J Rec Const Resources 1(3)181-188(2013)
http://dx.doi.org/10.14190/JRCR.2013.1.3.181

Print ISSN : 2288-3320
Online ISSN : 2288-369X

카본 아미노 실리카 블랙 기반 고성능 감수제가 블랙 컬러 콘크리트의 공학적 특성 및 발색도에 미치는 영향

Effect of Carbon Amino Silica Black Contained Superplasticizer on the Engineering Properties and Chromaticity of Black Color Concrete

한민철[1]* · 홍석민[1]
Min-Cheol Han[1]* · Seok-Min Hong[1]

(Received October 7, 2013 / Revised December 13, 2013 / Accepted December 16, 2013)

This paper is to investigate experimentally an effect of carbon amino silica black-superplasticizer(CASB-SP)on the engineering properties and chromaticity of black color concrete with 0.45 of W/C(water to cement). CASB-SP and carbon black were applied for pigment of the concrete. To prevent efflorescence of concrete, four different water repellent agents were also applied. As results, it was found that use of CASB-SP increased the slump and air contents. Furthermore, the use of CASB-SP increased the compressive strength. As CASB-SP dosages increased, chromaticity was well developed. For the effect of water repellent agent, the use of epoxy type was effective for protection from efflorescence. Based on test results, it was evaluated that 0.5% of CASB-SP effectively improve the concrete quality as well as enhance the chromaticity with proper dosage.

키워드 : Carbon Black, CASB, 블랙 콘크리트, 발색도

Keywords : Carbon Black, Carbon Amino Silica Black, Black Color Concrete, Chromaticity

1. 서 론

최근 콘크리트로 조성된 공간의 개념을 보다 친화적이고 정서적인 공간의 창조라는 새로운 개념의 요구가 늘고 있다. 또한, 콘크리트 구조물 자체로서 상징성을 부여하여 그 의미를 두거나 조형물로서의 구조물을 인식하는 경우도 있다. 그러나, 콘크리트는 다른 마감재와 비교하여 무채색으로 보는 사람들로 하여금 차가운 느낌을 갖거나 단조로운 인상을 줄 수 있고, 아름다움을 추구하는 경향이 증가하며 의장성 콘크리트가 요구되고 있다.

이와 연관하여 최근 다양한 색상을 구조체 콘크리트에 직접 발현시킬 수 있는 컬러 콘크리트가 등장하고 있는데, 이러한 컬러 콘크리트는 일반적으로 백색 포틀랜트 시멘트에 요구색상을 구현할 수 있는 안료를 첨가하는 방법으로 기존의 무채색의 콘크리트와는 완전히 다른 모습으로 변화시켜 단조로움을 피하고 상징적인 구조물이 될 수 있다.

Kim et al.(2010)은 각종 착색제를 이용하여 컬러 콘크리트의 물성 및 발색도를 측정한 결과를 보고한 바 있는데, 적색, 녹색, 백색 구현을 위하여 Fe_2O_3, Cr_2O_3, TiO_2등의 물질을 사용하였고 착색제 사용에 따른 물성 저하와 최적의 혼입율을 제시한 바있다. 그리고, Park et al.(2008)은 콘크리트용 안료 사용에 따른 컬러 콘크리트의 특성을 보고하고, 국내 컬러콘크리트 관련 규격이 없음을 지적하였다. 또한, 국내 대기업을 중심으로 일부 구조체에 백색 혹은 검정색을 구현한 시공사례가 보고된바 있다.

컬러 콘크리트의 색상 구현은 무엇보다 안료의 선택이 중요하다. 일반적으로 콘크리트에 검정색을 발휘하기 위해서는 시멘트 질량의 6~8% 카본블랙(Carbon black)의 색소를 이용하고 있는데, 단 이 경우는 카본의 AE제 흡착작용으로 내동해성에 필요한

* Corresponding author E-mail: twhan@cju.ac.kr

[1]청주대학교 건축공학과 (Department of Architectural Engineering, Cheong-Ju University, Sangdang-Gu, Cheong-Ju, 360-710, Korea)

Copyright ⓒ 2013 by Korean Recycled Construction Resources Institute
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

공기량이 확보되지 않음에 따라 실내용도로 밖에 사용할 수 없었다. 하지만 최근 Carbon Black에 나노물질로서 Amino 및 Silica를 합성하여 Carbon Amino Silica Black (이하 CASB)을 제조하고, 이의 표면에 폴리칼본산계의 고성능 감수제를 부착하는 기술이 개발됨에 따라 콘크리트에 활용시 콘크리트의 색상구현 성능뿐만 아니라 충전재로서 공극 충전상태 개선 효과가 가능할 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 실제 블랙 컬러를 구현할 콘크리트 구조물에 최적의 색상발현 공법을 개발하기 위한 일련의 실험을 진행하고자 하는데, CASB기반 고성능 감수제(이하 CASB-SP)가 콘크리트의 제반 물성 변화와 발색특성에 미치는 영향을 분석하고, 최적의 색상구현을 위한 혼합비율을 도출하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 Carbon black

