

## 高爐슬래그 微粉末을 사용한 콘크리트의 蒸氣養生에 따른 強度 및 耐久特性<sup>†</sup>

\*洪昌佑 · 張素成 · 鄭元京

忠州大學校 工科大学 土木工學部

### Strength and Durability Properties of Concretes Using Ground Granulated Blast-Furnace Slag According to Steam Curing Types<sup>†</sup>

\*Chang-Woo Hong, Ho-Sung Jang and Won-Kyong Jeong

Division of Civil Engineering, Chungju National University

#### 요 약

본 연구에서는 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 증기양생에 따른 강도 및 내구특성을 평가하였다. 주요 실험변수로는 고로슬래그 미분말 혼입률 변화(0%, 10%, 30%, 50%, 70%)와 증기양생의 유·무로 설정하였다. 그리고 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 증기양생에 따른 특성분석을 위하여 압축강도와 염소이온 침투저항성시험, 동결융해저항성시험, 황산침식저항성시험 등을 실시하였다. 실험결과, 고로슬래그 미분말을 혼화재로 사용한 콘크리트의 증기양생에 따른 압축강도 및 염소이온 침투저항성은 고로슬래그 미분말의 혼입률이 증가할수록 증대되었다. 또한, 동결융해저항성은 고로슬래그 미분말 혼입률 70%를 제외한 모든 시험체에서 상대동탄성계수 90%이상 유지되었다. 황산침식저항성은 고로슬래그 미분말을 50%이상 혼입하였을 경우 향상되는 것으로 나타났다.

주제어 : 고로슬래그 미분말, 증기양생, 투수성, 동결융해저항성

#### Abstract

The purpose of this study was to evaluate the effects of ground granulated blast-furnace slag on strength development and durability of ordinary portland cement concrete (OPC) with steam curing types. Main experimental variables were slag contents (0%, 10%, 30%, 50%, 70%) and curing types (standard, accelerated curing). It were performed to check the basic properties of concretes that compressive strength, rapid chloride ion permeability and chemical resistance. From the result, we have found that increasing the amount of blast-furnace slag produced concrete with increased compressive strength and permeability resistance. Rapid freezing-thawing test showed that they were good enough to protect the concrete structures and to carry out cyclic freezing and thawing. The freeze-thaw resistance of blast-furnace slag produced concretes maintained above 90% of relative dynamic modulus after 300 freezing-thawing cycles. Increasing the amount of blast-furnace slag produced concretes with increased chemical resistance.

Key words : blast furnace slag, steam curing, permeability, freeze-thaw resistance

#### 1. 서 론

최근 건설산업의 발전에 따라 현장타설에 의한 제품 생산보다는 공장설비를 통해 생산되는 콘크리트 2차 제

품의 공급 수요가 점차 증대되고 있다. 특히 대규모 건설현장에서 우수한 품질의 건설자재를 요구하고 있으며, 상대적으로 제품의 신뢰성이 높고 공기 단축이 가능한 콘크리트 2차 제품의 수요가 급격히 증대되고 있는 실정이다. 일반적으로 콘크리트 2차 제품은 품질관리 측면에서 신뢰성과 제품의 안정성이 현장제품보다 높은 것으로 알려져 있다. 그러나 콘크리트 공장제품은 주로

