

# 고로슬래그미분말의 분말도 및 대체율에 따른 콘크리트의 공학적 특성 및 내구특성에 관한 실험적 연구

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

김 무 한\*

Kim, Moo-Han

김 재 환\*\*

Kim, Jae-Hwan

조 봉 석\*\*

Cho, Bong-Suk

나 철 성\*\*

Na, Chul-Sung

김 영 덕\*\*

Kim, Young-Duck

### Abstract

As a part of efforts for conformity of demand to high quality of concrete and for solution of economic problem, blast-furnace slag has been utilized by means of cement replacement. With utilization of blast-furnace slag, superior performance can be ensured, environmental pollution can be prevented and economical advantage can be obtained. But blast-furnace slag has a lot of disadvantages like retardation of strength manifestation etc. in field construction, so properties examination of concrete using blast-furnace slag instead of cement is necessary.

For upper necessity, it is planed 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.

키워드 : 고로슬래그미분말, 분말도, 대체율, 굳지않은 성상, 경화성상, 내구특성

Keywords : Blast-Furnace Slag, Fineness, Replacement Ration, Fresh State Properties, Hardened State Properties, Durability

## 1. 서 론

최근 건설구조물의 복잡화·대형화·초고층화·고기능화됨에 따라 주요 건설재료인 콘크리트의 품질, 제조 및 시공기술 등에 관한 고품질화가 요구되고 있으며, 천연자원의 고갈 및 각종 환경규제의 강화에 의해 경제적인 어려움을 겪고 있는 실정으로 레미콘업계에서는 콘크리트의 품질 및 성능을 개선시키면서 동시에 경제성 문제를 해결할 수 있도록 고로슬래그미분말을 콘크리트용 혼화재로 주로 활용하고 있다.

또한 2004년 4월 1일부터 KS F 4009 「레디믹스트 콘크리트」가 개정·고시되어 레미콘의 품질 및 성능향상을 위해 사용하는 혼화재료와 골재에 대한 재활용 재료의 사용이 확대될 뿐만 아니라 보다 높은 강도의 레미콘이 생산될 것으로 예상되고 있다.

그러나 고로슬래그미분말을 시멘트 대체재로 활용할 경우 초기강도 발현수준이 낮아 거푸집 제거시기가 늦어질 수 있으며, 동결기에는 강도발현이 지연되고 양생 불충분시 균열발생과 동해가 우려되고, 중성화가 촉진되는 등 콘크리트 품질저하와 현장품질관리가 곤란하다는 문제점이 제기되고 있어,

고로슬래그미분말을 시멘트 대체재로 활용한 콘크리트의 특성에 관한 검토가 필요하다.

한편, 고로슬래그미분말을 시멘트 대체재로 활용할 경우 콘크리트의 수화발열속도 저감, 온도상승 억제, 장기강도 향상, 수밀성 증대에 의한 내구성 향상 및 염화물 이온 침투억제에 의한 철근의 발청 억제 등의 효과를 기대할 수 있는 반면, 초기강도발현 수준이 낮아 거푸집 제거시기가 늦어질 수 있으며, 동결기에는 강도발현이 지연되고 양생 불충분시 균열발생과 동해가 우려되고, 중성화가 촉진되는 등 콘크리트 품질저하와 현장품질관리가 곤란하다는 문제점이 제기되고 있다.

그러나 현재 현재 국내의 경우, 고로슬래그미분말을 시멘트 대체재로 활용한 콘크리트의 특성에 관한 실증적 자료가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 최근 사회적으로 크게 대두되고 있는 환경오염문제의 저감, 레미콘 업계에서 커다란 문제로 부각되고 있는 콘크리트의 품질확보 및 성능향상과 레미콘 업계의 경제성 문제에 대한 해결방안을 제시하기 위하여 고로슬래그미분말의 분말도 및 대체율에 따른 콘크리트의 굳지않은 성상, 응결성상, 경화성상 및 내구특성을 실험·실증적으로 비교·검토함으로써 콘크리트용 혼화재로서 고로슬래그미분말의 활용 및 품질관리를 위한 기초자료를 제시하는데 본 연구의 목적이 있다.

\* 정희원, 충남대학교 건축공학과, 교수·공박

\*\* 정희원, 충남대학교 대학원 건축공학과, 박사과정

표 1. 실험계획 및 배합

물 결합재 비 (%)	목 표 슬럼프 (cm)	고로슬래그 미분말		잔 골 재 율 (%)	단 위 수 량 (kg/m <sup>3</sup> )	단 위 중 량 (kg/m <sup>3</sup> )					측정 및 평가항목		
		분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	대체율 (%)			시멘트	고 로 슬래그 미분말	잔골재	굵은골재	고성능 감수제	AE제	굳지않은 콘크리트	경화 콘크리트
45	23±2	4,000급	0	47	168	373	0	817	957	*1)	*2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•공기량 (%)</li> <li>•단위용적중량 (kg/l) (비빔직후, 60분)</li> <li>•슬럼프 (cm)</li> <li>•슬럼프-플로우 (cm) (비빔직후, 40, 60분)</li> <li>•응결시험 (h : m)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•압축강도 (MPa)</li> <li>•인장강도 (MPa)</li> <li>•동탄성계수 (GPa)</li> <li>•초음파속도 (km/sec)</li> <li>•반발경도 (Rn) (재령 3, 7, 28, 56 및 91일)</li> <li>•중성화 깊이 (mm) (촉진재령 1, 4, 8주)</li> <li>•염화물이온 침투깊이 (mm) (침지재령 1, 4, 8주)</li> </ul>
			25			280	93	814	953				
		50	187			187	811	950					
		75	93			280	808	946					

