의미로 각종 도장방법 이외에 콘크리트에 직접 색상을 구현한 블랙 컬러콘크리트가 개발되고 있으나 통상의 콘크리트보다 두드러지는 백화나 외관의 오염, 컬러 콘크리트 제조 시 베이스가 되는 백색시멘트 및 컬러 시멘트의 활용으로 야기되는 단가상승 등으로 그 실용성이 부족한 현실이다. 이에 최근 개발되어 그 활용이 가능한 산업부산물을 이용한 비소성 시멘트(Non-Sintering Cement, 이하 NSC)를 기초로 블랙모르타르를 개발하고, 그 기본적인 물성을 평가하는데 연구의 방향을 두었다.

2. 실험계획 및 방법

2.1. 사용재료 및 배합

* 정회원, 전북대학교 건축공학과 석사과정

** 정회원, (주)한일 부설연구소 소장, 공학박사

*** 정회원, 전북대학교 건축·도시공학부 교수, 공업기술연구센터, 공학박사

본 연구에서는 일반 Black-보통 포틀랜드 시멘트(Ordinary Portland Cement, 이하 OPC) 모르타르와 Black-NSC 모르타르의 기초적인 물성 비교를 위하여 시멘트는 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, NSC의 제조를 위해 K제철에서 발생하는 고로슬래그 미분말(GBFS)을 주재료로 사용하였다. 수화반응 유도를 위한 황산염 자극제로는 N사의 인산 제조시 폐기물로 배출되는 폐인산석고(PG)를 알칼리 자극제로는 공업용 소석회(SL), 규산나트륨(PSS) 및 수산화나트륨(NaOH)을 사용하였다.

Table 1 Chemical composition and physical properties 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		
OPC	20.88	41.71	14.50	2.81	0.14	0.44	0.13	6.87	0.62	0.23	3,300	3.15
GBFS	34.76	41.71	15.02	0.48	0.14	0.44	0.13	6.87	0.62	0.23	4,600	2.91
APG	1.34	40.97	0.12	0.04	0.06	-	54.93	-	0.05	0.81	4,300	2.88
SL	-	65.88	0.19	0.12	-	-	1.13	1.03	0.03	31.51	5,400	2.27
PSS	Water insoluble matter <0.1% , Iron(Fe)<250ppm											
NaOH	Assay≥98%, Chloride≤100ppm, sulfate≤40ppm, Heavy metals(asPb)≤30ppm											

일반 콘크리트의 색상은 사용되는 시멘트와 골재의 본래 색상으로 인하여 밝은 회색을 띄는 것이 일반적이므로 소요의 칼라 콘크리트를 제조하기 위해서는 인위적인 첨가재를 사용해야만 하며, 일반적으로 무기계 콘크리트용 안료를 사용하여 색상을 도출한다. 실험에 사용된 블랙 칼라 콘크리트용 안료는 독일 L사의 제품을 사용하였고, 그 물성은 Table 2와 같다. 또한 모르타르에 블랙 칼라를 표현하기 위해서는 반드시 혼합용 착색재로 CB(Carbon Black, 이하 CB)를 첨가해야만 하는데 시멘트 중량비 10%가 한계인 일반 착색재와는 달리 CB는 비표면적이 큰 안료로 반죽질 및 기타물성에 큰 영향을 미치며, 대기 중에 노출된 경우 탈색 및 내구성 저하가 우려되어 적정 첨가량은 3%이하로 제한되므로 재료배합 시 그 첨가량을 3% 제한하였다. 일반 모르타르 배합은 시멘트 : 잔골재 비를 1 : 2.45로 선정하였고, NSC 제조 역시 시멘트 : 잔골재 비를 1 : 2.45로 동일하게 하되 시멘트를 대체할 재료는 Table 3에 나타난 산업 부산물을 활용한 배합비로 제조되었다. 시험체는 안료를 첨가하여 원재료들이 충분히 혼합되도록 건비빔한 후, 물(W/C 50%)을 가해 모르타르 믹서로 1분 30초 동안 비빔하여 페이스트를 제조하였으며, 이를 5 × 5 × 5cm인 몰드에 타설 후 표준 양생실(20도, 50%RH)에서 1일간 양생한 다음 20±2℃인 수중에서 양생하여 시험체를 제작하였다.

