

# KOH에 의한 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 초기강도 향상

## Improvement in Early Strength of Concrete Using Blast Furnace Slag by KOH

이 주 선\*    송 일 범\*    박 병 관\*    백 대 현\*\*    배 장 춘\*\*    한 천 구\*\*\*

Lee, Ju-Sun    Song, Ri-Fan    Park, Byoung Kwan    Back, Dae-Hyun    Pei, Chang-Chun    Han, Cheon-Goo

### Abstract

This study reviewed the characteristics of concrete made of performance improving mixture materials based on KOH as a means to resolve the problems of initial quality reduction that result in concretes with blast furnace slag powder. Summarizing the results, first as the characteristics of fresh concrete, liquidity was found to reduce in general with increased BS substitution ratio. Objective range of liquidity was not satisfied in all mixes according to the use of performance improving mixture materials. Air capacity was satisfied to the objective range in all mixes. As the characteristics of hardened concrete, while compressive strength showed a decreasing trend with increasing BS substitution ratio at early age, increasing trend was shown by the plain with increasing BS substitution ratio at later age. On the other hand, K1 and K2 were only effective among mixture materials at early age, but K1F30 showed excellent strength at both early and later ages.

키 워 드 : KOH, 고로슬래그 미분말, 미분시멘트, 압축강도

Keywords : Caustic Potash, Blast Furnace Slag, Fine Particle Cement, Compressive Strength

## 1. 서 론

최근 콘크리트 산업에서는 환경오염 문제, 고갈자원의 대체 활용 등을 목적으로 화력발전소 및 제철소에서 발생되는 플라 이애시 및 고로슬래그 미분말 등 각종 혼화제를 시멘트 대체 제로 다량 활용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다.

그런데, 이러한 혼화제를 다량 사용할 경우는 수화열 저감, 장기강도 증진 등의 장점이 있는 반면에, 초기강도 저하, 응결 지연 등의 문제점도 발생하여, 현재 다량 사용에는 한계가 있는 실정이다.

이에, 선행연구로서 본 연구팀에서는 이러한 혼화제를 다량 사용한 콘크리트의 초기품질 향상을 위하여 화학적인 방법과 물리적인 방법으로부터 접근하여 실험 및 분석한 결과, KOH 및 미분시멘트(이하 FC)를 사용한 경우 초기 품질향상에 어느 정도 효과가 있는 것을 확인 할 수 있었다.

따라서 본 연구에서는 선행연구에서의 결과를 토대로 고로 슬래그 미분말(이하 BS)을 사용한 콘크리트의 초기강도향상을 목적으로 성능향상 혼합재료 KOH를 중심으로 FC도 복합 치 환하여 그 특성을 검토함으로써 BS를 다량 사용한 콘크리트의 초기품질 향상에 기여하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다.

즉, 배합사항으로 W/B는 50 % 1수준에 대하여, 보통 포틀 렌트 시멘트(이하 OPC)를 100 % 사용한 것을 Plain 배합으 로 배합설계 한 다음, 실험변수로서 BS 치환율은 20, 40, 60 % 3수준, 성능향상 혼합재료는 KOH 1 mol, KOH 2 mol, KOH 1 mol+FC 30 %의 3수준으로 변화시켜 총 10배치를 실험계획 하였다. 이때, Plain 배합의 경우 목표 슬럼프는 180±25 mm, 목표 공기량은 4.5±1.5 %를 만족하도록 배합 설계 한 후 실험변수 별 동일한 배합조건을 적용하였다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 슬럼프 플 로우, 공기량 및 단위용적질량을, 경화 콘크리트에서는 계획된 재령에서 압축강도를 측정하는 것으로 하였다.

