

# 콘크리트의 초기강도 향상을 위한 고로슬래그 미분말의 사용에 관한 실험적 연구

## Improvement of Early age Concrete Strength Using Blast Furnace Slag Powder

유 장 원\* 이 주 선\* 박 병 관\* 배 장 춘\*\* 한 민 철\*\*\* 한 천 구\*\*\*\*

Yoo, Jang-Won Lee, Ju-Sun Park, Byung-Kwan Pei, Chang-Chun Han, Min-Cheol Han, Cheon-Goo

### Abstract

The purpose of the study was to examine engineering characteristics due to fine particle cement and gypsum contents to improve early strength of concrete substituted blast furnace slag powder. The results were as follows. Above all, For fluidity, generally all mixtures had lower fluidity than Plain mixture and was not satisfied target scope, but for mixture substituted the gypsum showed a little increasing trend. For air content, generally all mixtures compared to Plain mixture had decreasing tendency. However, all mixtures were satisfied target scope. For compressive strength, long-term strength was better than early strength according to ternary blast furnace slag contents was increased. For complex mixture was better than individual use of gypsum and fine particle cement.

키 워 드 : 고로슬래그 미분말, 미분시멘트, 석고, 초기강도

Keywords : Blast Furnace Slag Powder, Fine Particle Cement, Gypsum, Early Strength

## 1. 서 론

최근, 저탄소 녹색성장이라는 국가정책이 추진됨에 따라 건설업계에서도 시멘트 생산 시 배출되는 CO<sub>2</sub> 가스 발생을 저감시키려고 하는 노력이 지속되고 있는 실정이다. 즉, 환경오염 해소 및 부존자원의 고갈 문제를 해결할 수 있는 방법으로써 산업부산물인 고로슬래그 미분말, 플라이애시 등의 광물질 혼화재를 시멘트 대체재로 다량 사용하는 방안이 검토되어지고 있다.

여기서 특히, 고로슬래그 미분말은 선철제조 시 발생되는 부산물로서 콘크리트의 혼화재로 재활용을 할 경우 장기강도 향상, 수화열 감소 등의 장점을 가지고 있는 반면에 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>), 황산염(CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O), 알카리(Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O) 등의 외부 자극이 없는 조건에서는 수화반응을 개시할 수 없는 잠재수경성 물질이므로 이에 따른 응결 지연, 초기강도 저하 등의 단점이 존재한다.

그러므로, 본 연구에서는 고로슬래그 미분말을 다량 치환한 콘크리트의 초기강도 향상을 목적으로 석고와 미분시멘트의

치환에 따른 특성을 분석하므로써 고로슬래그 미분말을 다량 치환한 콘크리트의 품질 향상에 기여하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다.

즉, 배합사항으로 W/B 50 % 1수준에 대하여, 보통 포틀랜드 시멘트(이하 OPC)를 100 % 사용한 것을 Plain배합으로 하여 목표 슬럼프 180±25 mm, 목표 공기량 4.5±1.5 %를 만족하도록 배합설계 하였다. 혼화재로서 고로슬래그 미분말 3종(이하 BS) 20, 40, 60 %를 치환한 배합(이하 기준배합)에 대하여, 초기강도 향상 혼합재료로서 석고 1 %, 미분시멘트(이하 FC) 30 %를 각각 치환한 단독배합과 FC 30 % + 석고 1 %를 동시에 치환한 배합으로 하여 총 13배치를 실험계획 하였다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프 및 공기량을 측정하고, 경화 콘크리트에서는 계획된 재령에서 압축강도를 측정하는 것으로 하였다.