<sup>†</sup> 2006년 1월 23일 접수, 2006년 6월 13일 수리

\*E-mail: cwhong@chungju.ac.kr

건설구조물 디자인의 다양성과 생산성 확대를 추구하는 측면에서 개발이 진행되어, 제품 자체의 고품질화를 위한 연구는 미비한 것이 사실이다. 특히 콘크리트 제품의 장기적인 내구성 확보 및 환경문제 해결을 위해 그 사용량이 증대되고 있는 고로슬래그를 이용한 콘크리트 2차 제품의 품질평가는 매우 낮은 수준이다. 농어촌 연구원에 의하면 콘크리트 2차 제품의 대표적인 벤치플립 및 수로관의 수명은 계획수명의 1/4에 불과한 것으로 보고되고 있다.<sup>1)</sup> 이러한 콘크리트 2차 제품의 조기파손 원인은 생산업체가 생산능률과 경제성을 이유로 초고온에서 1일 3~4회씩 급속 증기양생을 시행하고 있으며, 급속 양생된 제품이라도 현행 KS산업규격에서의 조기 강도와 외관조사에서 만족할 경우 제품 출하가 가능하기 때문인 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 콘크리트 공장제품의 내구성 향상과 자원재활용을 위하여 고로슬래그 미분말 혼입률 및 증기양생 방법에 따른 강도발현 및 내구특성(동결융해저항성, 염소이온 침투저항성, 황산침식저항성)을 평가하고자 하였다. 이러한 실험결과를 바탕으로 고로슬래그 미분말의 증기양생용 콘크리트 사용가능성과 최적 혼입률을 제시하여, 실제현장에서 적용하기 위한 기초 자료로서 제공하고자 한다.

## 2. 콘크리트에 미치는 고로슬래그 미분말의 영향 및 촉진양생 공정

### 2.1. 고로슬래그 미분말의 영향

일반적으로 고로슬래그 미분말은 용광로에서 선철과 동시에 생성되는 용융고로슬래그를 물로 급냉시켜 생성된 입상의 고로수쇄슬래그를 건조시켜 미분쇄한 것으로,

콘크리트의 결합재로 사용할 경우에 유동성 개선, 수화 발열속도의 저감 및 온도상승의 억제, 장기강도 향상, 수밀성 향상 등의 효과를 갖고 있기 때문에 콘크리트에서 혼화재료로서의 적용범위는 매우 크다<sup>2)</sup>. 그러나 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트 2차 제품의 내구성에 대한 연구는 미비한 실정이며 단지 강도에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 이들 연구결과에 의하면 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트 2차 제품의 강도는 초기의 수화촉진에 의해 고로슬래그 미분말의 포졸란 반응을 촉진시켜 일반 콘크리트 2차 제품에 비해 높은 강도를 나타내는 것으로 평가되고 있다.<sup>3,4,7,8)</sup>

### 2.2. 촉진양생 공정

콘크리트의 양생과정을 인위적인 조건 변화에 의해 보다 빨리 경화시켜 초기에 탈형강도에 도달하게 하는 것을 촉진양생이라 한다. 콘크리트 2차 제품은 주로 촉진양생방법에 의해 생산되고 있으며, 이러한 촉진양생 방법에는 일반적으로 상압에서의 증기양생과 오토클레이브를 이용한 고온고압증기양생, 전기양생 등이 있다. 이들 중 상압증기양생은 가장 일반적으로 사용되는 촉진양생방법으로 콘크리트 제품공장, 토목공사의 PS콘크리트 시공 등 매우 널리 이용되고 있다.

### 3. 재료 및 실험방법

본 연구에서는 현재 콘크리트 2차 제품에 널리 사용되고 있는 일반 콘크리트에 고로슬래그 미분말을 혼입하여 상압 증기양생에 따른 강도 및 내구특성을 평가하고자 하였다. 이를 위하여 단위시멘트량에 따른 고로슬래그 미분말의 혼입률(0%, 10%, 30%, 50%, 70%) 변

Table 1. Properties of blast-furnace slag used

Type		Unit	KS Code	Result of Tests	
Physical properties	Density	kg/m <sup>3</sup>	above 2.80	2.90	
	Specific surface area	cm <sup>2</sup> /g	3000~5000	4,387	
	Activity index	at 7days	%	above 55	80
		at 28days		above 75	113
		at 91days		above 95	115
Flow ratio	%	above 95	103		
Chemical properties	MgO	%	below 10.0	4.98	
	SO <sub>3</sub>	%	below 4.0	1.78	
	lg.loss	%	below 3.0	0.49	
	Chloride ion content	%	below 0.02	0.001	

**Table 2.** Mix proportions of concrete

Type	W/B (%)	S/a (%)	Mix proportion(kg/m <sup>3</sup> )					Slump (cm)	AE-Agent (%)
			C	W	G	S	BFS		
BFS0	42	45	430	181	737	919	0	8±2	0.01
BFS10			387	181	736	917	43		
BFS30			301	181	733	914	129		
BFS50			215	181	731	911	215		
BFS70			129	181	728	907	301		

화와 상압증기양생의 유무를 주요 실험인자로 선정하였다. 그리고 시험항목은 압축강도, 염소이온 침투저항성, 동결융해저항성, 황산침식저항성 등의 실험을 수행하였다.