1) 목표 슬럼프를 만족시키기 위한 소정의 첨가량  
2) 목표 공기량 (4.5±1.5%)을 만족시키기 위한 소정의 첨가량

표 2. 사용재료

구 분	사 용 재 료
결 합 재	시멘트 1종 보통포틀랜드 시멘트 (비중 : 3.15, 분말도 : 3,630cm <sup>2</sup> /g)
	혼화재 고로슬래그미분말 (비중 : 2.99, 분말도 : 4,379cm <sup>2</sup> /g 비중 : 2.99, 분말도 : 5,921cm <sup>2</sup> /g)
골 재	잔골재 제염사, (최대치수 : 5mm, 비중 : 2.58, 조립율 : 2.41)
	굵은 골 재 부순자갈, (최대치수 : 25mm, 비중 : 2.68, 조립율 : 6.94)
혼 화 제	나프탈렌계 고성능감수제
	AE제

제염사, 굵은골재는 비중 2.68, 조립율 6.94의 부순자갈, 혼화제는 나프탈렌계 고성능감수제와 AE제를 사용하였다.

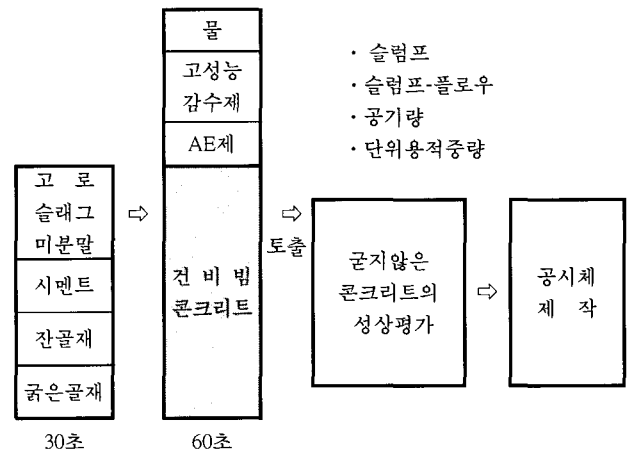


그림 1. 콘크리트의 비빔방법

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획 및 콘크리트 배합

본 연구의 실험계획 및 콘크리트 배합은 표 1에서 보는 바와 같이 레미콘산업에서 주로 활용되는 배합을 수집·분석하여 물결합재비 45%, 잔골재율 47%, 단위수량 168kg/m<sup>3</sup>로 설정하였으며, 고로슬래그미분말의 분말도를 4,000 및 6,000cm<sup>2</sup>/g급의 2수준, 결합재 증량에 대한 고로슬래그미분말의 대체율을 0, 25, 50 및 75%의 4수준으로 설정하여 고로슬래그미분말을 활용한 콘크리트의 굳지않은 성상, 응결성상, 경화성상 및 내구특성을 실험·실증적으로 비교·검토하였다.

### 2.2 사용재료

본 연구에 사용한 재료의 물리적 성질은 표 2에 나타난 바와 같이 결합재로서 시멘트는 비중 3.15의 1종 보통포틀랜드 시멘트, 혼화제는 분말도 4,379 및 5,921cm<sup>2</sup>/g의 고로슬래그미분말을 사용하였다. 또한 잔골재는 비중 2.58, 조립율 2.41의

### 2.3 비빔방법 및 시험체 제작

콘크리트 비빔은 그림 1에서 보는 바와 같이 시멘트, 고로슬래그미분말, 잔골재를 먼저 건비빔한 후, 물, 고성능감수제와 AE제 및 굵은골재를 투입하는 분할투입방식을 사용하였으며, 총 90초가 소요되었다. 비빔완료 후 목표 공기량 및 슬럼프를 만족한 경우 도출하여 각 경과시간별 굳지않은 콘크리트의 유동특성 평가시험을 실시한 후 경화성상 및 내구특성을 평가하기 위해  $\phi 10 \times 20$ cm의 압축강도 및 비파괴검사용 원주형 공시체,  $\phi 15 \times 30$ cm의 반발경도 측정용 공시체,  $10 \times 10 \times 40$ cm의 중성화 깊이 및 염화물 이온 침투깊이 측정용 공시체를 제작하였다.

또한 제작완료된 시험체를 20±3℃의 실내에서 24시간 준치한 후 소정의 측정재령까지, 20±3℃의 수중에서 표준양생을 실시하였다.

## 2.4 시험방법

굳지않은 콘크리트의 시험방법으로 공기량 시험은 KS F 2421 「굳지않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기 함유량 시험방법」, 단위용적중량은 KS F 2409 「굳지않은 콘크리트의 단위용적중량 및 공기량에 의한 시험방법」, 슬럼프는 KS F 2402 「포틀랜드시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험방법」, 응결 시간은 KS F 2436 「관입저항침에 의한 콘크리트의 응결시험방법」에 준하여 측정하였다.

한편, 경화 콘크리트의 시험으로 압축강도는 KS F 2405 「콘크리트의 압축강도 시험방법」, 인장강도는 KS F 2423 「콘크리트의 인장강도 시험방법」에 준해 UTM (Universal Test Machine)을 사용하여 최대하중을 측정 후 산정하였으며, 동탄성계수는 MARUTO의 동탄성계수 측정기 (규격 CH-48D)를 사용하여 1차공명 진동수를 측정 후 동탄성계수를 산정하였다. 또한 초음파속도는 영국의 C.N.S 사의 PUNDIT를 이용하여 공시체의 통과 시간( $\mu$ s)를 측정 후 초음파속도를 산정하였으며, 반발경도는 N형 슈미트햄머를 사용하여 측정하였다.