\* 청주대학교 건축공학과 석사과정

\*\* 청주대학교 건축공학과 박사과정

\*\*\* 청주대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

\*\*\*\* 청주대학교 건축공학과 교수, 공학박사

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준	
배합 사항	W/B(%)	1	50
	목표슬럼프 (mm)	1	180±25
	목표공기량 (%)	1	4.5±1.5
	혼화재 치환율 (%)	3	BS : 20, 40, 60
	품질향상 혼합 재료 및 치환율 (%)	4	· 무혼입 · 석고 1 % · 미분시멘트 30 % · 미분시멘트 30 % + 석고 1 %
실험 사항	굳지않은 콘크리트	2	· 슬럼프 · 공기량
	경화 콘크리트	1	· 압축강도 (1, 3, 7, 28일)

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 재료로써 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트(분말도 : 3 156 cm<sup>2</sup>/g, 밀도 : 3.15 g/cm<sup>3</sup>)를 사용하였고, 골재로써 잔골재(조립률 : 2.9, 밀도 : 2.58 g/cm<sup>3</sup>)와 굵은 골재(조립률 : 7.0, 밀도 : 2.62 g/cm<sup>3</sup>)는 각각 충북 음성산 및 옥산산을 사용하였다. 혼화제로써 고로슬래그 미분말 3종(분말도 : 4 184 cm<sup>2</sup>/g, 밀도 : 2.90 g/cm<sup>3</sup>)은 국내 K사산을 사용하였고, 품질향상용 미분시멘트(분말도 : 4 800 cm<sup>2</sup>/g, 밀도 : 3.15 g/cm<sup>3</sup>)는 국내 A사산을 사용하였으며, 이수석고는 국내 S사산을 사용하였다. 또한, 혼화제로써 AE제는 국내산 E사산 음이온계, 고성능AE감수제는 국내 E사산 나프탈렌계를 사용하였다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 제조는 트윈샤프트믹서를 사용하여 혼합하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 공기량은 KS F 2421에 의거 실시하였으며, 경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2405의 규정에 의거 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

그림 1은 BS 치환율 변화에 따른 혼합재료 종류 별 슬럼프를 나타낸 그래프이다.

먼저, OPC배합의 경우는 178 mm로 목표 슬럼프인 180±25 mm를 만족하였고, 품질향상 혼합재료를 치환하지

않은 기준배합의 경우 BS 치환율이 증가함에 따라 슬럼프는 OPC배합의 약 38~49 % 범위로 저하하여 목표 범위를 만족하지 않는 것으로 나타났는데, 이는 통상적으로 BS를 치환하면 분말도 및 치환율이 증가할수록 유동성이 증진된다는 보고와 달리 본 실험에서 사용한 BS 3종의 경우는 분말도가 OPC와 유사하고, 각이 지고 거친 입형 등의 영향으로 유동성이 저하한 것으로 판단된다. 또한, 석고를 치환한 경우 OPC배합에 비해 저하하였으나 기준배합에 비해서는 증가하는 경향을 보였으며, BS 치환율이 증가함에 따라 BS 20 %를 치환한 배합을 제외하고 각각 27 %, 54 % 증가하였다. 이는 석고로부터 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>이온이 용출되어 시멘트 입자에 흡착됨으로써 결과적으로 고성능감수제가 시멘트 입자의 분산을 도와 시멘트 응집을 막음으로써 유동성이 증진된 것으로 판단된다. 한편, FC를 치환한 경우는 분말도가 증가됨에 따라 점성이 커져 유동성이 저하하는 경향을 나타냈으며, 석고와 FC를 조합 사용한 경우 역시 FC를 단독 치환한 경우보다는 유동성이 증가하였으나 큰 차이는 보이지 않았다.

