

광물질 혼화재 사용 초고강도 모르타르 및 콘크리트에 CASB 화합 고성능감수제의 효과분석

Analysis of the Effect of Superplasticizer combined CASB on Ultra High Strength Mortar and Concrete Using Mineral Admixture

(Received March 11, 2011 / Revised March 30, 2011 / Accepted March 31, 2011)

한천구¹⁾, 유승엽^{1)*}

청주대학교 대학원 건축공학과

Cheon-Goo Han¹⁾, Seung-Yeup Yoo¹⁾

¹⁾Div. of Architecture Engineering, Graduate School Cheong-ju University, Cheong-ju, 360-764, Korea

Abstract

This study is performed to analyze the effects of CASB by applying the superplasticizer combined CASB on the ultra high strength mortar and concrete that uses different mineral admixture depending on whether the silica fume was used and the results are summarized below. From the characteristics of Fresh mortar and concrete, the fluidity was lower in B2-CASB than B2-PC from the mixing of CASB and based on the viscosity of the mortar and concrete in the binary proportion but in the ternary proportion, B3-CASB showed a larger fluidity than B3-PC because of a reduction in the restriction level due to the effects of an improvement of particle size distribution. The compression strength was higher in ternary proportion than in binary proportion and higher in CASB than in PC from the characteristics of hardening mortar and concrete and this is analyzed as a result of increased minuteness from the calcium silicate hydrates produced from the pozzolan reaction of a mineral admixture, SF, and also the charging effects of capillary pore of CASB. Overall, when using the nanomaterial, CASB in combination with a superplasticizer, the fluidity and the strength aspects of the ternary proportion of ultra high strength mortar and concrete with silica fume may be improved to a higher quality.

키워드 : 광물질 혼화재, CASB, CASB 화합 고성능감수제

Keywords : Mineral Admixture, Carbon Amino Silica Black, Superplasticizer combined CASB

1. 서론

콘크리트를 초고강도화하기 위해서는 결합재의 강도를 개선하는 것이 무엇보다 중요하다. 즉, 결합재의 강도를 개선하는 방법으로는 고성능감수제를 사용하여 물결합재비(이하 W/B)를 감소시키는 방법과 산업부산물인 고로슬래그 미분말(이하 BFS), 플라이애시(이하 FA), 실리카 폼(이하 SF) 등의 광물질 혼화재와 나노물질의 충전재 등을 사용하

여 콘크리트 내에서 70-80 % 비율을 차지하는 0.01-0.1 μ m 크기의 모세관 공극을 감소시키는 방법 등이 있다.

Carbon black은 합성수지 착색제, 잉크, 안료 및 도료 제조 시 검정색의 발현과 전극첨가제 및 태양열 흡수도료의 전기 전도도 향상 등을 위해 각종 산업에서 광범위하게 활용되고 있는 초미립 재료이다. 최근에는 Amino 및 Silica와의 합성을 통해 Carbon Amino Silica Black(이하 CASB) 등의 제품으로 생산이 가능해져 이를 콘크리트에 활용할 때에 공극 충전 효과와 포졸란 반응에 의한 공극 구조의 개선으로 강도 증진이 가능할 것으로 사료된다. 또한, CASB는 Carbon black의 표면에 염기성을 부여함으로

* Corresponding author
E-mail : yoosy-79@nate.com

써 폴리카르본산계 고성능감수제와 산염기반응으로 CASB 화학 고성능감수제의 개발도 가능할 것으로 판단된다.

그러므로 본 연구에서는 실리카폼 사용 여부로 서로 다른 광물질 혼화제를 사용하는 초고강도 모르타르 및 콘크리트에 CASB 화학 고성능감수제를 적용함으로써 CASB의 효과를 분석하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 콘크리트의 고강도화 방법

콘크리트를 고강도화하는 방법에는 Fig. 1과 같이 결합재의 강도 개선, 골재의 강도 개선, 골재와 결합재의 부착력을 개선하는 방법이 있다.