또한 내구특성을 평가하기 위해 온도 20℃, RH 50%, CO<sub>2</sub> 농도 5%의 중성화 챔버에서 중성화를 촉진시킨 후, 시험체를 할렬하고 1%의 페놀프탈레인 용액을 분무하여 중성화 깊이를 측정하였으며, 3% NaCl 용액에 시험체를 침지한 후 시험체를 할렬하고 0.1N AgNO<sub>3</sub> 용액을 분무하여 변색되지 않은 5개소를 측정하여 그 평균값을 염화물 이온 침투깊이로 하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 굳지 않은 콘크리트의 성상

#### 1) 공기량 및 단위용적중량에 관한 검토 및 분석

그림 2는 고로슬래그미분말 분말도별 대체율에 따른 공기량의 변화를 나타낸 것으로 공기량은 비빔직후에 있어서 고로슬래그미분말 분말도가 높을수록 유사하거나 다소 높은 수준으로 나타났으며, 고로슬래그미분말을 시멘트 대체재로 활용한 경우 Plain보다 다소 저하하는 것으로 나타났다. 또한, 경과시간에 따른 변화에 있어서도 고로슬래그미분말의 분말도 및 대체율에 따른 경향은 비빔직후와 동일하게 나타나고 있으며, 60분 경과시 비빔직후와 비교하여 0.6~1.5%정도 감소하는 것으로 나타났다.

그림 3은 고로슬래그미분말 분말도별 대체율에 따른 단위용적중량의 변화를 나타낸 것으로, 단위용적중량은 분말도와 대체율이 증가함에 따라 전반적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 경과시간에 따른 변화에 있어서도 고로슬래그미분말의 분말도 및 대체율에 따른 경향은 비빔직후와 유사한 경향을 보이고 있으며, 60분 경과시 비빔직후와 비교하여 0.02~0.08kg/l 정도 증가하는 것으로 나타났다.

#### 2) 비빔직후 슬럼프 및 목표 슬럼프를 만족시키기 위한 고성능감수제 첨가율에 관한 검토 및 분석

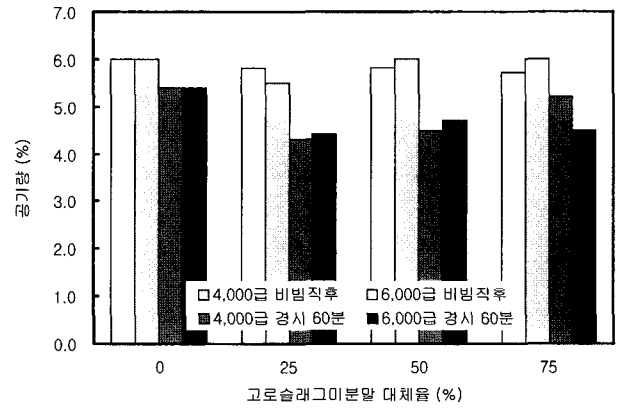


그림 2. 고로슬래그미분말 분말도별 대체율에 따른 공기량의 변화

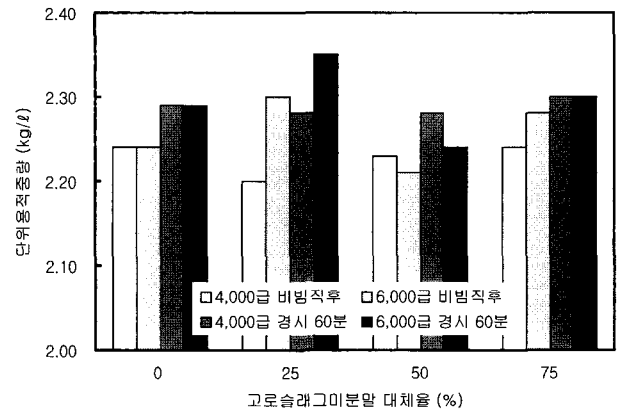


그림 3. 고로슬래그미분말 분말도별 대체율에 따른 단위용적중량의 변화

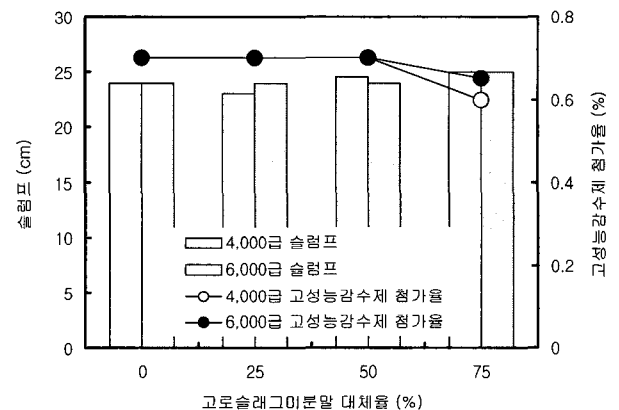


그림 4. 고로슬래그미분말 분말도 및 대체율에 따른 슬럼프와 고성능감수제 첨가율의 변화

그림 4는 고로슬래그미분말 분말도 및 대체율에 따른 슬럼프와 목표 슬럼프를 만족시키기 위한 고성능감수제 첨가율의 변화를 나타낸 것으로, 목표 슬럼프를 만족시키기 위한 고성능감수제 첨가율은 분말도에 관계없이 대체율 유사한 수준으로 나타났으며, 대체율이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다.