Table 2 Physical properties of pigment

Type	330C Black
Water absorption (%)	25
Strength(g/cm)	0.8 ~ 1.3
Fe ₂ O ₃ (min content)	88
Solubility chloride(%)	3.5

Table 3 Mix proportions of non-sintering cement

Type	CEMENT	GBFS	PG	SL	PSS	NaOH
OPC	100	-	-	-	-	-
NSC1	-	87	12	1	-	-
NSC2	-	100	-	-	10	4

2.2. 실험방법

안료의 혼입에 따른 물성변화를 확인하기 위하여 안료를 섞지 않은 일반 모르타르 시험체와 각각의 안료를 혼입한 모르타르 시험체를 제작 후, 각 모르타르의 표층부 안쪽에서 5mm 부분을 채취하여

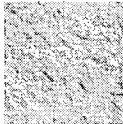
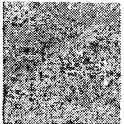
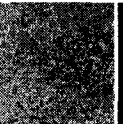



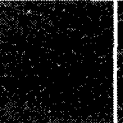

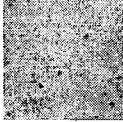
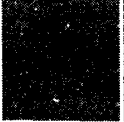
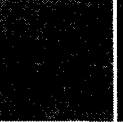



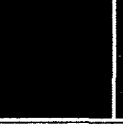



	Non Pigment	303C Black		CB
		3%	5%	3%
WC (White Cement)				
①	88.6 5.8 0.8	61.5 4.5 -2.0	55.4 4.2 -2.2	39.2 2.5 -2.8
②	198 195 204	147 156 149	120 123 117	71 73 72
OPC				
①	68.3 5.2 4.6	52.3 4.6 1.3	51.3 4.7 1.3	49.9 3.1 -0.8
②	142 146 127	126 129 118	108 112 90	104 108 101
NSC 1				
①	78.6 5.4 5.2	51.6 4.8 0.2	51.6 4.5 -0.9	47.4 3.0 -2.2
②	180 174 171	119 126 110	110 115 105	97 104 93
NSC 2				
①	80.5 6.7 5.5	50.3 4.4 -1.0	40.1 4.4 0.2	51.1 3.5 -0.6
②	186 181 180	101 109 97	66 66 60	101 103 94
Color		Black		
①	0 0 0			100 0 0
②	0 0 0			255 255 255

Fig. 1 Surface of black cement mortar

경향을 나타내었다. Black-WC의 경우 303C Black 안료 혼입시 색상발현에 큰 효과를 보이지 못하였지만, CB 혼입시 색상발현 효과가 있었으며, Black-NSC1과 Black-NSC2 시험체의 경우 대체적으로 Black-OPC보다 검정에 가까운 색상을 발현하였다. 특히, 303C Black 5%를 혼입한 Black-NSC2 시험체의 경우 제조 된 시험체 중 RGB색상 값이 검정에 가장 가까운 값을 나타내었다.

3.2 XRD 분석결과

XRD 분석 결과 B-OPC 시험체의 경우 OPC수화과정에 확인되는 Ca(OH)₂성분 이외에 Cobalt Iron Oxide, Magnetite, Iron Gallium Indium Oxide 등의 반응하지 못한 303C Black 안료 성분들이 확인되었다. 반면 황산염 자극제로 수화반응을 활성화 시킨 B-NSC1의 경우 수화생성물인 Ettringite, C-S-H 겔이 분석되었으며, 알칼리 자극제를 활용한 B-NSC2 시험체 또한 안료를 혼입하지 않은 시험체의 성분구조와 커다란 차이 없이 C-S-H 겔의 Peak Pattern이 나타났다. 이러한 분석결과 CB(3%미만)를 제외한 일반적으로 통용되는 10% 미만의 안료 혼입 시 안료 자체에 의한 성능저하는 무시될 수 있는 것으로 사료된다.

XRD 분석을 실시하였다. 또한 시험체의 색상을 확인하기 위하여 7일 수중 양생(20±2℃)후, 양생실(20℃, 50%RH)에서 기건 양생한 28일 모르타르 시험체의 상단표면의 불순물을 제거하고, 그 표면을 색차계(Konica, Color Reader CR-10)의 Lab컬러 모드로 색상을 측정 한 후, 다시 시험체를 디지털 카메라로 사진 촬영하여 Adobe Photoshop의 color sampler tool로 100곳의 Sample을 추출 후, 그 평균값으로 각 시험체의 색상의 RGB(Red, Green, Blue)값을 도출하여 색상을 재차 확인하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 모르타르 표면 외관조사