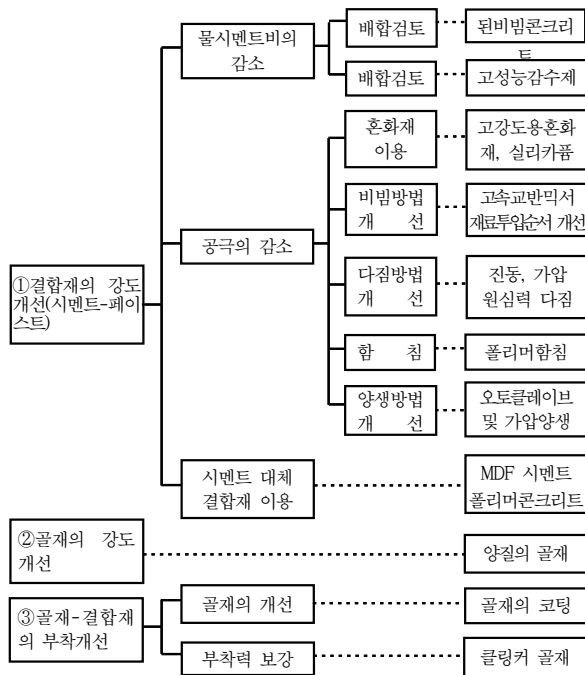


Fig. 1 Method for high strengthening of concrete

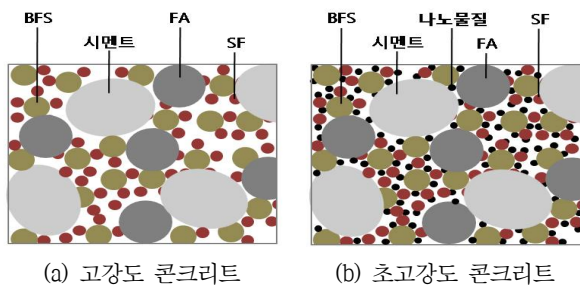


Fig. 2 Conceptual diagram of ultra high strength concrete using nano particle

그중 가장 일반적인 방법은 결합재의 강도를 개선하는 것으로, 가장 대표적인 방법으로는 고성능감수제를 사용하여 W/B를 감소시키는 방법과 Fig. 2의 (a)를 (b)와 같이 나노물질의 재료로 충전함으로써 콘크리트의 공극을 감소시키는 방법 등이 있다.

2.2 Carbon black

Carbon black은 상업적으로 제조된 카본그룹의 총칭으로, 입자의 크기, 응집상태, 표면성상 등의 특성이 조절되는 공정조건하에서 만들어진 ‘탄소원소’로 정의되어질 수 있다. 현재 생산되고 있는 범용 Carbon black은 대부분 퍼니스(Furnace) 공정으로 제조되고 있는데, 그 입자형상 및 표면 작용기는 Fig. 3 및 Fig. 4의 (a)와 같다.

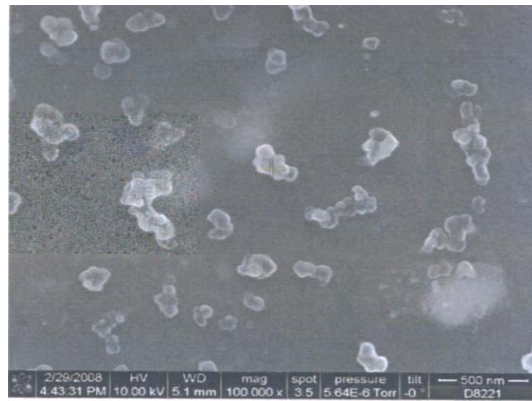


Fig. 3 Particle shape of carbon black

Carbon black의 일반적인 성질로서는 물에 젖기 힘들고, 주성분은 95~99 %의 탄소이며, 나머지는 0.3~0.7 %의 수소, 0.1~2.8 %의 산소, 0.1~1.0 %의 수분, 0.01~0.5 %의 회분 등으로 구성되어 있고, 입자 사이즈는 10~100 nm, 비표면적은 100~200 m²/g, 밀도는 1.7~2.1 g/cm³ 이다.

2.3 CASB

CASB는 Carbon black의 표면을 Fig. 4의 (b)와 같이 개질시켜 표면 작용기로 유기염기성 및 Silica 성분을 부여함으로써 폴리카르본산계 고성능감수제와 화학적 결합이 가능하도록 한 것이다.