### 2.2 사용재료

본 실험에 사용한 재료로서 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트(분말도 : 3 156 cm<sup>2</sup>/g, 밀도 : 3.15 g/cm<sup>3</sup>)를 골재로서 잔골재(조립률 : 2.9, 밀도 : 2.58 g/cm<sup>3</sup>)와 굵은골재(조립률 : 7.0, 밀도 : 2.62 g/cm<sup>3</sup>)는 각각 충북 음성산 및 옥산산을 사 용하였다. 혼화제로서 고로슬래그 미분말(분말도 : 4 184 cm<sup>2</sup>/g,

\* 청주대학교 건축공학과 석사과정, 정희원

\*\* 청주대학교 건축공학과 박사과정, 정희원

\*\*\* 청주대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 정희원

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준	
배합 사항	W/B(%)	1	50
	목표 슬럼프(mm)	1	180±25
	목표 공기량(%)	1	4.5±1.5
	혼화재 치환율(%)	4	· BS : 0(Plain) <sup>1)</sup> , 20, 40, 60
	성능향상 혼합재료 종류 및 치환율(%)	3	· KOH 1 mol · KOH 2 mol · KOH 1 mol + FC 30 %
실험 사항	굳지않은 콘크리트	4	· 슬럼프 · 슬럼프 플로우 · 공기량 · 단위용적질량
	경화 콘크리트	1	· 압축강도(1, 3, 7, 28일)

1) Plain은 성능향상 혼합재료를 치환하지 않는 것으로 함.

밀도 : 2.90 g/cm<sup>3</sup>)은 국내 K사산을 사용하였고, 성능향상 혼합재료로서 KOH는 순도 85 %의 국내 S사산을 사용하였으며, 미분시멘트(분말도 : 4 800 cm<sup>2</sup>/g, 밀도 : 3.15 g/cm<sup>3</sup>)는 국내 A사산을 사용하였다. 또한, 혼화제로써 고성능감수제는 국내 E사산 나프탈렌계, AE제는 국내산 E사산 음이온계를 사용하였다.

### 2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트는 수평 2축형 강제식 믹서를 사용하여 표준적인 방법으로 실시하였다.

굳지않은 콘크리트의 특성 실험으로, 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프 플로우는 KS F 2594, 공기량은 KS F 2421, 단위용적질량은 KS F 2409의 규정에 의거 실시하였다. 경화 콘크리트의 실험으로, 압축강도는  $\phi$  100 × 200 mm 공시체를 제작하여 KS F 2405의 규정에 의거 실시하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 굳지않은 콘크리트

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

먼저, Plain의 경우 배합설계에 의해 목표 슬럼프를 만족하는 것으로 나타났고, 전반적으로, BS 치환율이 증가할수록 유동성은 저하하는 것으로 나타났다. 즉, BS 치환율에 따라 91~109 mm로 Plain 배합에 비해 약 38~48 %까지 저하하는 경향을 나타내었는데, 이는, 기존의 BS 유동성에 대하여 알려진 "BS의 입자표면이 시멘트 입자 표면에 비해 치밀하고 매끈하므로써 페이스트와 골재 계면의 마찰이 작아짐에 기인한다."<sup>1)</sup>는 것에 적대되는 것으로 본 실험에 사용된 BS는 분쇄

하는 과정에서 시멘트에 비하여 상대적으로 입자 표면이 각이 지고 거칠어 BS 치환율이 증가할수록 유동성이 저하한 것으로 사료된다. 또한, 성능향상 혼합재료에 따라서는 전반적으로 유사한 경향을 나타내었는데, 즉, K1 및 K2의 경우 Plain 배합에 비해 유동성이 약 66.3~87.1 %까지 저하하였다. 이는, KOH를 치환함으로써 콘크리트내 OH<sup>-</sup> 이온이 BS 입자의 불투수성 껍박막을 깨트림에 기인하여 수화반응이 시작됨에 따라 유동성이 저하한 것으로 분석된다. 한편, K1F30의 경우는 BS만을 단독으로 사용한 경우에 비해 유동성이 약 34~62 %까지 저하하는 것으로 나타났다.