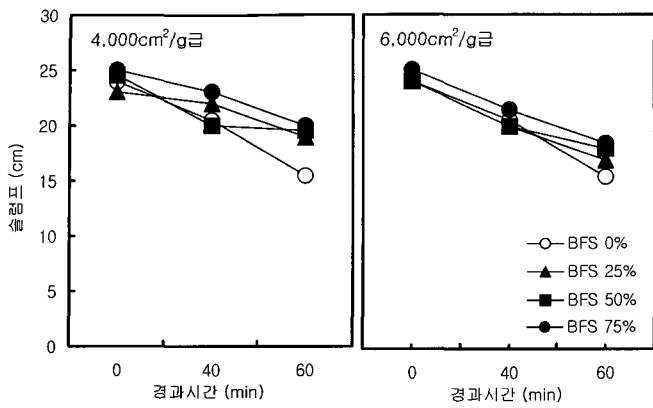
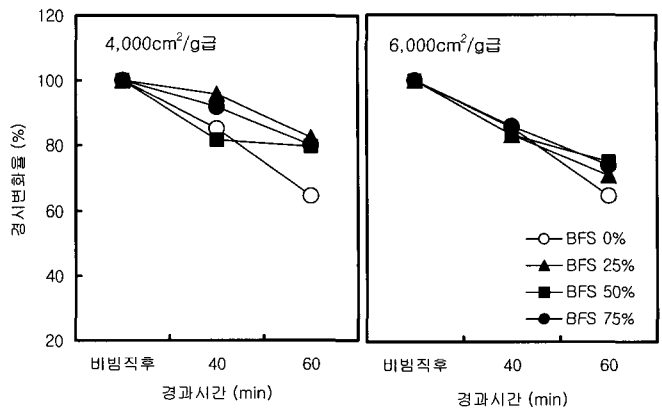


그림 5. 고로슬래그미분말 분말도 및 대체율별 경과시간에 따른 슬럼프의 변화



다. 이는 고로슬래그미분말의 분말도가 높을수록 단위수량의 저장효과가 커진다는 기존 연구결과와 유사한 경향으로, 고로슬래그미분말 분말도가 높을수록 콘크리트 유동성이 향상될 것으로 사료된다.

경과시간에 따른 슬럼프의 변화와 경시변화율을 나타낸 것으로, 분말도가 낮을수록, 고로슬래그미분말 대체율이 증가할수록 경과시간에 따른 슬럼프-로스(Slump Loss)가 다소 적게 나타났으며, 비빔직후의 슬럼프를 기준으로 슬럼프 경시변화율을 살펴보면 경과시간 60분에 있어서 고로슬래그미분말 대체율 0%의 경우 4,000 및 6,000 cm²/g급에서 65%, 대체율 25%의 경우 각각 83 및 71%, 대체율 50%의 경우 80 및 75%, 대체율 75%의 경우 80 및 74%의 수준으로 나타났다.

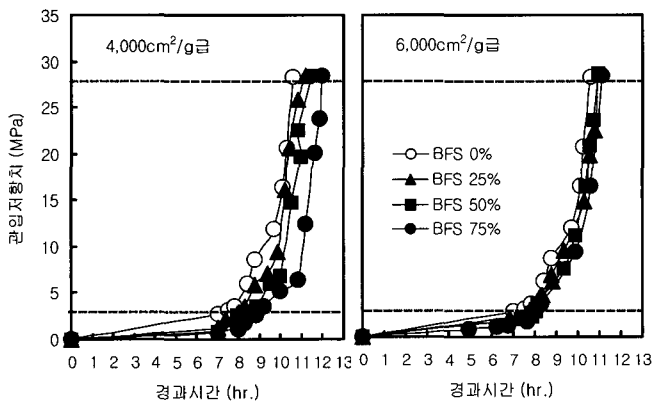


그림 7. 고로슬래그미분말 분말도 및 대체율별 경과시간에 따른 관입저항치의 변화

### 3) 응결성상

그림 7은 고로슬래그미분말 분말도 및 대체율별 경과시간에 따른 관입저항치의 변화를 나타낸 것으로 고로슬래그미분말의 분말도가 낮을수록, 대체율이 증가할수록 초결 및 종결 도달시간이 지연되는 것으로 나타났으며, 초결 도달시간과 종결 도달시간의 차이는 약 2~3시간이 소요되는 것으로 나타났다.

