

고로슬래그 미분말 2종 및 석고에 의한 플라이애시 치환 콘크리트의 품질 향상

Improving Quality of Fly ash Replace Concrete by Second-Class Blast Furnace Slag Powder and Gypsum

전 규 남* 이 정 아** 최 성 용*** 백 대 현**** 한 민 철***** 한 천 구*****
Jeon, Kyu-Nam Lee, Jeong-Ah Choi, Sung-Yong Baek, Dae-Hyun Han, Min-Cheol Han, Cheon-Goo

Abstract

This study is a basic experiment to complement the problems in decrease of strength in case we change lots of fly ash("FA" here in after) in ordinary portland cement("OPC" here in after). Mixing plaster that is known to be effective in improvement in hydration of blast furnace slag powder("BS" here in after). After FA changed concrete is mixed, the study physical properties such as compression strength, increased proportionally. When second-class BS 5 % and gypsum 2 % changed, compare to OPC strength approximately 120 % was recorded after one day. In FA 20 % case, according to the ratio of gypsum changed results showed similar trend, but compared to FA 10 % changed concrete, expression strength improvement was lower.

키워드 : 고로슬래그, 석고, 플라이애시, 콘크리트 품질 향상
Keywords : Blast Furnace Slag, Gypsum, Fly ash, Improving Quality

1. 서 론

최근 콘크리트의 품질향상, 경제성 성취 및 환경문제 등과 관련하여 플라이애시(이하 FA)의 활용이 점차 확대되고 있다.¹⁾

이러한 FA는 연간 400 ~ 600 만톤의 석탄회중 일부만이 재활용되고 잉여분은 폐기처분됨으로써 매립지의 부족현상이 심화되고 있는 실정이다. 그런데, 석탄회 발생량의 75 %를 차지하는 FA는 상온에서 수산화칼슘과 반응하여 CSH겔을 생성하는 포졸란 물질이므로 콘크리트용 혼화재료로 많이 사용되고 있는데, 이를 혼화재로 사용할 경우에는 작업성 개선과 수밀성 증진을 통한 내구성 향상이 가능하고, 수화열 저감을 통한 콘크리트의 균열감소 및 장기강도 증진 등의 효과가 있는 것으로 보고되고 있다.

그러나 FA가 다량 치환된 콘크리트의 경우 초기강도 저하, 콘크리트의 중성화 촉진 및 한중 시공 시 저온으로 인한 응결지연 및 강도저하등의 단점이 존재한다.

따라서, 본 연구에서는 보통포틀랜드 시멘트(이하 OPC)에 FA를 다량 치환한 콘크리트의 초기강도 저하 문제를 보완하기 위한 기초적 실험으로써, 초미립자인 고로슬래그 미분말(이하 BS)2종과 초기수화성능 향상에 효과적인 석고를 조합하여 압축강도 등 물리적 특성에 대해 분석하므로써, FA치환 콘크리트의 초기강도 증진 등의 품질향상을 도모하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

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

먼저 배합사항으로 W/C는 50 % 1수준에 대하여, 보통 포틀랜드 시멘트 100 %를 사용한 배합을 Plain 배합으로 하고, 혼화재료로써 FA 10 %, 20 % 2수준에 BS 0 %, 2.5 %, 5 %, 이수석고 0 %, 1 %, 2 % 각각 3수준을 혼합하여 총 15배치를 실험계획 하였다.

플레인 배합의 목표 슬럼프는 180±25 mm으로 설정하고, 목표 공기량은 4.5±1.5 %를 만족하도록 배합설계 하였고,

* 청주대학교 건축공학과 석사과정, 정회원
** 청주대학교 산업과학연구소 연구원, 정회원
*** 청주대학교 건축공학과 박사과정, 정회원
**** 청주대학교 건축공학과 조교수, 공학박사, 정회원
***** 청주대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 정회원

기타의 실험변수에는 동일한 배합비를 적용하였다.

