

고로슬래그미분말의 분말도 및 대체율에 따른 콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Engineering Properties of Concrete According to the Fineness and Replacement Ratio of Blast-Furnace Slag

○ 나 철 성*	이 동 혁*	김 재 환**
Na, Chul-Sung	Lee, Dong-Heck	Kim, Jae-Hwan
김 원 기***	백 용 관***	김 무 한****
Kim, Won-Kee	Baik, Yong-Kwan	Kim, Moo-Han

Abstract

Properties examination of concrete using blast-furnace slag instead of cement is necessary, so it is planned that basic data for utilization and performance management of blast-furnace slag by means of cement replacement is presented with experimental comparison and investigation of engineering properties of concrete according to the replacement ratio and fineness of blast-furnace slag.

1. 서 론

최근 기존 콘크리트구조물의 품질 및 성능저하와 더불어 주상복합 등과 같은 대형 건설구조물의 수요가 증가하고 있어 주요 건설재료인 콘크리트의 품질, 제조 및 시공기술 등에 관한 고품질화가 요구되고 있으며, 천연자원의 고갈 및 각종 환경규제의 강화에 의해 레미콘업계는 경제성 측면에서 심각한 어려움을 겪고 있는 실정으로, 이에 대한 해결책으로서 콘크리트의 품질 및 성능을 개선시키면서 동시에 경제성 문제를 해결할 수 있는 고로슬래그미분말을 콘크리트용 혼화재로의 활용을 도모하고 있으며, 이러한 배경에서 KS F 4009 「레디믹스트 콘크리트」가 개정·고시되었다.

그러나 고로슬래그미분말을 시멘트 대체제로 활용할 경우 초기강도발현 수준이 낮아 거푸집 제거시기가 늦어질 수 있으며, 동절기에는 강도발현이 지연되고 양생 불충분시 균열발생과 동해가 우려되고, 중성화가 촉진되는 등 콘크리트 품질저하와 현장품질관리가 곤란하다는 문제점이 제기되고 있어, 고로슬래그미분말을 시멘트 대체제로 활용한 콘크리트의 특성에 관한 검토가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 고로슬래그미분말의 분말도 및 대체율에 따른 콘크리트의 공학적 특성을 실험·실증적으로 비교·검토함으로써 콘크리트용 혼화재로서 고로슬래그미분말의 활용 및 품질관리를 위한 기초자료를 제시하는데 본 연구의 목적이 있다.

* 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과, 석사과정

** 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과, 박사과정

*** 정회원, 기초소재(주)기술연구소, 공학박사

**** 정회원, 한국원자력안전기술원, 공학박사

***** 정회원, 충남대학교 건축공학과, 교수공박

표 1. 실험계획 및 배합

물결합재비 (%)	고로슬래그미분말 분말도 (cm ² /g)	고로슬래그미분말 대체율 (%)	잔골재율 (%)	단위수량 (kg/m ³)	단위중량 (kg/m ³)					측정 및 평가항목		
					시멘트	고로슬래그미분말	잔골재	굵은골재	고성능감수제	AE제	굳지않은 콘크리트	경화 콘크리트
45	4,000급	0	47	168	373	0	817	957	*1)	*2)	<ul style="list-style-type: none"> • 공기량 (%) • 단위용적중량 (kg/l) (비빔직후, 60분) • 슬럼프 (cm) • 슬럼프-플로우 (cm) (비빔직후, 40, 60분) • 응결시험 (h : m) 	<ul style="list-style-type: none"> • 압축강도 (MPa) • 인장강도 (MPa) (재령 3, 7, 28, 56 및 91일)
		25			280	93	814	953				
	50	187			187	811	950					
	75	93			280	808	946					

주 1) 고성능감수제 첨가량 : 목표 슬럼프(23±2cm)를 만족시키기 위한 소정의 첨가량

2) AE제 첨가량 : 목표 공기량 (4.5±1.5%)을 만족시키기 위한 소정의 첨가량

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획 및 콘크리트 배합

본 연구의 실험계획 및 콘크리트 배합은 표 1에서 보는 바와 같이 레미콘산업에서 활용되는 배합을 수집·분석하여 물결합재비를 45%, 잔골재율을 47%, 단위수량을 168kg/m³로 설정하였으며, 고로슬래그미분말의 분말도를 4,000 및 6,000cm²/g급의 2수준, 결합재 중량에 대한 고로슬래그미분말의 대체율을 0, 25, 50 및 75%의 4수준으로 설정하여 콘크리트의 공학적 특성을 비교·검토하였다.