CASB의 제조 방법은 Carbon black과 Fig. 5의 분자구조를 가진 아미노실리카 화합물을 혼합한 후 상온 내지 120 °C 범위에서 0.5~2 시간 동안 반응시킨 다음 건조시켜 제조한다. 이때, R1, R2는 각각 독립적이며 같거나 다른 것

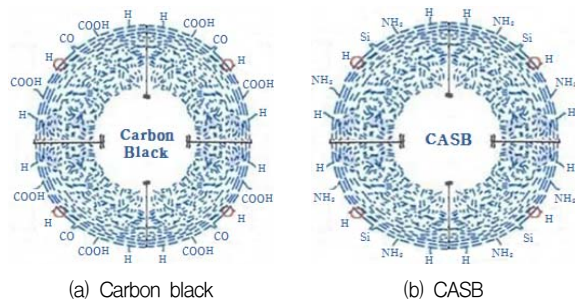


Fig. 4 Surface functional group of carbon black and CASB

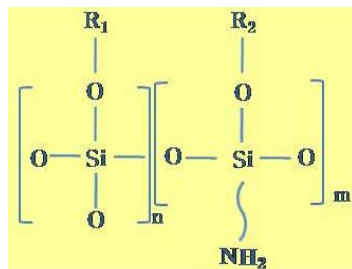


Fig. 5 The molecular structure of amino-silica compound

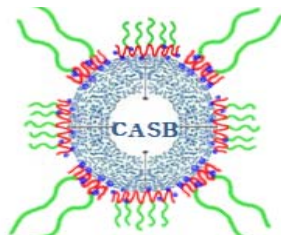


Fig. 6 Conceptual diagram of superplasticizer combined CASB

으로 H 또는 Si이다.

상기와 같이 제조된 CASB는 Carbon black의 표면에 소량 존재하는 친수성 작용기와 아미노 실리카 화합물이 화학적으로 결합하여 부가된 아미노 작용기에 의하여 화학적 반응성을 증가시킨다. 이때, 부가된 아미노 작용기와 폴리 카르본산계 고성능감수제의 카르본산과 산염기반응으로 화합함으로써 Fig. 6과 같이 CASB 화합 고성능감수제의 제조가 가능하게 된다.

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험계획

광물질 혼화제를 사용하는 초고강도 모르타르 및 콘크리트에 CASB 화합 고성능감수제의 효과를 분석하기 위한

Table 1 Experimental plan of Mortar and Concrete

Factors		Levels	
Mixture	W/B(%)	1	• 22.5
	Kinds of binder	2	• B2 ¹⁾ • B3 ²⁾
	Kinds of chemical admixture	2	• PC ³⁾ • CASB ⁴⁾
	Kinds of mixture	2	• mortar • concrete
Experiment	Fresh mortar and concrete	4	• slump flow • Reaching Time of slump flow • Air contents • Unit volume Weight
	Hardened mortar and concrete	1	• Compressive strength (3, 7, 28 days)

- 1) B2 : OPC 80 %, FA 20%
- 2) B3 : OPC 75 %, FA 20%, SF 5%
- 3) PC : Normal superplasticizer
- 4) CASB : Superplasticizer combined CASB

Table 2 Mix proportion of mortar

W/B (%)	B:S	AD (%)	Unit weight(kg/m ³)				
			W	C	FA	SF	S
22.5	1:1.01	1.3	240	853	213	-	1077
			238	793	212	53	1068

Table 3 Mix proportion of concrete

W/B (%)	S/a (%)	AD (%)	Unit weight(kg/m ³)					
			W	C	FA	SF	S	G
22.5	43	1.8	152	541	135	-	665	888
			152	507	135	34	660	882

실험계획은 Table 1과 같고, 배합사항은 Table 2 및 3과 같다.

즉, W/B는 80 MPa 급으로 설계되는 22.5 % 1수준에 대하여 결합재 및 화학 혼화제 종류를 표 1과 같이 2수준씩으로 변화시켜, 모르타르 및 콘크리트 총 8수준의 실험을 실시하는 것으로 계획하였다.

실험사항으로 모르타르에서는 미니 슬럼프 플로, 미니 슬럼프 플로 250 mm 도달시간, 공기량, 단위용적질량 및 압축강도를 측정하는 것으로 하였고, 콘크리트에서는 슬럼프 플로, 슬럼프 플로 500 mm 도달시간, 공기량, 단위용적질량 및 압축강도를 측정하는 것으로 하였다.

3.2 사용재료

본 실험에 사용한 재료로서 시멘트는 국내산 T사의 1종 포틀랜드 시멘트, FA는 국내산 B화력발전소의 2종, SF는 중국산 E사의 Densified 제품을 사용하였는데, 그 물리·화학적 특성은 Table 4~6과 같다. 골재로서 잔골재는 국내산 평택산 세척사, 굵은 골재는 경남 김해산 20 mm 부순 굵은 골재를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 7-8과 같다. 혼화제는 국내산 폴리카본산계 고성능감수제와 CASB를 화합한 고성능감수제를 사용하였는데, 고성능감수제의 물리적 특성 및 CASB 화합 고성능감수제의 배합사항은 Table 9 및 10과 같다.