실험사항으로 굳지 않은 콘크리트에서는 슬럼프, 슬럼프 플로우, 공기량, 단위용적질량을 측정하였고, 경화콘크리트에서는 압축강도를 측정하였다.

표. 1 실험계획

배합사항	실험요인		실험수준	
	W/B (%)	1	50	
목표 슬럼프 (mm)	1	180±25		
목표 공기량 (%)	1	4.5±1.5		
Plain	1	OPC		
결합재 변화(%)	14	FA 10	<ul style="list-style-type: none"> 0 BS 2.5, 5 이수석고 0, 1, 2 	
		FA 20	<ul style="list-style-type: none"> 0 BS 2.5, 5 이수석고 0, 1, 2 	
실험사항	4	굳지 않은 콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> 슬럼프 슬럼프 플로우 공기량 단위용적질량 	
			경화 콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> 압축강도 (1, 3, 7, 28일)

표. 2 배합 사항

구분	WC (%)	W (kg/m³)	S/a (%)	AE/C (%)	SP (%)	질량배합(kg/m³)					
						C	FA	BS	GS	S	G
OPC						364	0	0	0	763.2	994.4
F10						327	36.4	0	0	757.5	937.3
F10-2.5-0						318	36.4	9.1	0	757.2	936.9
F10-2.5-1						314	36.4	9.1	3.6	757.2	936.9
F10-2.5-2						311	36.4	9.1	7.2	757.2	937.0
F10-5-0						309	36.4	18.2	0	756.9	936.6
F10-5-1						305	36.4	18.2	3.6	756.9	936.6
F10-5-2	50	180	45	0.0040	0.55	302	36.4	18.2	7.2	756.9	936.6
F20						291	72.8	0	0	751.7	930.1
F20-2.5-0						282	72.8	9.1	0	751.4	929.7
F20-2.5-1						278	72.8	9.1	3.6	751.4	929.8
F20-2.5-2						274	72.8	9.1	3.6	751.4	929.8
F20-5-0						273	72.8	18.2	0	751.1	929.4
F20-5-1						269	72.8	18.2	7.2	751.1	929.4
F20-5-2						265	72.8	18.2	7.2	751.1	929.4

2.2 사용재료

표. 3 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm³)	분말도 (cm²/g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3 165	0.50	235	320	12.5	22.5	42.5

표. 4 플라이애시의 물리·화학적 성질

밀도 (g/cm³)	분말도 (cm²/g)	강열 감량 (%)	습분 (%)	SiO₂ (%)	활성도지수 (%)	플로우 값 비 (%)
2.22	4 012	3.40	0.10	47.44	97	101

표. 5 고로슬래그 미분말의 물리적 성질

밀도 (g/cm³)	분말도 (cm²/g)	염기도	MgO (%)	SO₃ (%)	Cl (%)	강열감량 (%)
2.80	7 138	1.88	5.63	1.11	0.004	0.33

표. 6 골재의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm³)	조립률	흡수율 (%)	단위용적 질량 (kg/m³)	0.08mm체 통과량 (%)
강모래	2.50	2.86	0.46	1 518	0.30
부순모래	2.58	2.90	0.46	1 684	0.32
굵은골재	2.62	7.00	0.58	1 564	0.40

표. 7 혼화제의 물리적 성질

구분	형태	주성분	색상	밀도 (g/cm³)
고성능감수제	액상	나프탈렌계	미백색	1.06
AE 감수제	액상	음이온계	미백색	1.04

본 실험에 사용한 재료의 물리적 성질은 표 3~7과 같다. 즉, 시멘트는 국내 A사산 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 골재로써 잔골재와 굵은골재는 각각 충북 음성산 및 옥산산을 사용하였다. 그리고 혼화제로써 플라이애시는 국내 K사산을 사용하였으며, 고로슬래그는 2종을, 석고는 이수석고를 사용하였다. 혼화제로 AE제는 국내산 E사산 음이온계, 고성능AE감수제는 국내 E사산 나프탈렌계를 사용하였다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 트윈샤프트 믹서를 사용하였다. 굳지 않은 콘크리트의 특성 실험으로, 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프 플로우는 KS F 2594, 공기량은 KS F 2421의 규정에 의거 실시하였고, 경화 콘크리트의 특성 실험으로써 압축강도는 Ø100×200 mm공시체를 이용하여 KS F 2405에 의거 계획된 재령에서 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