2.2 사용재료 및 비빔방법

본 연구에 사용한 재료의 물리적 성질은 표 2에 나타낸 바와 같으며, 콘크리트의 비빔은 시멘트, 고로슬래그미분말, 잔골재를 먼저 건비빔한 후, 물, 고성능감수제와 AE제 및 굵은골재를 투입하는 분할투입방식을 사용하였으며, 총 90초가 소요되었다.

표 2. 사용재료의 물리적 성질

구분		사 용 재 료
결합재	시멘트	1종 보통포틀랜드 시멘트 (비중 : 3.15, 분말도 : 3,630cm ² /g)
	혼화재	고로슬래그미분말 (비중 : 2.99, 분말도 : 4,379cm ² /g, 비중 : 2.99, 분말도 : 5,921cm ² /g)
골재	잔골재	제염사, (최대치수 : 5mm, 비중 : 2.58, 조립율 : 2.41)
	굵은골재	부순자갈, (최대치수 : 25mm, 비중 : 2.68, 조립율 : 6.94)
혼화제		나프탈렌계 고성능감수제

3. 실험결과 및 고찰

3.1 굳지 않은 콘크리트의 성상 검토 및 분석

3.1.1 공기량 및 단위용적중량의 변화

표3은 경과시간에 따른 공기량 및 단위용적중량의 변화를 나타낸 것으로 비빔직후에 있어서는 고로슬래그미분말 분말도에 관계없이 대체적으로 유사한 수준으로 나타났으며, 대체율이 증가함에 따라 공기량은 저하하는 것으로 나타났다. 한편, 단위용적중량은 분말도 및 대체율이 증가함에 따라 전반적으로 증가하는 것으로 나타났다. 또한

표 3. 경과시간에 따른 공기량 및 단위용적중량의 변화

고로슬래그미분말 대체율 (%)	공기량 (%)				단위용적중량 (kg/ℓ)			
	비빔직후		경시 60분		비빔직후		경시 60분	
	4000급	6000급	4000급	6000급	4000급	6000급	4000급	6000급
0	6.0	6.0	5.4	5.4	2.24	2.24	2.29	2.29
25	5.8	5.5	4.3	4.4	2.20	2.30	2.28	2.35
50	5.8	6.0	4.5	4.7	2.23	2.21	2.28	2.24
75	5.7	6.0	5.2	4.5	2.24	2.28	2.30	2.30

과시간에 따른 공기량 및 단위용적중량의 변화에 있어서도 비빔직후와 비교하여 공기량의 경우 약 0.6~1.5% 정도 감소하고, 단위용적중량의 경우 0.02~0.08kg/l 정도 증가하는 것으로 나타났다.

3.1.2 슬럼프의 변화

그림 1은 고로슬래그미분말 분말도 및 대체율에 따른 슬럼프와 목표 슬럼프를 만족시키기 위한 고성능감수제 첨가율의 변화를 나타낸 것으로, 고로슬래그미분말 분말도 및 대체율이 증가함에 따라 슬럼프는 유사하거나 다소 증가한 반면, 고성능감수제 첨가율은 유사하거나 다소 저하하는 것으로 나타나 고로슬래그미분말의 분말도 및 대체율이 증가함에 따라 목표슬럼프를 만족시키기 위한 단위수량의 저감효과가 있는 것으로 사료된다.

그림 2는 경과시간에 따른 고로슬래그미분말 분말도 및 대체율별 슬럼프의 변화를 나타낸 것으로, 고로슬래그미분말 대체율이 증가할수록, 분말도가 낮을수록 경과시간에 따른 슬럼프-로스(Slump Loss)가 다소 적게 나타났다.