Table 4 Chemical and physical properties of OPC

Chemical composition(%)					Physical properties	
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Blaine (cm ² /g)	Density (g/cm ³)
20.50	5.20	3.29	61.63	3.41	3 414	3.15

Table 5 Chemical and physical properties of FA

Chemical composition(%)					Physical properties	
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Blaine (cm ² /g)	Density (g/cm ³)
51.89	29.49	6.92	4.91	0.98	4 155	2.20

Table 6 Chemical and physical properties of SF

Chemical composition(%)					Physical properties	
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Blaine (cm ² /g)	Density (g/cm ³)
91.26	2.01	0.85	1.20	0.40	200 000	2.20

Table 7 Physical properties of sea sand

Density (g/cm ³)	Finess modulus	Absorption ratio(%)	Passing amount of 0.08mm sieve
2.60	2.45	0.83	0.30

Table 8 Physical properties of Gravel

Density (g/cm ³)	Finess modulus	Absorption ratio(%)	Passing amount of 0.08mm sieve
2.62	6.30	1.03	0.10

Table 9 Properties of normal superplasticizer

Basis	Density (g/cm ³)	pH	Viscosity (cp)
Polycarbonic acid	1.09	6.50	50

Table 10 Proportion of superplasticizer combined CASB

W(%)	Superplasticizer(%)	CASB(%)
32	48	20

3.3 실험방법

모르타르 실험으로 모르타르의 혼합은 KS L 5109에 준하여 전동식 호바트(Hobart)믹서를 사용하였고, 모르타르의 미니 슬럼프 플로, 공기량 및 단위용적질량, 압축강도 시험은 KS F 2474, KS F 2409, KS L 5105 규정에 의거하여 실시하였다. 또한, 콘크리트 실험으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하였고, 콘크리트의 슬럼프 플로, 공기량, 단위용적질량, 압축강도 시험은 KS F 2594, KS F 2421, KS F 2409, KS F 2405 규정에 의거하여 실시하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 굳지않은 모르타르 및 콘크리트의 특성

4.1.1 굳지않은 모르타르

(1) 유동성

Fig. 7은 결합제 및 화학 혼화제 종류에 따른 모르타르의 미니 슬럼프 플로와 미니 슬럼프 플로 250 mm 도달 시간을 나타낸 것이다.

전반적인 경향으로 결합제가 2성분계인 배합의 경우 B2-CASB의 미니 슬럼프 플로우 B2-PC보다 작게 나타났는데, 이는 비표면적이 100~200 m²/g 정도인 CASB 혼입으로 모르타르의 점성이 증가된 것에 기인한 결과로 분석된다. 결합제가 3성분계인 배합의 경우 B3-CASB의 미니 슬럼프 플로우 B3-PC 보다 크게 나타났는데, 이는 Fig. 2에서와 같이 CASB의 입도분포 개선 효과로 구속수가 감소한 것에 기인한 결과로 분석된다. 또한, 미니 슬럼프 플로 250 mm 도달 시간은 미니 슬럼프 플로치가 작을수록 지연되는 것으로 나타났다.

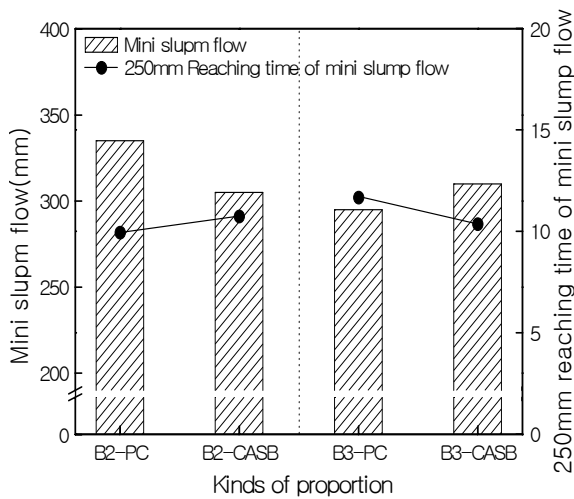


Fig. 7 Mini slump flow and 250mm reaching time of mortar with kinds of proportion