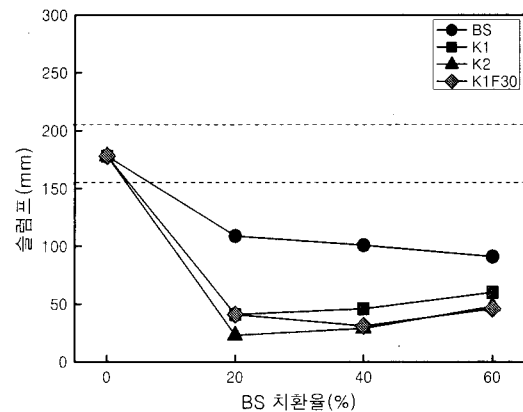


그림 1. BS 치환율 변화에 따른 슬럼프

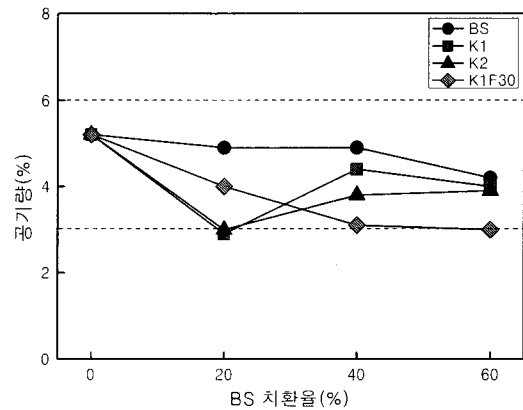


그림 2. BS 치환율 변화에 따른 공기량

그림 2는 성능향상 혼합재료 별 BS 치환율 변화에 따른 공기량을 나타낸 그래프이다.

전반적으로, 모든 배합에서 목표 공기량 4.5±1.5 %를 만족하는 것으로 나타났다. 즉, Plain의 경우 배합설계에 의하였으므로 목표 공기량을 만족하였고, BS 치환율에 따라서는 Plain에 비해 약 19 %까지 공기량이 저하하였으나, 모두 목표 범위를 만족하였다. 성능향상 혼합재료에 따라서는 BS 20 %에 KOH를 사용한 배합을 제외하면, BS 치환율이 증가하는

배합의 경향과 유사하게 공기량이 감소함을 나타내었는데, 즉, KOH 1 mol을 사용한 경우 약 4%로 Plain에 비해 여타의 배합 중 가장 작은 공기량 감소를 나타내었으며, 그 다음으로 K2, K1F30 순이었다.