Fig. 1은 제조 된 각 시험체의 표면을 촬영한 사진으로, 사진아래 ①행은 색차계로 분석한 시험체의 Lab색상 값이며, ②행은 각 시험체의 RGB색상 값이다. ①값은 Fig.3과같이 L(luminosity)값이 0에 가까울수록 검정색상에 가깝고, ②값의 RGB색상 값은 검정에 가까울수록 R-0, G-0, B-0로 나타나며, 흰색에 가까울수록 R-255, G-255, B-255 값에 근사하여 나타난다. 평가결과 대체적으로 CB를 혼입한 시험체가 다른 시험체에 비하여 검정색상을 나타내었고, 안료의 혼입량이 많을수록 더욱 어두운 검정색상을 발현하는

4. 결론

- (1) 최근 들어 건축 설계자의 의도에 따라 콘크리트의 질감, 색상, 형태 등의 디자인요소를 구조물의 특성에 맞게 다양한 콘크리트를 설계에 반영하는 추세에 있으며, 블랙 칼라 콘크리트가 적용된 건축물은 통상의 컬러 콘크리트 시공 시 발생하는 백화나 외관의 오염문제 이외의 단가상승의 이유로 그 시공사례가 희소하여 산업부산물을 이용한 블랙 모르타르의 제조와 그 활용은 건축사적으로 큰 의미를 가질 수 있다.
- (2) 산업부산물을 활용한 NSC계열의 모르타르 시험체는 골재를 제외한 구성 재료가 백색이라는 특성을 가지고 있으며, 이러한 특성상 안료 혼입 시 백색시멘트를 활용한 일반적인 컬러모르타르 시험체와 유사하거나 또는 그 이상의 색상발현이 가능하였다. 또한 NSC계열의 모르타르 시험체의 경우 무기계 안료 303C 혼입만으로도 검정색상발현이 가능한 것으로 보아 카본블랙과 같은 기타 안료를 적정량 혼입 할 경우 더욱 선명한 검정색상을 발현할 수 있을 것으로 기대된다.
- (3) 산업부산물을 활용한 블랙모르타르의 실용화를 촉진하기 위해서는 소재의 변동에 따른 모르타르의 물성규명, 시공상의 요건과 시공 후의 오염 대책 제시 등 각종 과제가 산재되어 있으며, 많은 개선과 연구개발을 추진하는 한편, 설계단계부터 경관설계의 개념을 도입하는 등 칼라 모르타르의 안정된 보급을 위한 노력이 필요하겠다.

참고문헌

1. 이문환, “칼라 콘크리트의 제조기술 및 활용”, 한국콘크리트학회지 제15권 1호, 2003, pp 43-48
2. 이승훈, 김규동, “한남동 아동교육 문화센터 블랙 칼라 콘크리트의 배합설계 및 시공기술”, 한국콘크리트학회지 제 16권 3호, 2004, pp 50-57
3. 문경주, “산업폐기물을 이용한 비소성 시멘트 및 콘크리트의 특성”, 전북대학교 대학원 박사 학위논문, 2004

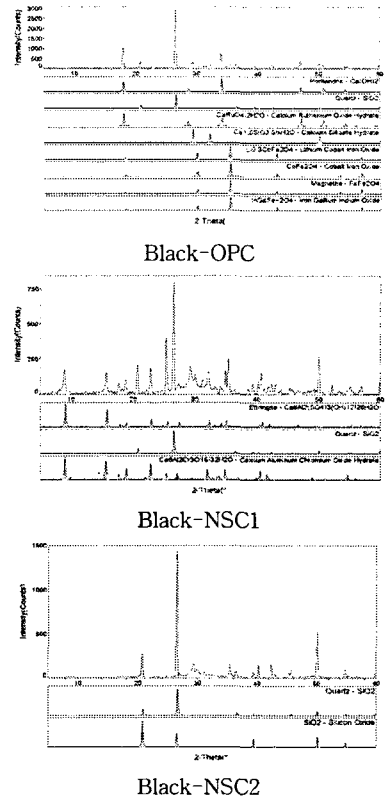


Fig. 2 XRD pattern of cement mortar

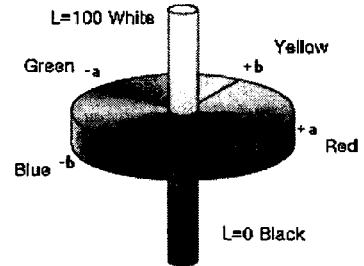


Fig. 3 Lab Color Mode