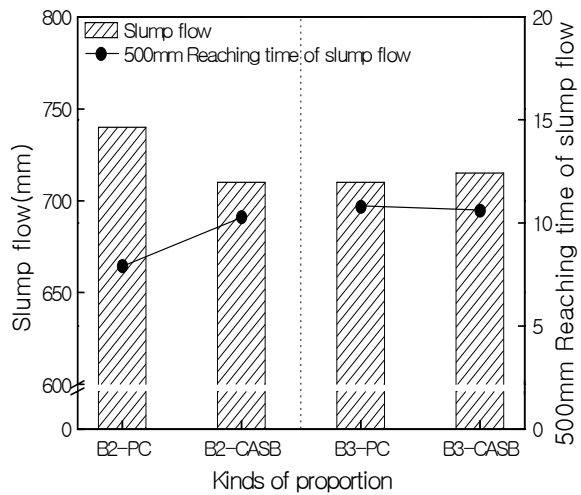


Fig. 9 Slump flow and 500mm reaching time of concrete with kinds of proportion

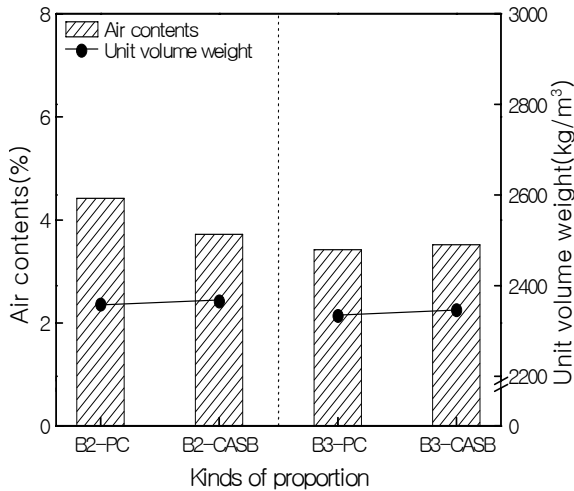


Fig. 8 Air contents and unit volume weight of mortar with kinds of proportion

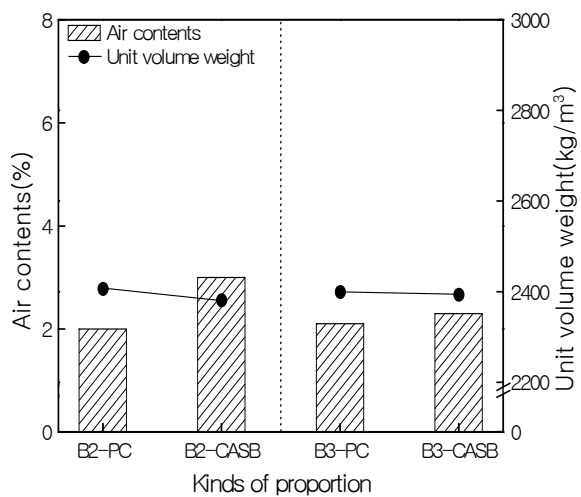


Fig. 10 Air contents and Unit volume weight of concrete with kinds of proportion

(2) 공기량 및 단위용적질량

Fig. 8은 결합재 및 화학 혼화제 종류에 따른 모르타르의 공기량 및 단위용적질량을 나타낸 것이다.

공기량은 약간의 변동은 있으나 2성분계 배합보다는 3성분계에서, PC 보다는 CASB의 경우에서 결합재간의 공극 충전 효과에 기인하여 감소하는 것으로 나타났다. 단, 단위용적질량은 공기량의 증감에 반비례하는 경향을 보였다.

4.1.2 굳지않은 콘크리트

(1) 유동성

Fig. 9는 콘크리트의 슬럼프 플로와 슬럼프 플로 500 mm 도달 시간을 나타낸 것이다.

콘크리트의 슬럼프 플로 및 슬럼프 플로 500 mm 도달 시간은 약간의 차이는 존재할지라도 모르타르의 미니 슬럼프 플로 및 미니 슬럼프 플로 250 mm 도달시간과 유사한 경향을 보였다.

(2) 공기량 및 단위용적질량

Fig. 10은 콘크리트의 공기량 및 단위용적질량을 나타낸 것이다.

공기량은 모르타르의 경우와 다르게 2성분계와 3성분계 간에는 거의 차이가 없고, PC보다는 CASB에서 약간 큰 경향을 보이나, 이는 오차에서 기인된 차이일뿐 중요한 요인으로는 고려되지 않는다.

또한, 단위용적질량은 공기량의 증감에 반비례하는 경향으로 나타났다.

4.2 경화 모르타르 및 콘크리트의 특성

4.2.1 경화 모르타르

Fig. 11은 모르타르 배합 종류별 재령경과에 따른 압축 강도를 나타낸 것이고, Fig. 12는 재령별 B2-PC를 기준으로 하여 B2-CASB, B3-PC 및 B3-CASB와의 강도 발현율을 비교한 것이다.