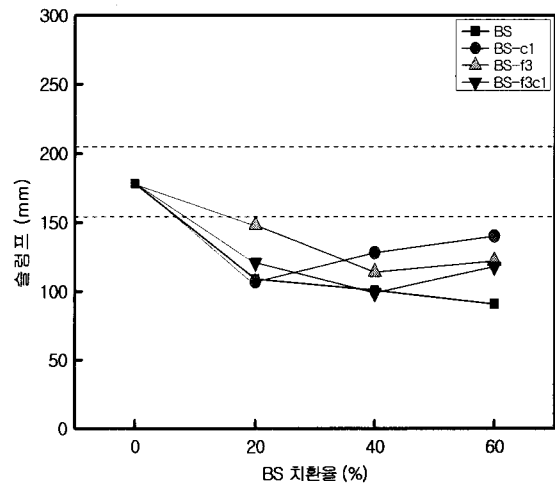


그림 1. BS 치환율 변화에 따른 혼합재료 종류 별 슬럼프

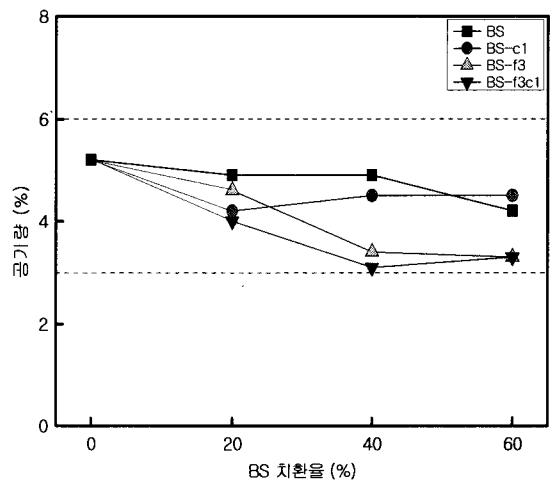


그림 2. BS 치환율 변화에 따른 혼합재료 종류 별 공기량

그림 2는 BS 치환율에 따른 혼합재료 종류 별 공기량을 나타낸 그래프이다.

먼저, OPC배합은 배합설계에 의해 목표 공기량을 만족하는 것으로 나타났고, 품질향상 혼합재료를 치환하지 않은 기준배합의 경우는 BS 치환율이 증가함에 따라 OPC배합에 비해 약 5~20 % 정도 저하하는 경향을 나타냈지만 역시 목표 범위를 만족하는 것으로 나타났다. 품질향상 혼합재료 치환에 따라서는 먼저, 석고를 단독 치환한 경우 역시 OPC배합에 비해 약 13~20 % 범위로 저하했지만 큰 차이가 아닌 것으로 사료되고, FC를 단독 치환한 경우와 FC와 석고를 조합 치환한 경우는 Plain에 비해 약 11~40 % 범위로 공기량이 저하하는 것으로 나타났는데, 이는 분말도가 높은 FC를 치환함으로써 입자의 공극 충전 효과에 기인한 것으로 사료된다.

### 3.2 경화 콘크리트의 특성

그림 3~4는 재령 별 BS 치환율에 따른 각 혼합재료의 압축강도 및 강도발현율을 나타낸 그래프이다.

먼저, 초기재령 1일 및 3일에서 OPC배합의 경우 압축강도가 각각 9.9 MPa, 21.7 MPa로 나타났고, BS를 치환한 기준배합의 경우 BS 치환율 증가에 따라서 강도가 급격히 저하하여 OPC배합의 15~96 % 전후로 나타났다. 이는 BS 치환율이 증가한만큼 시멘트 사용량의 감소로 수화반응이 진행되지 못함에 따라 강도발현이 되지 않은 것으로 사료된다. 또한, 품질향상 혼합재료의 치환에 따라서는 석고 1 %를 치환한 배합의 경우 기준배합에 비해 4~53 % 전후로 증진되는 것으로 나타났고, FC 30 % 치환한 배합의 경우는 BS 치환율 20 %에서 OPC와 거의 유사한 강도로 발현한 반면에 그 이상의 치환율에서는 OPC배합에 비해 약 28~77 %의 강도발현율을 나타내었으며, 기준배합에 비해 약 16~81 % 정도의 강도증진을 나타내었다.