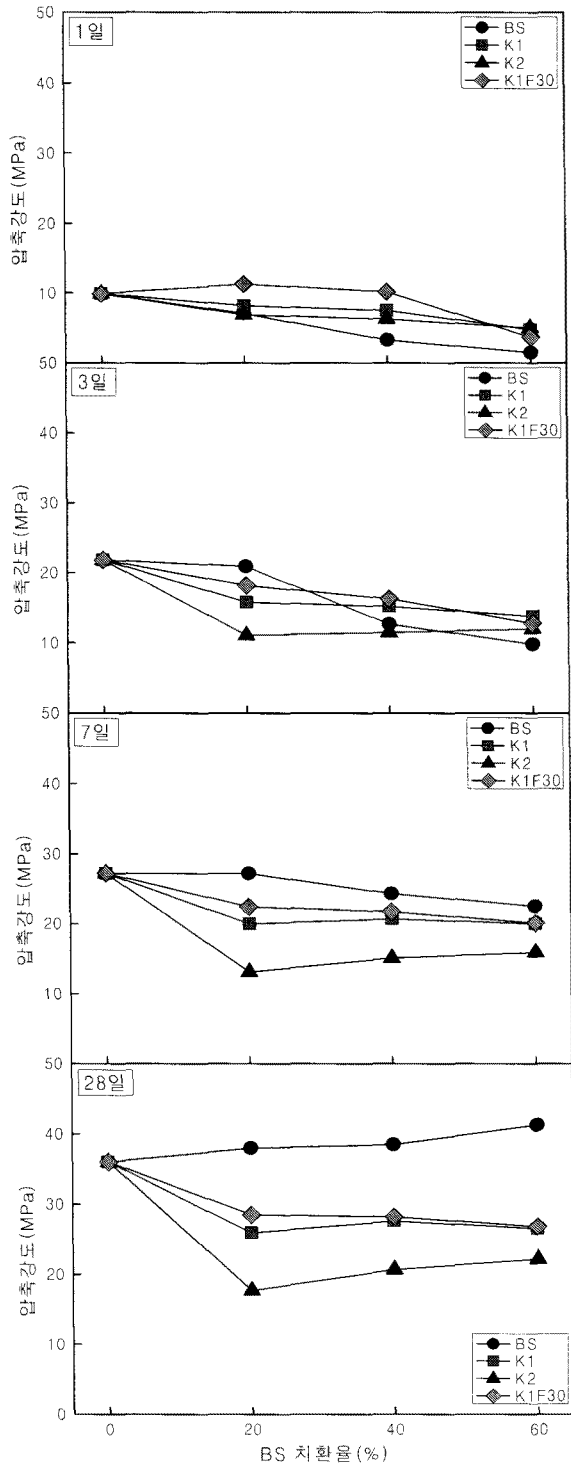


그림 3. BS 치환율 변화에 따른 압축강도

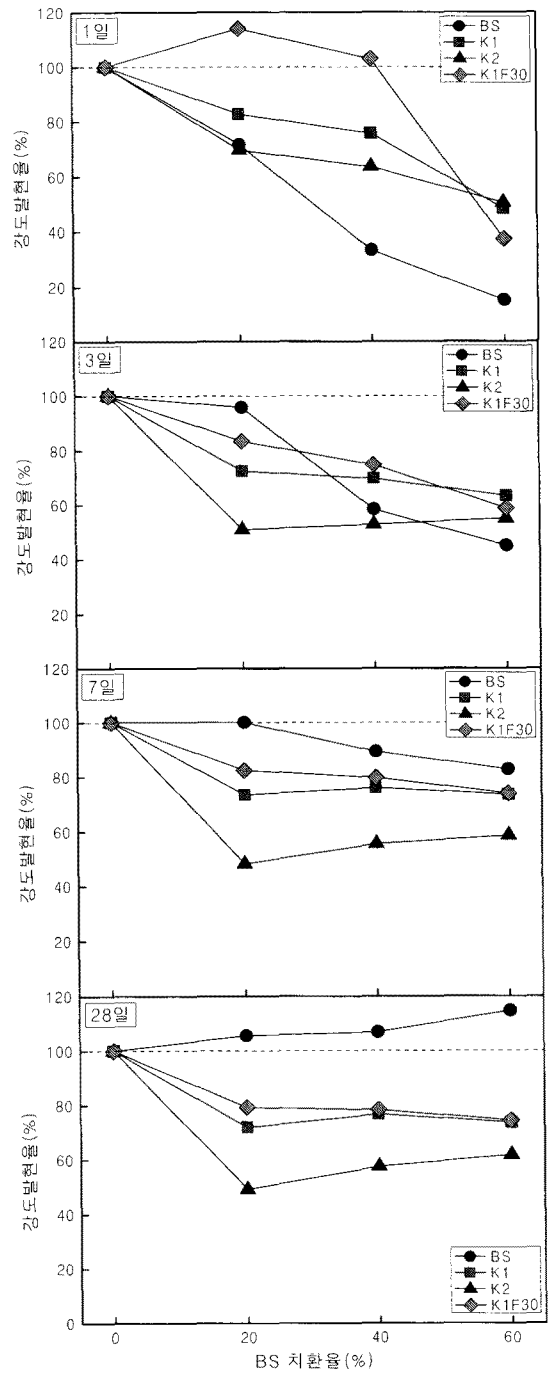


그림 4. BS 치환율 변화에 따른 강도발현율

그림 3 및 4는 성능향상 혼합재료 별 BS 치환율 변화에 따른 압축강도 및 강도발현율을 재령에 따라 나타낸 것이다.

먼저, 재령 1일에서 Plain의 강도는 약 9.9 MPa로 나타났고, BS 치환율의 증가에 따라서는 Plain의 약 28.3~84.8% 까지 저하하는 경향을 나타내었는데, 이는, BS 입자가 물과 접촉하여 형성된 ASH6의 불투수성 피막이 물의 침투와 입자 내부의 이온용출을 억제하여 수화반응을 지연시킨 것으로 분석된다.<sup>21)</sup> 한편, 성능향상 혼합재료의 종류에 따라서 K1F30의 경우는 여타의 성능향상 혼합재료의 배합 중 가장 우수한 강