Carbon black은 상업적으로 제조된 카본그룹의 총칭으로 흑색의 미세한 탄소분말이다. 각종 고무보강제, 합성수지 착색제, 인쇄 잉크, 콘크리트 안료 및 도료 제조 시 검정색의 발현과 전극 첨가제, 초합금 합성원료, 태양열 흡수도료의 전기 전도율 향상 등을 위해 각종 산업에서 광범위하게 활용되고 있으며 입자크기는 Fig. 1과 같이 10~100nm이다.

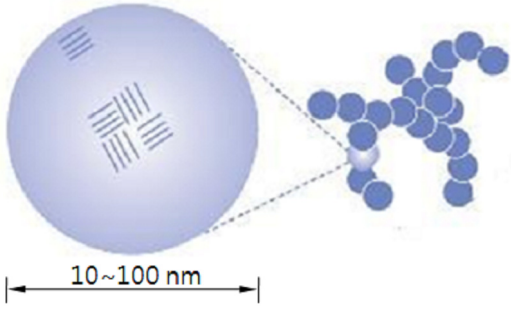


Fig. 1. Carbon black

2.2 CASB

CASB는 소수성이라고 알려진 Carbon Black의 표면을 Amino 및 Silica로 합성, 이의 표면을 폴리칼본산계의 고성능 감수제를 부착하여 분산력을 향상시킨 제품을 말하며 제조 방법은 Fig. 2와 같다.

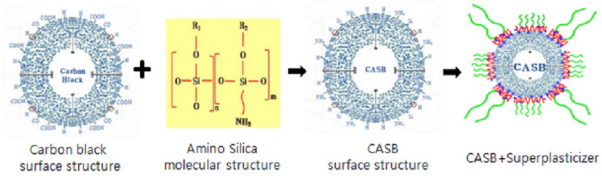


Fig. 2. CASB of manufacture method

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같고, 콘크리트 배합사항은 Table 2와 같다.

먼저, W/C 45% 1수준에 대하여 착색제 종류를 CASB-SP 및 기존 카본분말의 2수준으로 계획하고, 이들의 혼입율을 CASB-SP의 경우 0(Plain), 0.25, 0.5, 0.75, 1.0%, 카본분말의 경우 1.0%로 하여 총 6배치를 실험 계획 하였다. 이때 Plain 콘크리트의 목표 슬럼프는 180±25mm, 목표 공기량 5.5±1.5% 만족하도록 배합설계하여 실험 변수별로 동일하게 적용하였다. 또한, 일정 재령이 지난 후 콘크리트의 표면의 백화 현상 비교 및 방지를 목적으로 발수제 무도포 1수준과 발수제 종류 변수로 실란계, 실리콘계, 폴리실리카 및 에폭시 로 하여 3수준을 도포하되, 타설후 7일에서

Table 1. Design of experiment

Factors				Items
Mixture	W/C(%)		1	· 45
	Slump (mm)			· 180±25
	Air contents(%)			· 4.5±1.5
	Pigment (C×%)	CASB-SP[1)]	5	0(plain), 0.25(1.25),0.50(2.50), 0.75(3.75), 1.0(5.0)
		Carbon black	1	1.0
	Water repellent		4	· Silane · Silicon · Poly silica · Epoxy
Test	Fresh concrete		4	· Slump (0, 60min) · Setting time · Air content (0, 60min) · Bleeding
	hardened concrete		3	· Compressive strength (3, 7, 28, 91 days) · Chromaticity (3, 7, 28, 91 days) · Whitening event

1) Composition of CASB-SP= CASB(20):SP(6):Water(74)

Table 2. Mixing proportions of the concretes

Mixtures	W/C (%)	S/a (%)	AFK/AE (C/%)	CASB-SP/ Carbon (C/%)	Weight (kg/m^3)			
					W	C	S	G
Plain	45	48	0.13/-	1.00	173	118	321	343
Carbon 1.0			-	1.00	173	122	323	337
CASB 0.25			-/0.0015	1.25	183	129	314	329
CASB 0.5			-	2.50	168	118	327	342
CASB 0.75			0.01/-	3.75	160	112	334	349
CASB 1.0			0.03/-	5.00	154	108	339	354

표면에 도포하여 3개월간 방치하는 것으로 실험계획 하였다.