그림 5와 그림 6은 고로슬래그미분말 분말도 및 대체율별

### 3.2 경화콘크리트의 성상

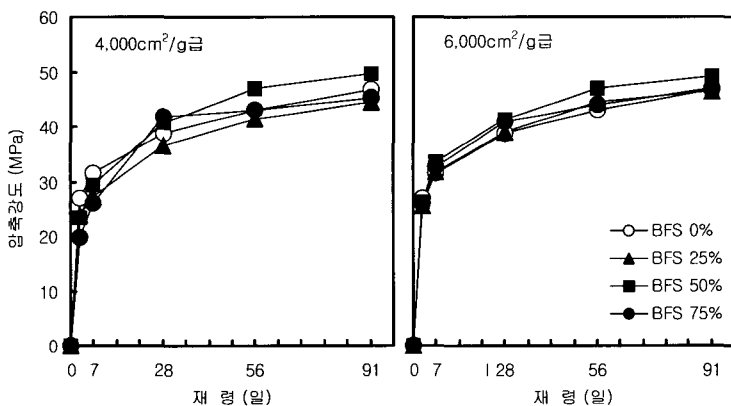


그림 8. 고로슬래그미분말 분말도 및 대체율별 재령에 따른 압축강도의 변화

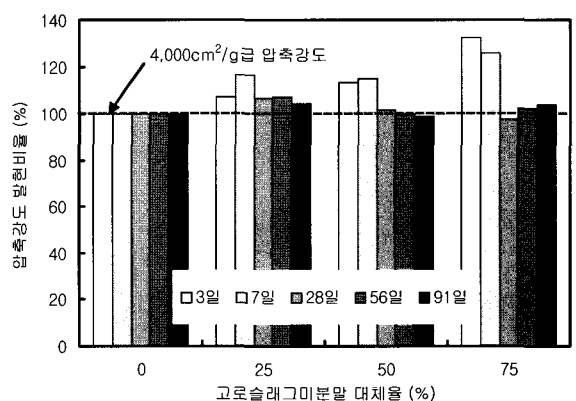


그림 9. 고로슬래그미분말 대체율에 따른 4,000 cm²/g급에 대한 6,000 cm²/g급 시험체의 압축강도 발현비율

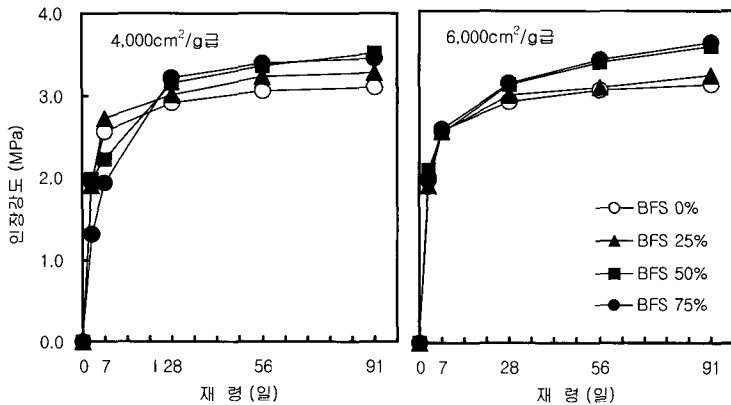


그림 10. 고로슬래그미분말 분말도 및 대체율별 재령에 따른 인장강도의 변화

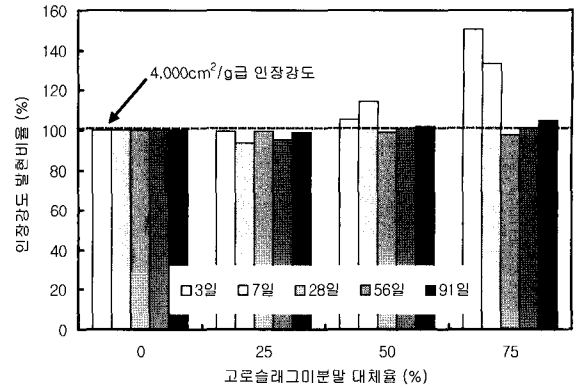


그림 11. 고로슬래그미분말 대체율에 따른 4,000cm²/g급에 대한 6,000cm²/g급 시험체의 인장강도 발현비율

1) 압축강도 발현성상에 관한 검토 및 분석

그림 8은 고로슬래그미분말 분말도 및 대체율별 재령에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 것으로, 고로슬래그미분말을 시멘트 대체재로 활용할 경우 초기재령에서는 낮은 수준의 압축강도를 발현하는 것으로 나타났으나 장기재령으로 갈수록 Plain보다 높은 수준의 압축강도를 발현하는 것으로 나타났다. 한편, 고로슬래그미분말 분말도 4,000cm²/g급의 경우 초기 재령인 재령 7일까지는 Plain보다 낮은 수준의 압축강도를 발현하는 것으로 나타났으나, 이후 재령에서는 유사한 수준의 압축강도를 발현하는 것으로 나타났으며, 고로슬래그미분말 분말도 6,000cm²/g급의 경우 모든 재령에서 대체율이 증가함에 따라 다소 높게 나타나고 있어 분말도가 높을수록 시멘트 대체재로 활용할 경우 초기 및 장기강도발현이 우수한 것으로 판단된다.

그림 9는 고로슬래그미분말 재령별 대체율에 따른 고로슬래그미분말 분말도 4,000cm²/g급에 대한 6,000cm²/g급 시험체의 압축강도 발현비율을 나타낸 것으로 재령 7일의 경우 고로슬래그미분말 대체율 0, 25, 50 및 75%에서 각각 100, 116, 115 및 126%, 재령 28일의 경우 각각 100, 106, 102 및 98%의 수준으로 고로슬래그미분말 대체율에 상관없이 분말도가 높을수록 초기재령에서 매우 높은 수준의 압축강도를 발현하는 것으로 나타났으며, 이후 재령에서는 유사하거나 다소 높은 수준으로 나타났다.

2) 인장강도 발현성상에 관한 검토 및 분석

그림 10은 고로슬래그미분말 분말도 및 대체율별 재령에 따른 인장강도의 변화를 나타낸 것으로, 인장강도는 고로슬래그미분말의 대체율이 증가할수록 다소 높게 나타났으며, 분말도가 높을수록 유사하거나 다소 높은 수준으로 나타났다. 한편, 고로슬래그미분말 분말도 4,000cm²/g급의 경우 초기재령인 재령 7일까지는 Plain보다 낮은 수준의 인장강도를 발현하는 것으로 나타났으나, 이후 재령에서는 고로슬래그미분말을 콘크리트 혼화재로 활용할 경우 대체적으로 다소 높은 인장강도를 발현하는 것으로 나타났으며, 고로슬래그미분말 분말

도 6,000cm²/g급의 경우 모든 재령에서 대체율이 증가함에 따라 다소 높게 나타나고 있다.