한편, FC와 석고를 조합 치환한 경우 품질향상 혼합재료를 사용하지 않은 기준배합에 비해 초기재령 1일에서 약 88~141 %, 재령 3일에서 11~38 % 정도 높게 발현되는 것으로 나타나 단독 치환의 경우보다 조합 치환의 경우가 초기강도발현이 우수한 것으로 판단된다. 이는 고분말도 미분시멘트의 비표면적 증가로 인해 수화반응이 활발해지고 동시에 석고가 고로슬래그 미분말 입자에 형성된 불용성 피막을 파괴함으로써 생성된 C-S-H계 수화물이 강도증진에 기여한 것으로 사료된다. 후기재령인 28일 압축강도는 OPC배합의 경우 약 36.0 MPa로 나타났고, 기준배합의 경우 BS 치환율변화에 따라 OPC배합보다 약 5~15 % 강도가 높게 나타났다. 또한, 품질향상 혼합재료의 치환에 따른 압축강도는 FC와 석고를 조합 치환한 경우 OPC의 13~18 %의 수준으로 가장 우수한 경향을 나타내었고, 그 다음으로 FC의 단독치환, 석고의 단독치환

순으로 OPC와 유사하거나 약간 높게 나타났다.

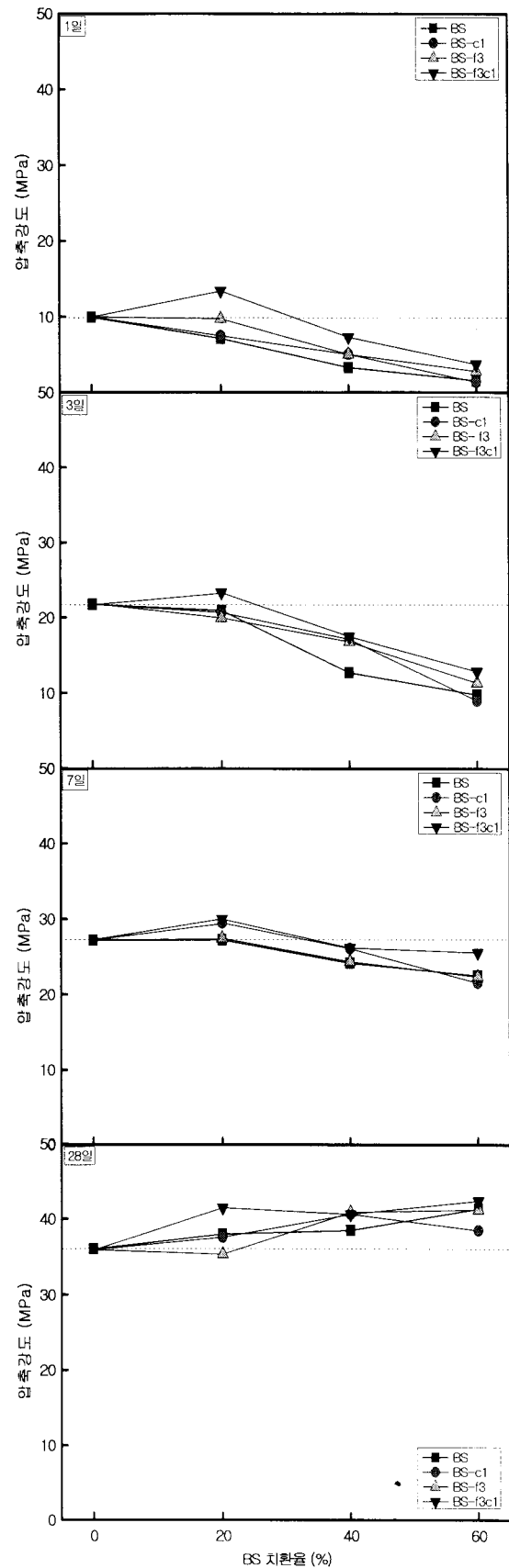


그림 3. BS 치환율 별 재령 경과에 따른 혼합재료의 압축강도

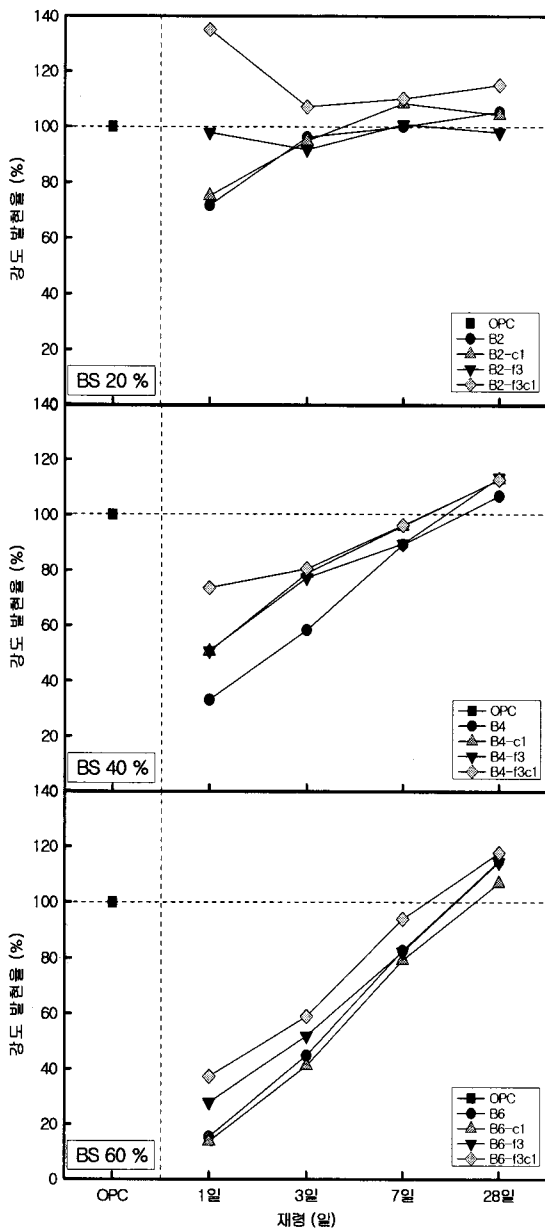


그림 4. BS 치환율 별 재령 경과에 따른 혼합재료의 강도발현율

#### 4. 결 론

본 연구에서는 고로슬래그 미분말을 치환한 콘크리트의 초기강도 향상을 목적으로 미분시멘트와 석고의 치환율 변화에 따른 제반 특성을 검토한 것으로, 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 굳지않은 콘크리트의 특성으로, 유동성은 모든 배합에서 BS의 치환율이 증가할수록 전반적으로 Plain배합에 비해 저하하는 경향을 보여 목표 슬럼프를 만족하지 못하였으나 단, 석고를 치환한 배합의 경우 약간의 증가 경