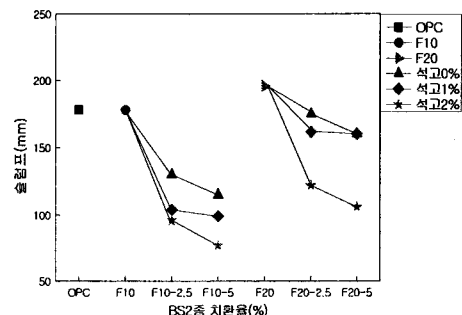


그림 1. FA 및 석고 치환율별 BS 치환율 변화에 따른 슬럼프

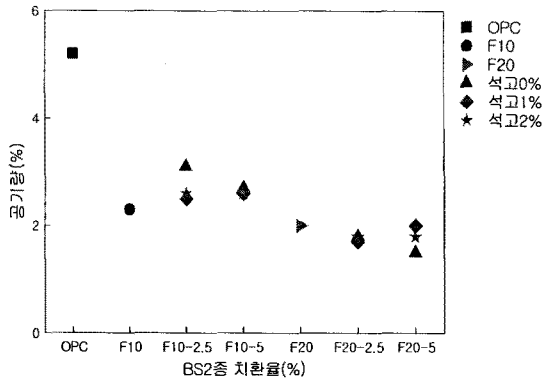


그림 2. FA 및 석고 치환율별 BS 치환율 변화에 따른 공기량

그림 1은 FA 및 석고 치환율별 BS 치환율 변화에 따른 슬럼프를 나타낸 그래프이다.

FA 10 % 치환 콘크리트의 경우는 OPC와 유사한 슬럼프를 나타냈으나, FA 20 %치환 콘크리트의 경우는 OPC에 비해 슬럼프가 비교적 크게 나타나는 양상을 보였다. 이는 FA의 구형 입자가 볼베어링 작용을 하여 유동성이 향상되어진 것으로 분석된다. 그러나 FA 치환 콘크리트에 BS2종과 석고의 치환량이 증가 할수록 점차 슬럼프가 감소하는 경향을 나타냈는데, 특히 FA 10 % 치환 콘크리트의 경우가 FA 20 % 치환 하였을때보다 슬럼프 감소율이 더 크게 나타났다.

그림 2는 FA 및 석고 치환율별 BS 치환율 변화에 따른 공기량을 나타낸 그래프이다.

OPC에 FA 10 %와 FA 20 %를 치환한 경우는 OPC에 비해 공기량이 크게 감소하는 경향을 나타냈는데 이는 FA에 혼입되어 있는 미연소탄분의 AE제 흡착작용에 기인한 것으로 판단된다. 또한, BS 및 석고 치환율 변화에 따른 공기량은 변화가 적은 것으로 나타나 BS와 석고가 공기량에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 분석된다.