재령경과에 따른 압축강도는 2성분계 배합보다 3성분계 배합이, PC보다 CASB가 높게 나타났다. 또한, 재령 28일 압축강도 발현율은 B2-PC 보다 B2-CASB가 약 17 %, B3-PC가 약 12 %, B3-CASB가 약 23 % 증진되는 것으로 나타났는데, 이는 SF의 포졸란 반응에 의해 생성된 규산 칼슘수화물로 모르타르의 조직이 치밀해진 것과 CASB의 모세관 공극 충전 효과에 기인한 결과로 분석된다.

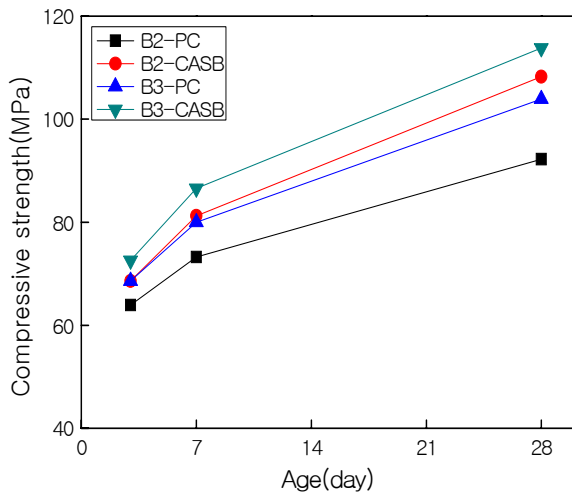


Fig. 11 Compressive strength of mortar with kinds of proportion

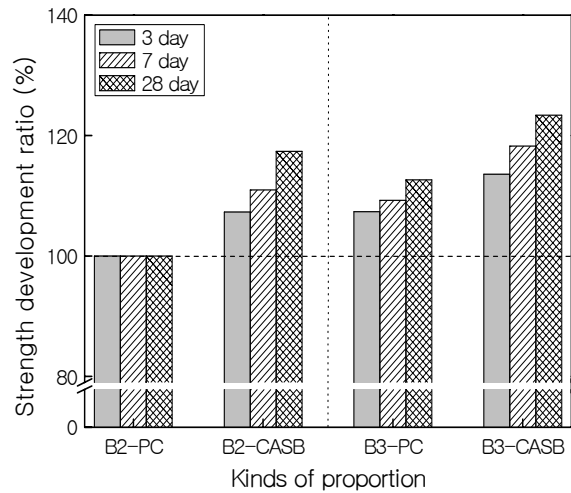


Fig. 12 Compressive strength development ratio of mortar by age with kinds of proportion

4.2.2 경화 콘크리트

Fig. 13은 콘크리트 배합 종류별 재령경과에 따른 압축 강도를 나타낸 것이고, Fig. 14는 재령별 B2-PC를 기준으로 하여 B2-CASB, B3-PC 및 B3-CASB와의 강도 발현율을 비교한 것이다.

재령경과에 따른 압축강도는 모르타르의 압축강도와 유사한 경향으로 나타났다. 또한, 재령 28일 압축강도 발현율은 B2-PC 보다 B2-CASB가 약 16 %, B3-PC가 약 25 %, B3-CASB가 약 35 % 증진되게 나타났다.