표 3. 고로슬래그미분말의 분말도 및 대체율에 따른 콘크리트의 비파괴검사 측정결과

고로슬래그미분말 대체율 (%)	재령 (일)	측정항목					
		동탄성계수 (GPa)		초음파속도 (km/sec)		반발경도 (Rn)	
		분말도 4,000급	분말도 6,000급	분말도 4,000급	분말도 6,000급	분말도 4,000급	분말도 6,000급
0	3	3.0	3.0	4.2	4.2	21.1	21.1
	7	3.2	3.2	4.5	4.5	24.9	24.9
	28	3.5	3.5	4.6	4.6	31.2	31.2
	56	3.9	3.9	4.6	4.6	35.8	35.8
	91	4.0	4.0	4.8	4.8	37.2	37.2
25	3	2.9	3.3	4.3	4.4	17.8	20.0
	7	3.0	3.4	4.4	4.4	23.6	23.6
	28	3.6	3.8	4.7	4.7	30.8	30.6
	56	3.9	4.0	4.7	4.8	36.8	38.4
	91	4.0	4.1	4.9	4.9	37.3	39.2
50	3	2.9	3.2	4.2	4.3	18.2	18.3
	7	3.1	3.4	4.4	4.4	23.4	26.6
	28	4.0	3.9	4.7	4.7	31.8	30.9
	56	4.2	4.3	4.8	4.8	37.7	36.3
	91	4.2	4.4	4.9	4.9	39.9	38.8
75	3	3.0	3.2	4.2	4.3	18.4	17.7
	7	3.1	3.4	4.4	4.4	24.8	24.3
	28	3.8	3.9	4.7	4.6	30.3	31.4
	56	4.0	4.3	4.8	4.8	37.9	37.9
	91	4.1	4.3	5.0	4.9	40.0	39.1

그림 11은 고로슬래그미분말 재령별 대체율에 따른 고로슬래그미분말 분말도 4,000cm²/g급에 대한 6,000cm²/g급 시험체의 인장강도 발현비율을 나타낸 것으로 재령 7일의 경우 고

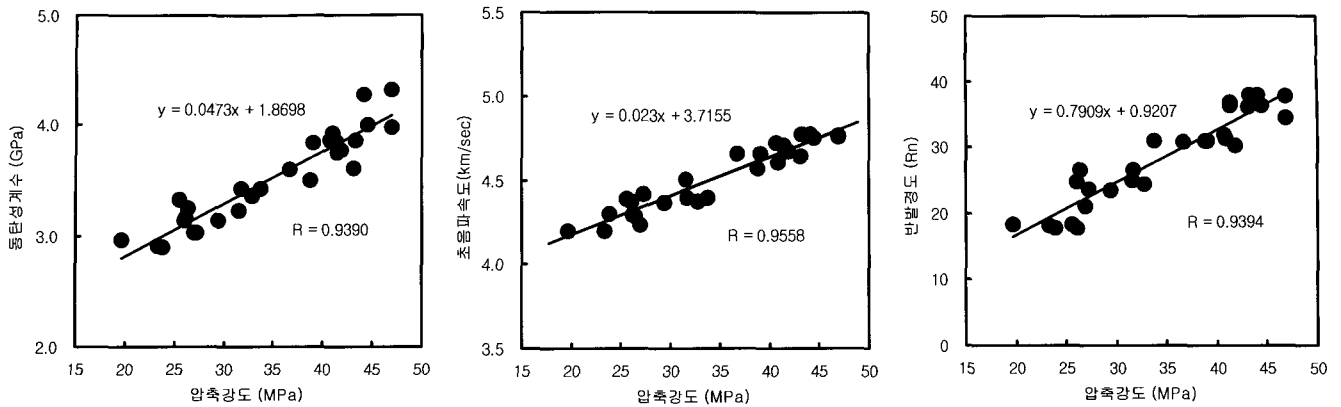


그림 12. 압축강도와 각종 비파괴 검사치와의 상관관계

로슬래그미분말 대체율 0, 25, 50 및 75%에서 각각 100, 93, 114 및 133%, 재령 28일의 경우 각각 100, 99, 99 및 98%의 수준으로 고로슬래그미분말 분말도가 높을수록 초기재령에서 매우 높은 수준의 인장강도를 발현하는 것으로 나타났으며, 이후 재령에서는 유사하거나 다소 높은 수준으로 나타났다.