3.2 경화 콘크리트의 특성

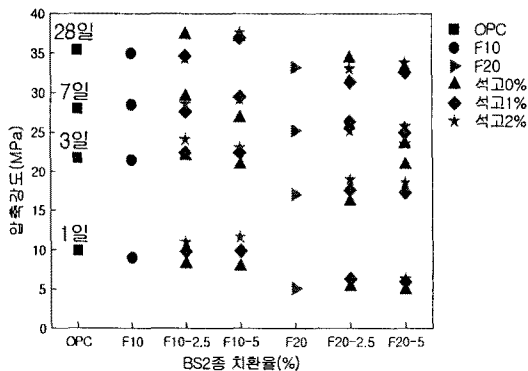


그림 3. FA 및 석고 치환율별 BS 치환율 변화에 따른 압축강도

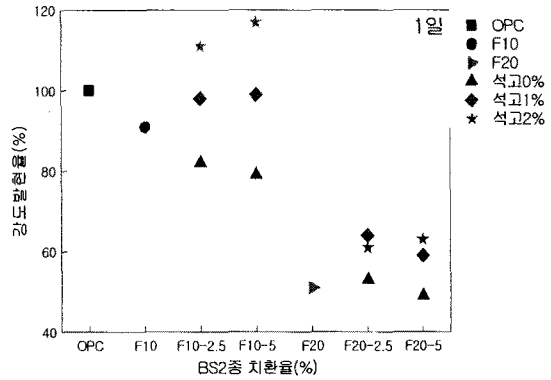


그림 4. FA 및 석고 치환율별 BS 치환율 변화에 따른 강도발현율

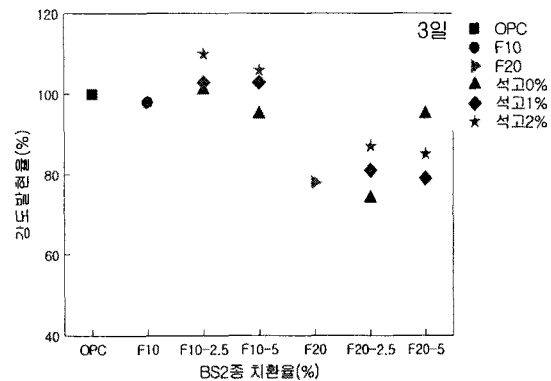


그림 5. FA 및 석고 치환율별 BS 치환율 변화에 따른 강도발현율

그림 3은 FA 및 석고 치환율별 BS 치환율 변화에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다.

FA 10 % 치환 콘크리트에 BS 및 석고를 치환한 경우 OPC와 유사한 강도를 보이며, FA 치환 콘크리트의 가장 큰 문제점인 초기 강도 저하 문제가 크게 완화 된 것을 확인 할 수 있었다.