실험사항으로 굳지 않은 콘크리트에서는 슬럼프, 공기량, 응결시간 및 블리딩을 측정하는 것으로 하였고, 경화 콘크리트는 압축강도, 발색도, 표면조도 및 백화를 측정 하는 것으로 하였다.

3.2 사용재료

본 연구의 사용재료로써 시멘트는 국내산 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 골재의 경우는 국내산 강모래와 부순 굵은 골재를 사용하였으며, 착색제로서 CASB-SP의 물리적 성질은 Table 3~5와 같다.

Table 3. Physical properties of cement

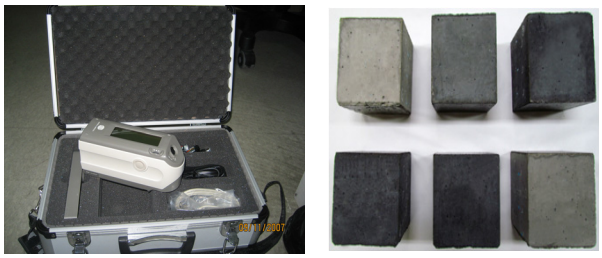
Density (g/cm^3)	Blaine (cm^2/g)	Soundness (%)	Setting time (min)		Compressive strength (MPa)		
			Initial set	Final set	3 days	7 days	28 days
3.15	3 390	0.08	230	345	24.8	39.3	56.9

Table 4. Physical properties of aggregates

Kinds	F·M	Density (g/cm^3)	Absorption ratio (%)	Passing 0.08 mm sieve size(%)
River sand	2.57	2.59	1.58	1.44
Coarse aggregate	6.38	2.61	1.11	0.10

Table 5. Physical properties of CASB

Kinds	Ingredient	Density (g/cm^3)	pH	Solid contents (%)
CASB-SP	Polycarbonic acid, Carbon Black	1.33	7.12	26



(a) Spectrum colorimete (b) Measuring hromaticity

Photo 1. Chromaticity test

3.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 혼합하였다. 굳지 않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프, 공기량, 응결시간 및 블리딩은 각각 KS F 2402, 2421, 2436 및 2414 규정에 의거하여 실시하였다.

경화 콘크리트 실험으로 압축강도는 KS F 2405 규정에 의거하여 실시하였고, 발색도의 경우 콘크리트의 색상에 대한 규정으로 명시된 바가 없어 KS A 0066 물체색의 측정 규정에 의거하여 콘크리트 시편을 200X200X200mm로 제작한 후 Photo 1의 일본 K사의 분광측색계(CM-255d)를 사용하여 측정하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

Fig. 3은 CASB-SP 및 Carbon Black 혼입율에 따른 슬럼프를 나타낸 것이고, Fig. 4는 CASB-SP 및 Carbon Black 혼입율에 따른 단위수량을 나타낸 것이다. 혼화제의 종류 및 혼입율에 관계없이 모든 배합에서 배합설계에 의하여 목표 범위를 만족하는 것으로 나타났다. 슬럼프 경시변화 특성으로 타설후 60분에서 측정한 결과 CASB-SP를 사용한 경우 대략 50mm 내외의 슬럼프 로스가 발생하였으나, Carbon Black을 사용한 경우 슬럼프 로스가 거의 발생하지 않는 것으로 나타났다.

또한, 목표 슬럼프를 확보하기 위하여 배합설계시 CASB- SP 혼입에 따라 단위수량을 조절하였는데, Fig. 2에서 볼 수 있듯이 CASB-SP 혼입율이 증가함에 따라 혼입율 0.25%를 제외하고는 단위수량이 Plain 보다 감소되는 것으로 나타났고 CASB-SP 혼입율 0.75%이상에서는 Plain 대비 15~25kg/m^{3}이상 단위수량이 감소하며 Carbon Black과 동일 혼입율 조건에서도 20kg/m^3 정도 단위수량이 저감되는 것으로 나타났다. 이는 CASB-SP 중 폴리칼본산계 고성능감수제의 분산효과에 기인된 것으로 판단된다.

Fig. 5는 CASB-SP 및 Carbon Black 혼입율에 따른 공기량을 나타낸 것이고, Fig. 6은 CASB-SP 및 Carbon Black 혼입율에 따른 소포제량을 나타낸 것이다. CASB-SP 1.0% 사용한 경우를 제외한 모든 배합에서는 CASB-SP 혼입율이 증가할수록 증가하는 경향으로 나타났으나, 목표 범위이내의 값임을 알 수 있었다. 그러나, CASB-SP 혼입율 증가에 따라 공기량 과다 현상이 발생할 수 있기 때문에 소포제 사용의 필요성이 제기된다. 또한, 경시변화특성으로 60분후 공기량은 타설직후 보다 약간 감소하는 경향을 나타내었다.