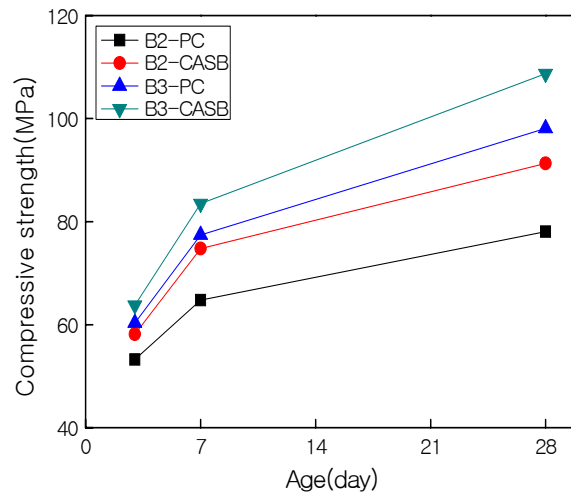


Fig. 13 Compressive strength of concrete with kinds of proportion

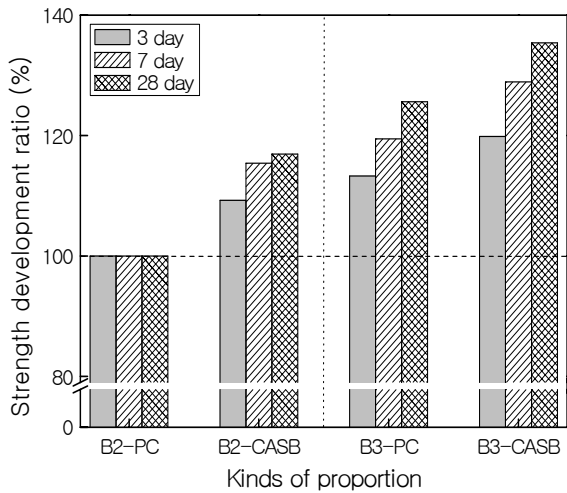


Fig. 14 Compressive strength development ratio of concrete by age with kinds of proportion

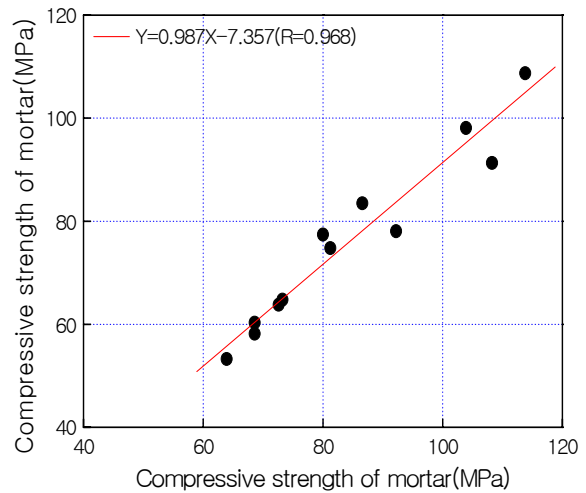


Fig. 16 Comparison of the compressive strength of mortar and concrete

4.3 모르타르와 콘크리트와의 비교

4.3.1 유동성

Fig. 15는 모르타르의 미니 슬럼프 플로와 콘크리트의 슬럼프 플로를 비교한 것이다.

전반적으로 모르타르의 미니 슬럼프 플로치가 콘크리트의 슬럼프 플로치보다 작은 것으로 나타났는데, 이는 미니 슬럼프 플로 및 슬럼프 플로 시험기의 용적 차이와 모르타르 및 콘크리트 배합의 고성능감수제 사용 비율 차이에 기인한 결과로 사료된다.

모르타르의 미니 슬럼프 플로와 콘크리트의 슬럼프 플로간에는 직선적인 것으로 나타났는데, 그 상관관계수는 0.963으로 높은 상관관계를 보였다.

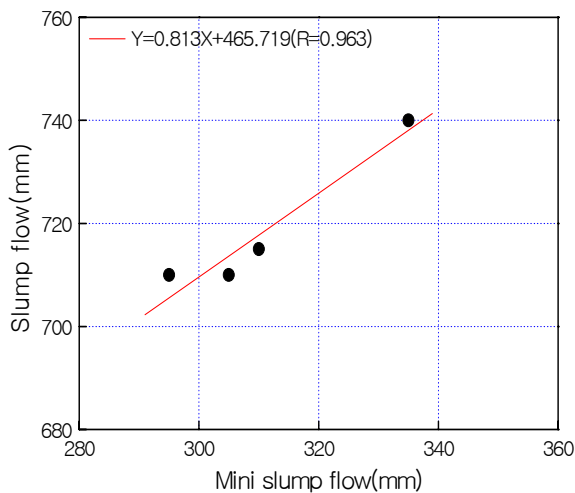


Fig. 15 Comparison of the fluidity of mortar and concrete

4.3.2 압축강도

Fig. 16은 모르타르의 압축강도와 콘크리트의 압축강도를 비교한 것이다.

콘크리트의 압축강도 보다 모르타르의 압축강도가 5~19 % 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 시험체 크기 및 형상 등의 요인에 기인한 결과로 사료된다.

모르타르의 압축강도와 콘크리트의 압축강도간에는 직선적인 관계로, 그 상관관계수는 0.968로 높은 상관관계를 보였다.