3.1.3 경과시간에 따른 관입저항치의 변화

그림 3은 고로슬래그미분말 분말도 및 대체율별 경과시간에 따른 관입저항치의 변화를 나타낸 것으로 초결 도달시간의 경우 고로슬래그미분말의 분말도가 낮을수록, 대체율이 증가할수록 응결시간이 지연되는 것으로 나타났다.

3.2 경화콘크리트의 성상 검토 및 분석

그림 4는 고로슬래그미분말 분말도 및 대체율별 재령에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 것으로, 고로슬래그미분말 분말도가 클수록 모든 재령에서 다소 높은 압축강도를 발현하는 것으로 나타났으며, 고로슬래그미분말 분말도 4,000cm²/g급의 경우 초기재령을 제외하고 분말도에 관계없이 모든 재령에서 대체율이 증가함에 따라 다소 높게 나타났다.

그림 5는 고로슬래그미분말 재령별 대체율에 따른 고로슬래그미분말 분말도 4,000cm²/g급에 대한 6,000cm²/g급 시험체의 압축강도 발현비율을 나타낸 것으로 고로슬래그미분말 대체율에 상관없이 분말도 6,000cm²/g급 압축강도가 4,000cm²/g급보다 초기재령에서 매우 높은 수준의 압축강도를 발현하는 것으로 나타났으며, 이후 재령에서는 유사하거나 다소 높은 수준으로 나타났다.

그림 6은 고로슬래그미분말 분말도 및 대체

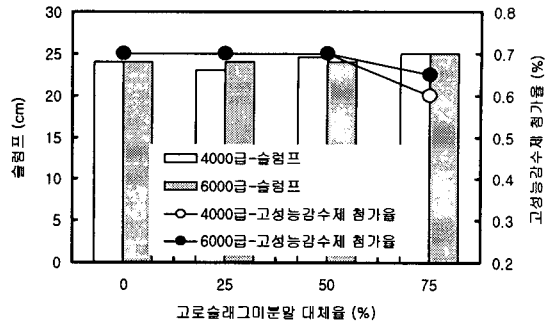


그림 1. 고로슬래그미분말 분말도 및 대체율에 따른 슬럼프와 고성능감수제 첨가율의 변화

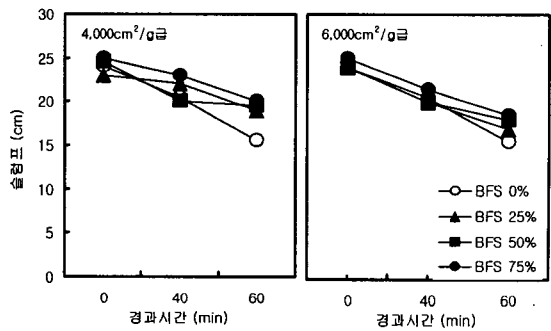


그림 2. 경과시간에 따른 슬럼프의 변화

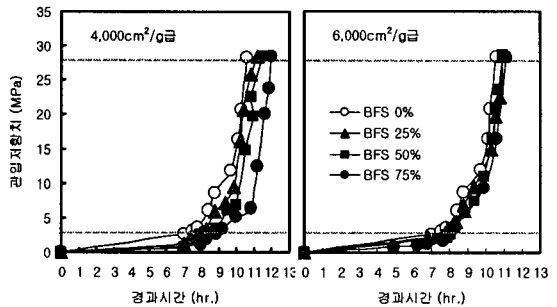


그림 3. 고로슬래그미분말 분말도 및 대체율별 경과시간에 따른 관입저항치의 변화

율별 재령에 따른 인장강도의 변화를 나타낸 것으로, 고로슬래그미분말 분말도가 클수록 다소 높은 인장강도를 발현하는 것으로 나타났으며, 고로슬래그미분말 분말도 $4,000\text{cm}^2/\text{g}$ 급 초기재령을 제외하고 분말도에 관계없이 모든 재령에서 대체율이 증가함에 따라 다소 높게 나타났다.