Fig. 7은 CASB-SP 및 Carbon Black 혼입율에 따른 관입저항치를 나타낸 것이고, Fig. 8은 초결 및 종결시간을 나타낸 것이다. CASB-SP를 사용하지 않은 Plain의 경우 초결 10 시간, 종결 13

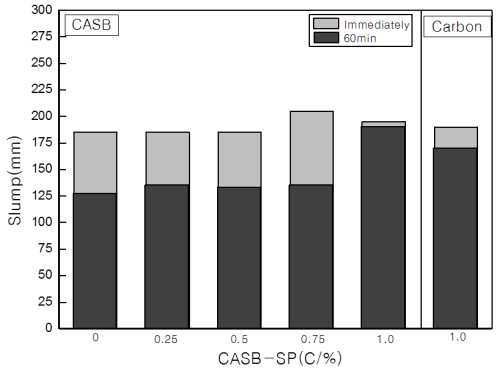


Fig. 3. Slump values with CASB-SP dosages

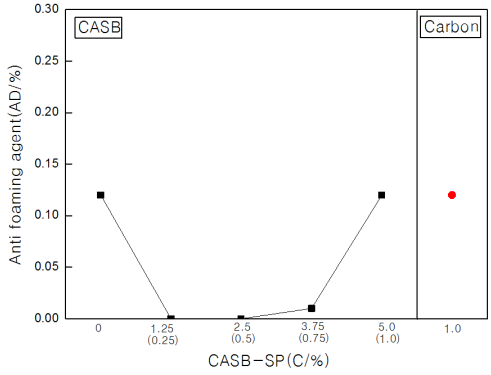


Fig. 6. Anti foaming agent dosages with CASB-SP dosages

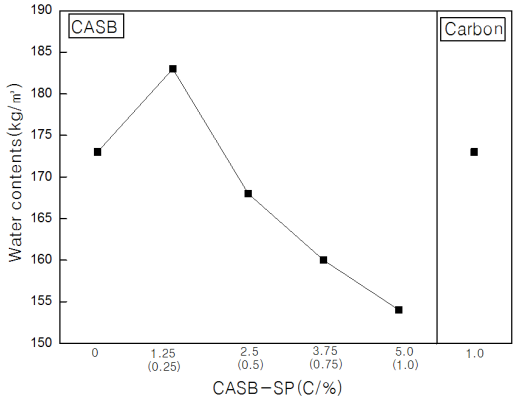


Fig. 4. Water contents with CASB-SP dosages

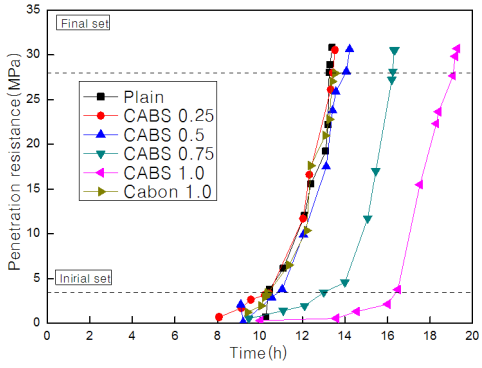


Fig. 7. Penetration resistance with CASB-SP dosages

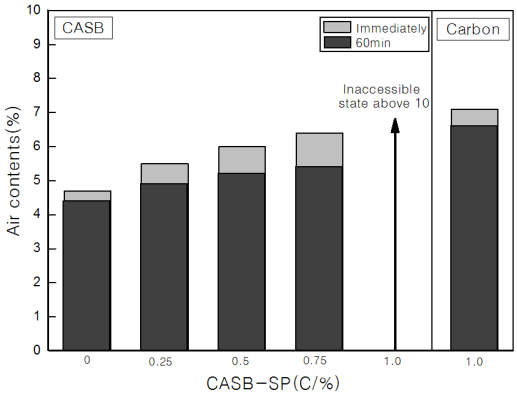


Fig. 5. Air contents with CASB-SP dosages

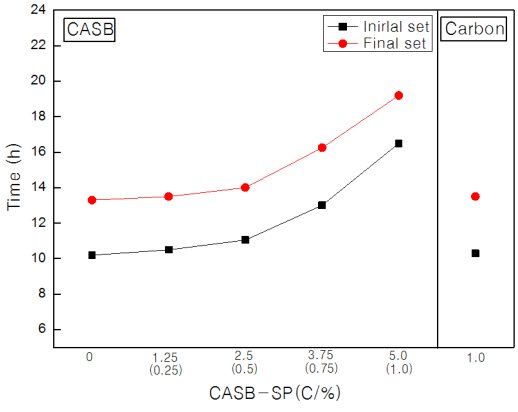


Fig. 8. Initial and final setting time with CASB-SP dosages

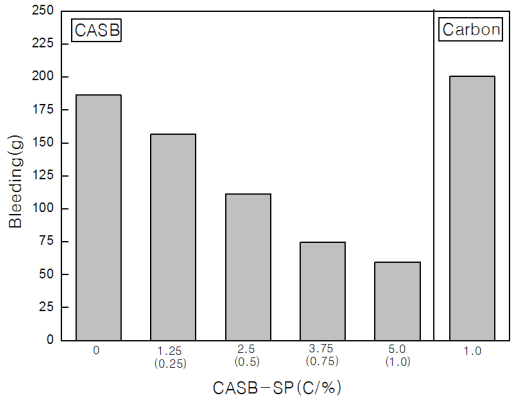


Fig. 9. Bleeding with CASB-SP dosages

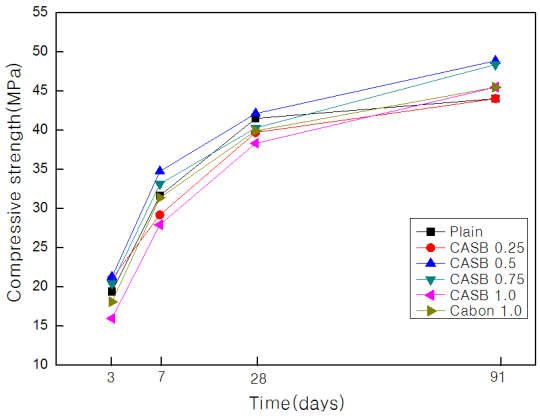


Fig. 10. Strength development of the concrete according to CASB-SP with age

시간인 반면, CASB-SP를 혼입한 경우에는 초결은 10시간~16시간, 종결은 13시간~19시간 정도로서 Plain 보다 지연되는 것으로 나타났는데, 이는 CASB-SP의 혼입율이 증가 할수록 콘크리트 수화반응시 생성되는 $Ca(OH)_2$에 의해 CASB-SP의 Main Chain 구조가 분해되는 속도가 늦어져 응결이 지연되는 것으로 판단된다.