5. 결론

본 연구는 실리카폼 사용 여부로 서로 다른 광물질 혼화제를 사용하는 초고강도 모르타르 및 콘크리트에 CASB 화합 고성능감수제를 적용함으로써 CASB의 효과를 분석하고자 실시한 것으로, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 굳지않은 모르타르 및 콘크리트의 특성으로 모르타르의 미니 슬럼프 플로 및 콘크리트의 슬럼프 플로는 2성분계 배합의 경우에는 B2-CASB가 B2-PC 보다 CASB 혼입에 의한 점성증가에 기인하여 작게 나타났지만, 3성분계인 배합의 경우에는 B3-CASB가 B3-PC 보다 CASB의 입도분포 개선 효과로 구속수가 감소한 것에 기인하여 크게 나타났다.

2) 공기량은 콘크리트 보다 특히, 모르타르의 경우 2성분계 보다 3성분계 결합재에서 PC보다 CASB에서 결합재간 공극 충전 효과에 기인하여 감소하는 경향이였다. 단,

단위용적질량은 공기량과 반비례의 경향으로 나타났다.

3) 경화 모르타르 및 콘크리트의 특성으로 압축강도는 2성분계 보다 3성분계 결합제에서, PC보다 CASB에서 높게 나타났는데, 이는 광물질 혼화재인 SF의 포졸란 반응에 의해 생성된 규산칼슘수화물로 조직이 치밀해진 것과 CASB의 모세관 공극 충전 효과에 기인한 결과로 분석된다.

이상을 종합하면 나노물질인 CASB를 고성능감수제와 화합하여 사용할 경우 실리카폼 사용 3성분계 초고강도 모르타르 및 콘크리트의 유동성 및 강도 측면에서 품질향상이 가능할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 동양메이저(주)와 OCI와의 위탁연구 수행결과 중의 일부이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 한천구, 레미콘 품질관리(Ⅰ),(Ⅱ),(Ⅲ), 기문당, 2002~2010
- 2) 이준 외, 복합 나노실리카를 이용한 시멘트 복합체의 특성에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 2010년 봄 학술대회 논문집, pp. 377~378
- 3) 류현기 외, 카본블랙을 혼화재료로 사용한 콘크리트의

특성 분석, 한국건축시공학회 논문집 제 10권 2호, 2010

- 4) 동양제철화학 주식회사, 아미노-카본블랙 및 그의 제조 방법, 특허청, 2007
- 5) 동양제철화학 주식회사, 아미노-니트로 화합물을 이용한 아미노-카본블랙 및 그의 제조 방법, 특허청, 2007
- 6) P.K.Mehta, P.J.Monteiro, Concrete- Microstructure, Properties, and Materials, 2005.9
- 7) Jean-Baptiste Donnet, Carbon black- Science and Technology, 1993.5
- 8) International Carbon Black Association, Carbon black User's Guide, 2004. 6

광물질 혼화제 사용 초고강도 모르타르 및 콘크리트에 CASB 화합 고성능감수제의 효과분석

본 연구는 실리카폼 사용 여부로 서로 다른 광물질 혼화제를 사용하는 초고강도 모르타르 및 콘크리트에 CASB 화합 고성능감수제를 적용함으로써 CASB의 효과를 분석하고자 실시한 것으로, 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 굳지않은 모르타르 및 콘크리트의 특성으로 모르타르의 미니 슬럼프 플로 및 콘크리트의 슬럼프 플로는 2성분계 배합의 경우에는 B2-CASB가 B2-PC 보다 CASB 혼입에 의한 점성증가에 기인하여 작게 나타났지만, 3성분계인 배합의 경우에는 B3-CASB가 B3-PC 보다 CASB의 입도분포 개선 효과로 구속수가 감소한 것에 기인하여 크게 나타났다. 공기량은 콘크리트 보다 특히, 모르타르의 경우 2성분계 보다 3성분계 결합제에서 PC보다 CASB에서 결합제간 공극 충전 효과에 기인하여 감소하는 경향이었다. 단, 단위용적질량은 공기량과 반비례의 경향으로 나타났다. 경화 모르타르 및 콘크리트의 특성으로 압축강도는 2성분계 보다 3성분계 결합제에서, PC보다 CASB에서 높게 나타났는데, 이는 광물질 혼화재인 SF의 포졸란 반응에 의해 생성된 규산칼슘수화물로 조직이 치밀해진 것과 CASB의 모세관 공극 충전 효과에 기인한 결과로 분석된다. 이상을 종합하면 나노물질인 CASB를 고성능감수제와 화합하여 사용할 경우 실리카폼 사용 3성분계 초고강도 모르타르 및 콘크리트의 유동성 및 강도 측면에서 품질향상이 가능할 것으로 사료된다.