도를 나타내었는데, 즉, BS 치환율 20, 40 %에서는 Plain 배합에 비해 각각 103 %, 114.1 %의 수준의 우수한 강도 발현을 나타내었다. 반면, BS 60 %를 치환한 경우는 37.4 %로 강도 발현율이 저하였으나, BS를 단독으로 치환한 경우에 비해 각각의 배합에 대해서 약 159.2~246.6 %의 강도를 나타내어 초기강도 향상에 우수한 효과가 있는 것으로 나타났다. 이는, KOH 및 FC가 복합하여 치환됨에 따라 강알칼리의 KOH에 의한 BS 입자 표면의 불투수성 젤막막을 파괴함으로써 수화반응을 촉진시키고 동시에 FC의 고분말도 입자로 인해 혼합수와의 접촉면적이 증가하여 수화가 촉진되는 복합작용에 기인한 결과로 사료된다. 또한, K1 및 K2의 경우에는 BS 치환율에 따라서 Plain에 비해 약 48.5~82.8 %의 강도 발현율을 나타내어, 전반적으로 모든 성능향상 혼합재료를 치환한 배합에서 BS만을 단독 사용한 경우보다 강도 증진효과가 있는 것으로 나타났다.

또한, 재령이 경과함에 따라 BS를 단독으로 치환한 경우 강도가 지속적으로 증가하는 경향을 나타내었지만, 성능향상 혼합재료 종류의 경우는 후기재령에서 강도증진 효과가 크게 저하하는 것으로 나타났다. 즉, 재령 28일에서는 Plain의 경우 약 36 MPa로 나타났으며, BS에 따라서는 치환율이 증가할수록 Plain에 비해 강도가 약 105.6~114.7 %까지 증가하는 경향을 나타내었다. 이는, BS 입자의 잠재수경성 반응에 의하여 초기에 수화되지 못한 입자들이 OH<sup>-</sup> 이온에 의하여 젤막막을 파괴하고 수화반응을 일으킨 것에 기인한 것으로 분석된다. 또한, 성능향상 혼합재료에 따라서 K1 및 K1F30의 경우는 초기에 활발한 수화반응으로 인하여 초기강도는 우수하였으나, 재령이 경과함에 따라서 방수피막효과 혹은 콘크리트내 알칼리양이 부족해져 지속적인 강도 발현이 지연된 것으로 사료된다. 한편, K2의 경우는 K1에 비해 상대적으로 많은 양의 KOH를 부여하였음에도 불구하고 Plain의 약 49.2~61.7 %, BS 치환율에 따라서 약 46.2~53.4 %로 강도 증진 효과가 없는 것으로 나타나, 경제적인 측면과 시공적인 측면에서 모두 적절하지 못한 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

본 연구는 고로슬래그 미분말을 치환한 콘크리트에서 발생하는 초기품질저하의 문제점을 해결하기 위한 방법으로 성능향상 혼합재료를 이용하여 고로슬래그 미분말을 다량 사용한 콘크리트의 특성을 검토하였는데, 그 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 굳지않은 콘크리트의 특성으로 유동성은 BS 치환율이 증가할수록 저하하는 것으로 나타났고, 성능향상 혼합재

료에 따라서도 모든 배합에서 유동성이 저하하여 목표 범위를 만족하지 못하였다.

- 2) 공기량은 모든 배합에서 목표 공기량  $4.5 \pm 1.5$  %를 만족하는 것으로 나타났으나, BS 및 성능향상 혼합재료에 따라서는 Plain보다 저하하는 경향이였다.
- 3) 경화 콘크리트의 특성으로 압축강도는 초기재령에서 BS 치환율이 증가할수록 저하하는 경향을 나타내었지만, 재령 28일에서는 BS 치환율이 증가할수록 Plain에 비해 증가하는 경향을 나타내었다. 단, 성능향상 혼합재료의 경우는 초기에서만 효과적이었는데, K1F30의 경우가 여타의 성능향상 혼합재료의 배합 중 가장 우수한 강도를 나타내었다.

이상을 종합하면, 고로슬래그 미분말을 다량 사용한 콘크리트의 초기 품질향상에는 KOH 1 mol과 FC 30 %를 복합 치환하여 사용한 경우가 우수하였으나, 장기재령에서는 Plain 및 BS를 치환한 배합보다 큰 강도 증진효과를 보이지 않아 추가적인 심도있는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. 김종, 송승현, 전충근, 신동안, 한민철, 한천구, 혼화재 종류 및 치환율 변화에 따른 콘크리트의 응결 및 강도발현특성, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제24권 제2호, pp. 499~502, 2004. 10
2. 이상수, 송하영, 고로슬래그 미분말을 사용한 고성능 콘크리트의 역학특성 및 내구특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집 구조계, 제23권 제11호, pp. 119~126, 2007. 11