Fig. 9는 CASB-SP 및 Carbon Black 혼입율에 따른 블리딩을 나타낸 것이다. 전반적으로 CASB-SP 혼입율이 증가함에 따라 블리딩량은 현저하게 감소하는 것으로 나타났고, Carbon Black의 경우는 Plain보다 증가하는 것으로 나타났다. 이는 CASB-SP의 혼입율이 증가 할수록 단위수량이 작아짐에 따라 배합수가 감소하여 블리딩량이 감소된 것으로 판단된다.

4.2 강도발현 특성

Fig. 10 및 11은 CASB-SP 및 Carbon Black 혼입율 별 재령경과에 따른 압축강도를 나타낸 것이다.

전반적으로 CASB-SP 혼입율이 증가함에 따라 압축강도는 증가하는 것으로 나타났다. 재령 3일에서는 CASB-SP 0.75%까지는 Plain 및 Carbon Black 사용에 비해 높아지는 것으로 나타났다. 전 재령에 걸쳐 CASB-SP 혼입율 0.50%~0.75% 사용하였을 경우 Carbon Black 1.0% 사용한 경우보다 높은 강도 값을 나타내었을 뿐만 아니라 가장 우수한 강도 값을 나타내었는데, 이는 CASB가 SP제로 개질됨으로써 CASB의 나노입자가 우수하게 분산되어 콘크리트 내 부의 모세관 공극을 충전하여 CASB-SP 혼입율 0.75%까지는 강도가 향상되는 것으로 판단된다.

반면 CASB-SP 1.0%에서는 강도가 저하하는 것으로 나타났는데, 이는 CASB-SP 혼입율 1.0%에서 CASB-SP 사용에 따른 과다한 공기량 증가에 기인한 것으로 사료된다.

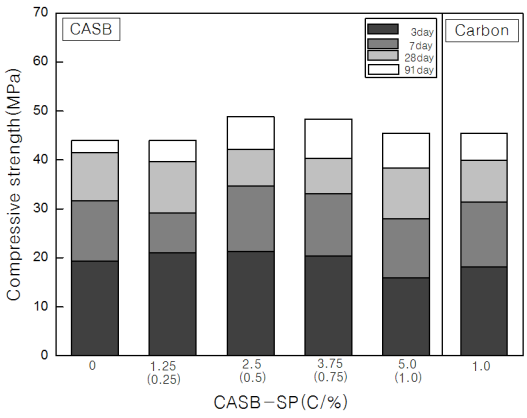


Fig. 11. Compressive strength according to CASB-SP

4.3 발색특성

Photo 2는 CASB-SP 및 Carbon Black 혼입율 및 표면처리 조건별 명도 시험체 사진이고, Fig. 12~16은 재령별 CASB-SP 혼입율에 따른 발수제 도포 후 발색도를 나타낸 것이다.