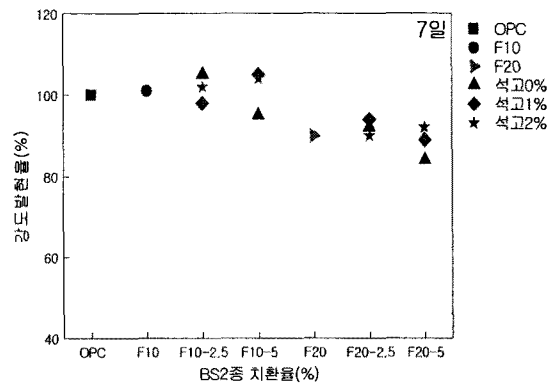


그림 6. FA 및 석고 치환율별 BS 치환율 변화에 따른 강도발현율

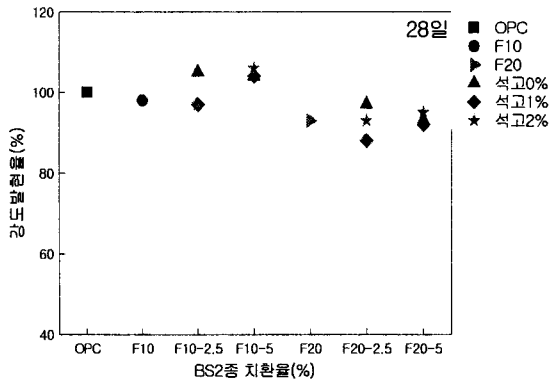


그림 7. FA 및 석고 치환율별 BS 치환율 변화에 따른 강도발현율

FA 치환 콘크리트에 BS만을 치환하였을 경우에는 초기 압축강도 발현율이 FA 치환 콘크리트와 유사하거나 감소하는 경향을 나타냈으나, 여기에 석고를 복합 치환한 경우는 석고의 치환율이 증가할수록 OPC와 유사하거나 또는 그 이상의 압축강도를 발휘하였다. 이는 고로슬래그가 강한 잠재수경성을 가지고 있지만 물과 섞이게 될 경우 화학적 반응으로 인해 고로슬래그 표면에 ASH_6 의 막을 형성하게 되는데, 이를 석고의 황산염이 자극제가 되어 고로슬래그의 OH^- 를 흡착하고 고로슬래그의 표면막을 파괴함에 따라 고로슬래그의 수화반응이 촉진되어 나타난 결과로 판단된다.²⁾

이후 후기재령으로 진행되면서 혼화제 치환 콘크리트의 강도 발현성능은 OPC에 비하여 증가하는 경향을 나타내었는데, 특히 FA 20%인 경우는 28일 재령에서 OPC의 약 90% 정도의 강도발현성능이 확인되었다. 이는 후기재령으로 진행됨에 따라 FA 및 BS의 포졸란 반응 및 잠재수경성 반응이 활성화됨으로써 압축강도 발현성능이 향상된 것으로 사료된다.

그림4~7은 FA 및 석고 치환율별 BS 치환율 변화에 따른 압축강도 발현율을 나타낸 그래프이다.

그림 4의 초기 1일 재령에서의 FA 10% 치환 콘크리트의 경우 석고 치환율이 증가함에 따라 강도발현율은 비례적으로 증가하는 경향을 나타냈으며, BS 5%와 석고 2%를 치환한 경우 1일 재령에서 OPC 강도발현율에 비해 약 120% 정도의 강도발현율을 나타내어, BS와 석고의 혼합사용이 초기강도발현 성능향상에 매우 큰 효과가 있는 것으로 나타났다. FA 20%의 경우도 석고의 치환율에 따라 유사한 경향을 나타냈으나, FA 10% 치환 콘크리트에 비해 강도발현 성능향상이 낮게 나타나, 초기재령에서 OPC 정도의 초기강도값을 발현하기 위해서는 추가적인 조치가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 BS2종 및 석고에 의한 FA 치환 콘크리트의 품질향상을 위해 기초적 특성 실험을 진행하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 슬럼프는 FA 10%, FA 20% 치환 콘크리트의 경우 OPC와 유사하거나 비교적 크게 나타나는 양상을 보였다. 그러나 FA 치환 콘크리트에 BS2종과 석고의 치환량이 증가할수록 점차 감소하는 경향을 나타냈는데, 특히 FA 10% 치환 콘크리트의 경우가 FA 20% 치환 하였을때보다 슬럼프 감소율이 크게 나타났다.

2) FA 치환 콘크리트의 공기량은 OPC에 비해 크게 감소하는 경향을 나타냈으나, BS와 석고가 공기량에 미치는 영향은 크지 않았다.

3) FA 10% 치환 콘크리트에 BS 및 석고를 치환한 경우는 OPC와 유사한 강도를 보였으나, FA 20% 치환 콘크리트의 가장 큰 문제점은 초기 강도 발현이 크게 저하되었다. 그러나 후기 재령으로 진행되면서 혼화제 치환 콘크리트의 강도 발현 성능은 OPC에 비하여 증가하는 경향을 나타냈다.

이상을 종합하면, FA 10% 치환콘크리트에 석고를 혼합치환함에 따라 초기강도발현 성능이 크게 향상되는 효과가 있으나, FA 20% 치환 콘크리트의 경우는 초기재령에서 OPC 정도의 강도값을 발현하기 위해서는 알칼리 자극제 사용등의 특별한 조치가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 한천구, 레미콘 품질관리(1) pp.38-39. 2008.
2. 한천구, CEMENT&CONCRETE pp.90-91.