4. 결론

1) 고로슬래그미분말의 분말도 및 대체율이 증가함에 따라 목표슬립프를 만족시키기 위한 단위수량의 저감효과가 있는 것으로 판단된다.

2) 고로슬래그미분말을 대량 활용한 콘크리트의 경우 초결 및 종결 도달시간은 고로슬래그미분말의 분말도가 낮을수록, 대체율이 증가할수록 응결시간이 지연되는 것으로 나타났다.

3) 고로슬래그미분말 분말도가 클수록 모든 재령에서 다소 높은 압축강도를 발현하는 것으로 나타났으며, 분말도 $4,000\text{cm}^2/\text{g}$ 급의 경우 초기재령에서 Plain보다 다소 낮은 수준으로 나타났지만 이후 재령에서는 다소 높게 나타났으며 분말도 $6,000\text{cm}^2/\text{g}$ 급의 경우 모든 재령에서 대체율이 증가할수록 다소 높게 나타났다.

4) 고로슬래그미분말 대체율에 상관없이 고로슬래그미분말 분말도 $6,000\text{cm}^2/\text{g}$ 급의 압축강도는 $4,000\text{cm}^2/\text{g}$ 급보다 초기재령에서 높은 수준을 나타내고 있어 초기강도발현이 우수한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 기초소재(주) 「고로슬래그미분말을 대량 활용한 콘크리트의 시공성 및 공학적 특성에 관한 연구」에 관한 일련의 연구로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

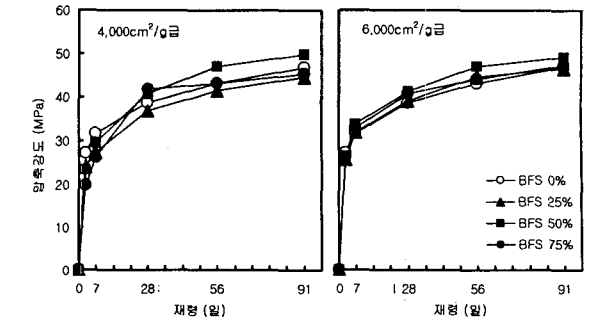


그림 4. 고로슬래그미분말 분말도 및 대체율별 재령에 따른 압축강도의 변화

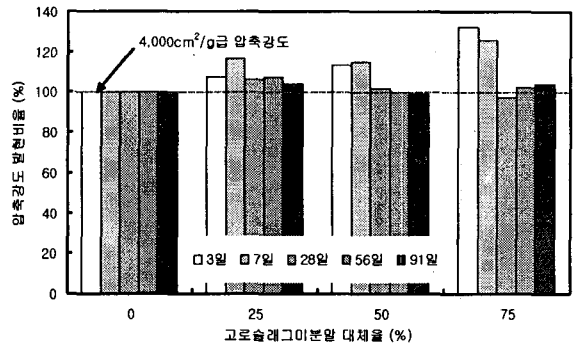


그림 5. $4,000\text{cm}^2/\text{g}$ 급에 대한 $6,000\text{cm}^2/\text{g}$ 급 시험체의 압축강도 발현비율

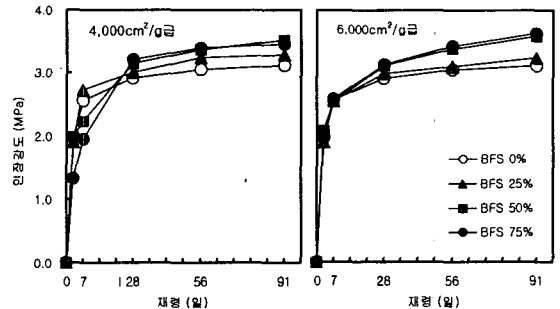


그림 6. 고로슬래그미분말 분말도 및 대체율별 재령에 따른 인장강도의 변화

참고문헌

- 김무한 외, 고로슬래그미분말을 사용한 고유동 고강도 콘크리트의 잔골재 조립율에 따른 유동특성, 대한건축학회, 2000.10. pp. 439~442
- 이상수 외, 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 특성 및 경제적인 효과에 관한 연구, 대우건설기술 제12권 제1호, 2000. 4. pp. 61~73