전반적으로 CASB-SP 혼입율이 증가할수록 콘크리트의 색상이 선명한 검은색을 발현하는 것으로 나타났는데, CASB-SP 0.5% 이상 사용하였을 경우는 CASB-SP 혼입율이 증가하더라도 색상의 선명도에서는 큰 차이가 없음을 확인할 수 있었다. 또한, CASB-SP를 사용하였을 경우 Carbon Black을 사용하였을 경우보다 보다 선명한 검은색을 띄었으며, 가장 적게 사용한 CASB-SP 0.25% 조건에서도 Carbon Black 1.0%를 사용한 시험체 보다 더욱 검은색을 띄었다. L*값은 명도 값으로써 0에 가까울수록 검은색을 나타내는데, Fig. 12~16에서 보듯이 CASB-SP를 사용하였을 경우 Carbon Black을 사용하였을 경우보다 15~30L^* 정도

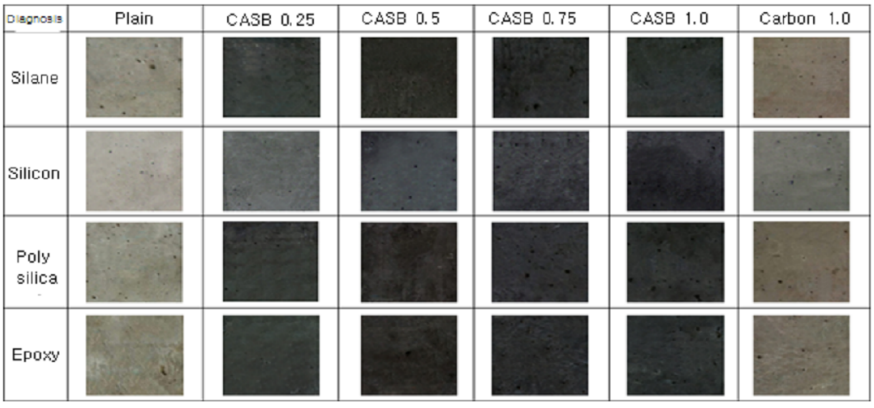


Photo 2. Black color development according to CASB-SP and water repellent agent types

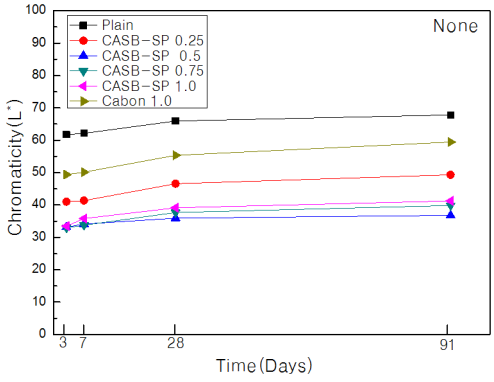


Fig. 12. Chromaticity development of concrete without water repellent application according to CASB-SP

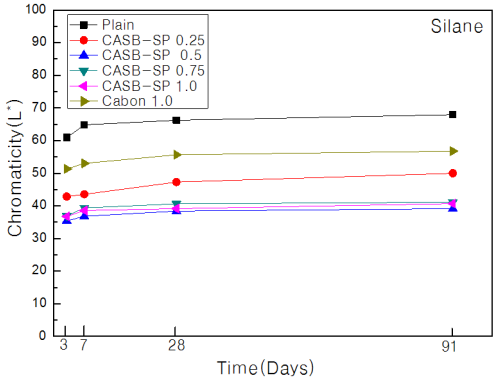


Fig. 13. Chromaticity development of concrete with silane based water repellent application according to CASB-SP

낮게 나타나 우수한 검정색상을 나타내는 것을 확인할 수 있었는데, 이는 CASB-SP를 사용하였을 경우 CASB 입자가 SP제로 인하여 개질됨으로써 우수한 분산효과로 인해 콘크리트에 내부로 CASB가 양호하게 분산되었기 때문으로 사료된다.