### 3) 비파괴검사에 관한 검토 및 분석

표 3은 고로슬래그미분말 분말도 및 대체율에 따른 콘크리트의 비파괴검사 측정결과를 나타낸 것으로서 동탄성계수는 고로슬래그미분말 치환율 0%의 경우 4,000 및 6,000cm<sup>2</sup>/g급에서 3.0~4.0GPa, 치환율 25%의 경우 각각 2.9~4.2 및 3.3~4.1GPa, 치환율 50%의 경우 2.9~4.2 및 3.2~4.4GPa, 치환율 75%의 경우 3.0~4.1 및 3.2~4.3GPa의 수준으로, 초음파속도는 고로슬래그미분말 치환율 0%의 경우 4,000 및 6,000cm<sup>2</sup>/g급에서 4.2~4.8km/sec, 치환율 25%의 경우 각각 4.3~4.9 및 4.4~4.9km/sec, 치환율 50%의 경우 4.2~4.9 및 4.3~4.9km/sec, 치환율 75%의 경우 4.2~5.0 및 4.3~4.9km/sec의 수준으로 나타났다. 또한 반발경도는 고로슬래그미분말 치환율 0%의 경우 4,000 및 6,000cm<sup>2</sup>/g급에서 21.1~37.2, 치환율 25%의 경우 17.8~37.3 및 20.0~39.2, 치환율 50%의 경우 18.2~39.9 및 18.3~38.8, 치환율 75%의 경우 18.4~40.0 및 17.7~39.1의 수준으로 분말도 4,000cm<sup>2</sup>/g의 초기재령을 제외하고 장기재령으로 갈수록 대체적으로 고로슬래그미분말의 분말도 및 대체율이 증가함에 따라 높게 나타났다.

그림 12는 고로슬래그미분말 분말도 및 대체율에 따른 콘크리트의 압축강도와 각종 비파괴 검사치와의 상관관계를 나타낸 것으로 압축강도가 증가함에 따라 동탄성계수, 초음파속도 및 반발경도 모두 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 상관계수 R은 동탄성계수의 경우 0.9390, 초음파속도의 경우 0.9558, 반발경도의 경우 0.9394로 높게 나타나 고로슬래그미분말을 대량 활용할 콘크리트에 있어서 동탄성계수, 초음파속도 및 반발경도에 의한 압축강도 추정이 가능할 것으로 판단된다.

표 4. 고로슬래그미분말 분말도 및 대체율별 축진재령에 따른 중성화 깊이 측정결과

분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	재 령	중성화 깊이 (mm)			
		대체율 (%)	0	25	50
4,000급	축진 1주	0.00	0.00	0.00	1.20
	축진 4주	3.20	4.47	4.14	5.60
	축진 8주	5.44	6.25	6.00	8.17
6,000급	축진 1주	0.00	0.00	0.62	0.80
	축진 4주	3.20	4.02	4.40	6.13
	축진 8주	5.44	5.85	6.75	8.40

### 3.3 내구특성

#### 1) 중성화 저항성에 관한 검토 및 분석

표 4, 그림 13~14 및 사진 1은 고로슬래그미분말 분말도 및 대체율별 축진재령에 따른 중성화 깊이의 측정결과를 나타낸 것으로 축진재령 1주에는 고로슬래그미분말 치환율 0%의 경우 4,000 및 6,000cm<sup>2</sup>/g급에서 0.00mm, 치환율 25%의 경우 0.00mm, 치환율 50%의 경우 각각 0.00 및 0.62m, 치환율 75%의 경우 1.20 및 0.80mm의 수준으로 나타났다.

한편, 침지재령 4주의 경우에는 고로슬래그미분말 치환율 0%의 경우 4,000 및 6,000cm<sup>2</sup>/g급에서 2.84mm, 치환율 25%의 경우 각각 2.86 및 2.56mm, 치환율 50%의 경우 2.32 및 2.05mm, 치환율 75%의 경우 3.12 및 2.60mm의 수준으로 고로슬래그미분말을 시멘트 대체재로 활용할 경우 대체적으로 Plain보다 염해 저항성이 증가하는 것으로 나타났으며, 침지재령 1주의 경우를 제외하고 고로슬래그미분말도 분말도가 높을수록 염해 저항성이 커지는 것으로 나타났다.

이는 고로슬래그미분말의 분말도 및 대체율이 증가할수록 염해 저항성이 향상된다는 기존 연구와 유사한 경향으로 고로슬래그미분말을 시멘트 대체재로 활용할 경우 우수한 염해 저항성을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

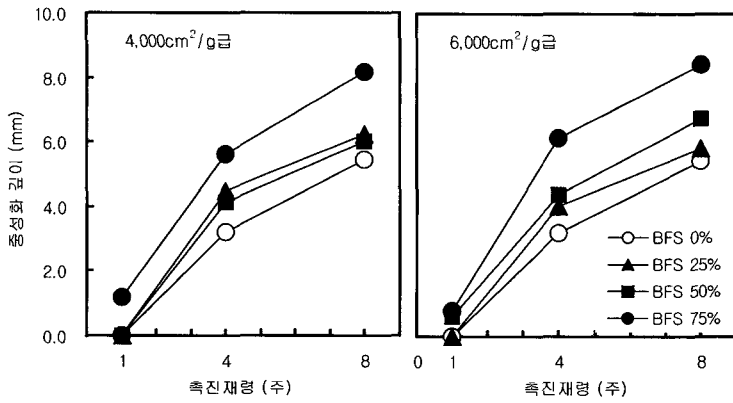


그림 13. 고로슬래그미분말 분말도 및 대체율별 축진재령에 따른 중성화 깊이의 변화

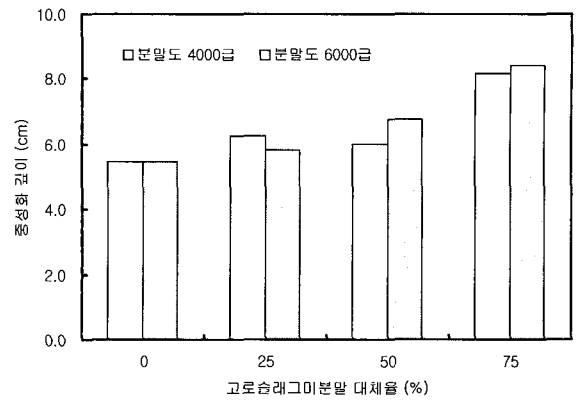


그림 14. 고로슬래그미분말 분말도별 대체율에 따른 중성화 깊이 (축진재령 8주)