향을 보였다.

- 2) 공기량은 전반적으로 모든 배합에서 Plain에 비해 저하하는 경향이었지만 목표 범위를 만족하는 것으로 나타났다.
- 3) 경화 콘크리트의 특성으로, 압축강도는 BS 치환율이 증가할수록 초기강도발현은 저조한 것으로 나타났고, 장기강도 발현 성능은 우수한 것으로 나타났다. 또한, 품질향상 혼합재료로서 석고와 FC를 단독 치환하였을 경우 강도발현이 소폭 상승하였으며, 이들을 조합 사용한 경우는 단독 치환한 경우보다 효과가 더욱 우수한 것으로 나타났다.

#### 참 고 문 헌

1. 김기형, 최재진; 광물질 혼화재 및 석고를 사용한 고강도 콘크리트의 슬럼프 손실, 한국산업안전학회지, 제12권 제1호, 1997. 3
2. 김무한, 김규용, 조봉석, 나철성, 김영덕; 고로슬래그미분말을 대량 활용한 콘크리트의 공학적 특성 및 내구특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집(구조계), 제23권 제3호, 2007. 3
3. 박응모, 문경주, 소양섭; 무기계 자극제의 첨가가 고로슬래그 시멘트의 압축강도 및 세공구조에 미치는 영향, 대한건축학회 논문집(구조계), 제17권 제9호, 2001. 9
4. 한천구, 황인성, 이승훈, 김규동; 콘크리트의 초기 강도발현에 미치는 혼화재료의 영향, 대한건축학회 논문집(구조계), 제19권 제9호, pp. 95~102, 2003. 9
5. 한천구; 레미콘 품질관리(I),(II), 기문당, 2002