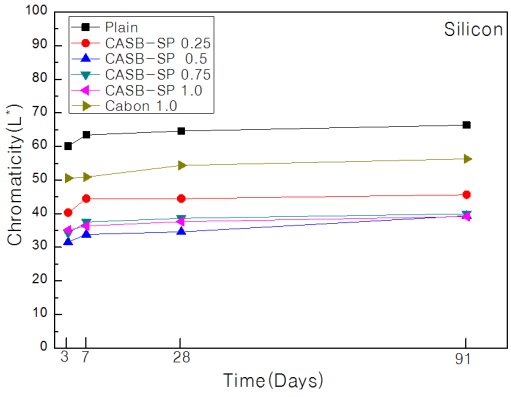


Fig. 14. Chromaticity development of concrete with silicon based water repellent application according to CASB-SP

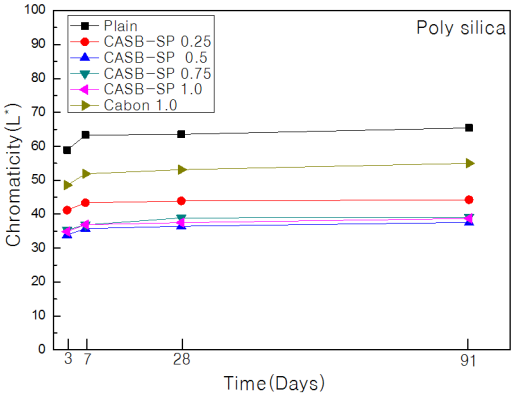


Fig. 15. Chromaticity development of concrete with poly silica based water repellent application according to CASB-SP

한편, 발수제 도포 여부에 따른 발색특성 중 무도포의 경우는 재령이 경과할수록 백화현상이 일어나 블랙 콘크리트의 색상이 점점 옅어져 높은 명도 값을 나타내었고, 발수제를 도포한 경우에

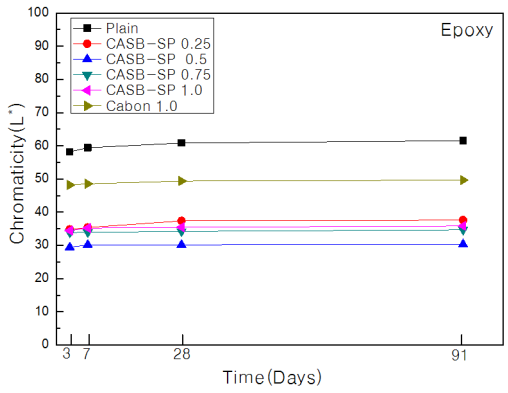


Fig. 16. Chromaticity development of concrete with epoxy based water repellent application according to CASB-SP

는 발수제 종류와 관계없이 재령경과에 따른 블랙 콘크리트의 백화현상은 일어나지 않는 것으로 나타났다. 이때 발수제 종류에 따른 블랙 콘크리트의 명도 값은 에폭시, 폴리실리카, 실리콘계, 실란계를 도포한 순으로 낮게 나타났는데, 에폭시의 경우 다른 발수제에 비해 낮은 명도 값을 나타내어 더욱 진한 검정색상을 나타내었다.

5. 결 론

본 연구는 콘크리트용 발색제로서 CASB-SP가 블랙 컬러 콘크리트의 제반물성 및 발색도에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. CASB-SP 및 Carbon Black의 혼화제 종류와 혼입율에 따른 굳지않은 콘크리트의 특성으로 슬럼프 및 공기량은 CASB-SP 혼입율이 증가 할수록 증가하는 경향으로 단위수량 절감 및 소포제 혼입율의 미세한 조절이 필요한 것으로 분석되었다. 이에 따라 블리딩량은 혼입률 증가에 따라 대폭 감소하는 것을 확인할 수 있었다.
2. 응결시간은 CASB-SP 사용에 따라 Plain 보다 지연되는 것으로 나타났는데, 이는 CASB-SP의 혼입율이 증가 할수록 콘크리트 수화반응시 생성되는 수산화칼슘에 의해 CASB-SP의 Main Chain 구조가 분해되는 속도가 늦어져 응결이 지연되는 것으로 판단된다.
3. CASB-SP 혼입율이 증가 할수록 압축강도는 증가하는 것으로 나타났는데, Carbon Black 사용량의 절반정도 수준에서 Carbon black 사용시보다 높은 강도 값을 나타내었는데, 이는 CASB가 SP제로 개질됨으로써 CASB의 나노입자가 우수하게 분산되어 콘크리트 내부의 모세관 공극을 충전하여 강도가 향상되는 것으로 판단된다.
4. CASB-SP를 소량 사용하더라도 검은색을 띄는 경향을 보였다. 이는 CASB 입자가 SP제로 인하여 개질됨으로써 콘크리트에 내부로 CASB가 잘 분산되었기 때문으로 사료된다. 발수제 도포의 따른 발색도는 발수제 종류와 관계없이 발수제를 도포하였을 경우 백화현상이 일어나지 않았다. 명도값은 에폭시, 폴리실리카, 실리콘계, 실란계 순으로 검정색상을 띄었다.