표 5. 고로슬래그미분말 분말도 및 대체율별 축진재령에 따른 중성화 깊이 측정결과

분말도 (cm²/g)	재령 대체율	축진 1주			축진 4주			축진 8주		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
4,000급	0%									
	25%									
	50%									
	75%									
6,000급	0%									
	25%									
	50%									
	75%									

표 7. 고로슬래그미분말 분말도 및 대체율별 침지재령에 따른 염화물 이온 침투깊이 측정결과

분말도 (cm²/g)	재령 대체율	침지 1주			침지 4주			침지 8주		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
4,000급	0%									
	25%									
	50%									
	75%									
6,000급	0%									
	25%									
	50%									
	75%									

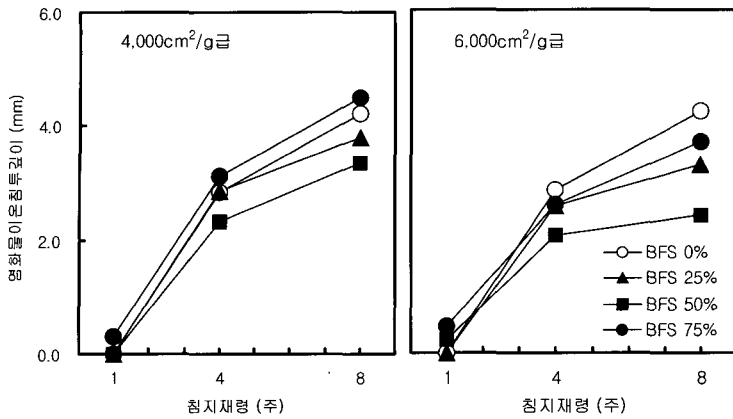


그림 15. 고로슬래그미분말 분말도 및 대체율별 침지재령에 따른 염화물 이온 침투깊이의 변화

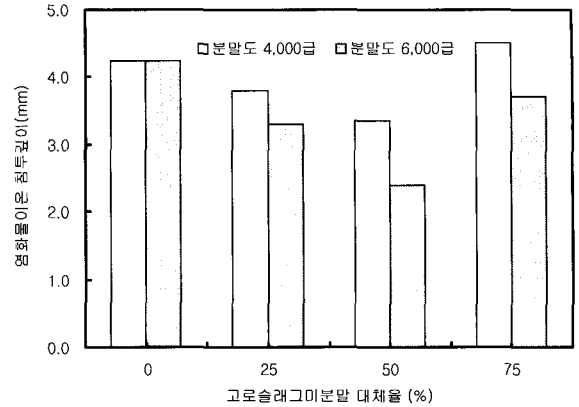


그림 16. 고로슬래그미분말 분말도별 대체율에 따른 염화물 이온 침투깊이 (침지재령 8주)

표 6. 고로슬래그미분말 분말도 및 대체율별 침지재령에 따른 염화물 이온 침투깊이 측정결과

분말도 (cm²/g)	재령	대체율 (%)	염화물 이온 침투깊이 (mm)			
			0	25	50	75
4,000급	침지 1주		0.00	0.00	0.00	0.31
	침지 4주		2.84	2.86	2.32	3.12
	침지 8주		4.23	3.79	3.35	4.51
6,000급	침지 1주		0.00	0.00	0.23	0.46
	침지 4주		2.84	2.56	2.05	2.60
	침지 8주		4.23	3.29	2.40	3.70

분말도 4,000cm²/g급의 경우 초기재령에서 Plain보다 다소 낮은 수준으로 나타났지만 이후 재령에서는 유사한 수준으로 나타났으며, 분말도 6,000cm²/g급의 경우 모든 재령에서 대체율이 증가할수록 다소 높게 나타났다.

- 고로슬래그미분말을 시멘트 대체재로 활용한 경우 Plain보다 중성화 저항성이 감소하는 것으로 나타났으며, 분말도에 따른 특별한 경향은 나타나지 않았다.
- 고로슬래그미분말을 시멘트 대체재로 활용할 경우 대체적으로 Plain보다 염해 저항성이 증가하는 것으로 나타났으며, 침지재령 1주의 경우를 제외하고 고로슬래그미분말도 분말도가 증가함에 따라 염해 저항성이 커지는 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

고로슬래그미분말 분말도 및 대체율에 따른 콘크리트의 공학적 특성을 검토 및 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 굳지않은 콘크리트의 공기량은 고로슬래그미분말 분말도에 관계없이 대체적으로 유사한 수준으로 나타났으며, 고로슬래그미분말을 시멘트 대체재로 활용한 경우 Plain보다 공기량은 저하하는 것으로 나타났으며, 단위용적중량은 분말도가 높을수록, 대체율이 증가함에 따라 전반적으로 증가하는 것으로 나타났다.
- 고로슬래그미분말을 대량 활용한 콘크리트의 경우 초결 및 종결 도달시간은 고로슬래그미분말의 분말도가 낮을수록, 대체율이 증가할수록 응결시간이 지연되는 것으로 나타났다.
- 고로슬래그미분말 분말도가 클수록 모든 재령에서 다소 높은 압축강도를 발현하는 것으로 나타났다. 또한 압축강도는

#### 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.

#### 참 고 문 헌

- 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
- 이상수 외, 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 공학적 특성에 관한 연구, 콘크리트학회 논문집 제12권 제4호, 2000. 8, pp. 49~58