본 연구범위에서는 블랙 콘크리트의 양호한 물성확보 및 최적의 색상구현을 위해서는 단위수량 및 소포제 혼입율을 적절히 조절할 경우 CASB-SP 혼입율 0.5%에서 우수한 분산성에 기인하여 콘크리트의 압축강도 및 발색도 확보에 가장 효과적일 것으로 판단되며, 이는 기존의 블랙콘크리트 색상발현을 위한 Carbon black 사용량을 절반정도 저감할 수 있어 경제적이라 판단된다. 다만 CASB-SP가 다양한 배합 및 재료 조건하에서 물성 및 발색도에 미치는 영향과 최적 사용량 등은 추가적인 검토를 통하여 결정되어야 할 것으로 사료된다.

References

Kim, T.C., Kim, J., Jeon, C.G., Yeon, G.W., Shin, D.A., Ryu, H.G. (2010). Fundamental Properties of the Colored Concrete According to the Kinds of Coloring Agents and the Variation of their Admixture Ratio. Journal of Architectural Institute of Korea, **01**, 509-513 [in Korean].

Park, J.H., Kim, J.B., Jung, Y. (2008). An Experimental Study on Properties of Color Concrete with Types and Addition Ratio ofPigment. Journal of the Korea Concrete Institute, **20(1)**, 673-677 [in Korean].

Ryu, H.K., Kwan, Y.J. (2010). An Analysis on the Properties of Concrete Used as the Mixture Material with Carbon Black. The Korea Institute of Building Construction, **10(2)**, 59-67 [in Korean].

Han, C.G., Yoo, S.Y. (2011). Property Analysis of the Utra High Strength Cement Paste Using Mineral Admixtures Depending on the Contents of CASB. Journal of Architectural Institute of Korea, **24(4)**, 105-110 [in Korean].

Han, C.G., Yoo, S.Y. (2011). Analysis of the Effect of Super-plasticizer combined CASB on Ultra High Strength Mortar

and Concrete Using Mineral Admixture. Journal of the Korea Recycled Construction Resource Institute, **6(1)**, 72–79 [in Korean].

Jo, B.W., Park, J.B., Park, J.H. (2005). A Study on Fire-Resistant Performance of Concrete Using Nano-Silica Particles. Journal of the Korea Concrete Institute, **17(2)**, 247–255 [in Korean].

Lee, J., Jo, G.Y., Seo, J.P. (2010). An Experimental Study on the Properties of Cement Composite Using Nano-silica. Journal of the Korea Concrete Institute, **22(1)**, 377–379 [in Korean].

Han, J.S. (2003). An Improvement Method on the Using Problem of the Ground Granulate Blast-Furnace Slag as a Concrete Admixture in Ready-Mixed Concrete Plant. Journal of Architectural Institute of Korea, **15(2)**, 6–7 [in Korean].

P.K.Mehta & P.J.Monteiro. (2005). ; CONCRETE-Microstructure, Properties, and Materials.

Jean-Baptiste Donnet. (1993). ; Carbon black : Science and Technology.

카본 아미노 실리카 블랙 기반 고성능 감수제가 블랙 컬러 콘크리트의 공학적 특성 및 발색도에 미치는 영향

본 연구에서는 CASB-SP가 블랙 콘크리트의 기초적 물성 및 발색도에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하고자 하였다. 실험변수로서 CASB-SP와 기존 Carbon black의 두 착색제 종류에 따라 치환율을 변화시키고 이후 백화방지를 위해 4수준의 발색제를 변수로 설정하였다. 연구결과에 따르면, 전반적으로 CASB-SP 혼입율이 증가할수록 슬럼프 및 공기량이 증가하는 경향으로 나타났고, 응결시간은 0.75% 이상 사용시 기존 Plain에 비해서 현저히 지연되는 것으로 나타났으며 블리딩은 CASB-SP 혼입율이 증가 할수록 감소되었다. 압축강도는 CASB-SP 혼입율이 증가할수록 압축강도가 증가하였고, 발색도는 CASB-SP 혼입율이 증가할수록 검정색 발현이 선명해지는 것으로 나타났고, 발색제의 사용에 따라 백화가 방지되어 안정적인 색상유지가 가능해졌다. 이상을 종합하면, 블랙 콘크리트에 CASB-SP를 사용할 경우 Carbon Black에 비해 콘크리트의 품질향상 차원에서 유리한 것으로 나타났고, CASB-SP 혼입율은 콘크리트의 품질을 고려하여 0.5% 혼입하는 것이 가장 양호한 것으로 분석된다.