**3.1. 사용재료**

본 실험에 사용된 굵은 골재는 비중이 2.6이고 최대치수 19 mm인 세석을 사용하였고, 잔골재는 비중이 2.55인 천연 강모래를 사용하였다. 또한 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트이며 콘크리트 2차 제품의 내구성 향상을 위해 사용된 고로슬래그 미분말의 주요 특성은 Table 1과 같다.

**3.2. 배합 및 양생조건**

Table 2는 본 실험에 사용된 배합으로써 기존 콘크리트 2차 제품 생산업체에서 사용하고 있는 배합을 참고하여 W/B는 42%, S/a는 45%, 목표슬럼프는 8±2cm, 단위시멘트량은 430 kg/m<sup>3</sup>으로 고정하였다. 또한 양생 방법은 표준양생(A-Type)과 상압증기양생(B-Type)으로 구분되며 표준양생은 20±1°C, RH 100%조건에서, 상압증기양생은 사전양생 3시간(20±1°C, RH 50%), 온도상승구배 2.5시간(20°C/hr), 최고온도유지시간 7시간(최고 온도 65°C), 온도하강구배 2.5시간(20°C/hr)으로 하여 총 증기양생 시간 15시간을 기준으로 증기양생주기를 설정하였다.

**3.3. 실험방법**

본 연구에서는 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트의 상압증기양생에 따른 강도특성을 분석하기 위하여 재령 1, 7, 28일에 KS F 2405에 의거한 압축강도시험을 수행하였으며, 내구성 평가를 위한 동결융해저항성 시험은 KS F 2456, 염소이온 침투저항성 시험은 KS F 2711에 따라 수행하였다. 또한 황산침식저항성 시험은 ASTM C 267에 의해 수행하였으며, 시멘트 경화체의 파괴 메카니즘을 규명하기 위하여 추가적으로 XRD,

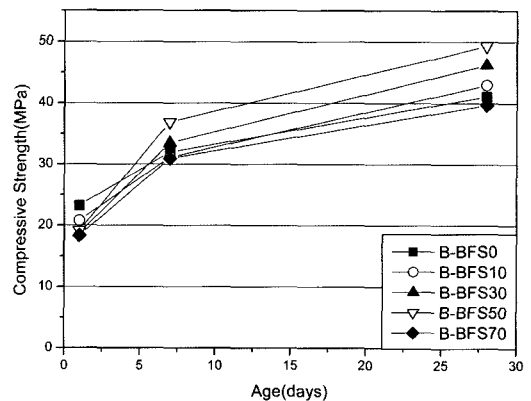
SEM 및 EDS분석을 실시하였다.

**4. 실험결과 및 분석**

**4.1. 압축강도 특성**

**4.1.1. 상압증기양생에 따른 압축강도특성**

Fig. 1은 증기양생조건에서의 고로슬래그 미분말 혼입률 변화에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 증기양생에 따른 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 압축강도 특성은 초기 재령 1일에서 고로슬래그 미분말 혼입률이 증가할수록 초기강도가 저하됐으나, 모든 시험체의 초기 강도가 18MPa 이상으로 촉진양생의 목적인 단시간 내의 탈형강도 확보에는 문제가 없는 것으로 나타났다. 또한, 재령 7일에서는 고로슬래그 미분말 혼입률 50%에서 혼입률 0%에 비해 두드러진 강도증진을 보이고 있으며, 혼입률 30% 역시 OPC보다 높은 강도를 나타내고 있다. 재령 28일에서는 고로슬래그 미분말 혼입률 50%, 30%, 10%, 0%, 70% 순으로 압축강도를 나타내, 혼입률 50%인 경우가 압축강도 측면에서는 가장 효과적임을 알 수 있었다. Fig. 2는 재령 28일에서의 증기



**Fig. 1.** Compressive strength of steam cured concrete with slag contents.

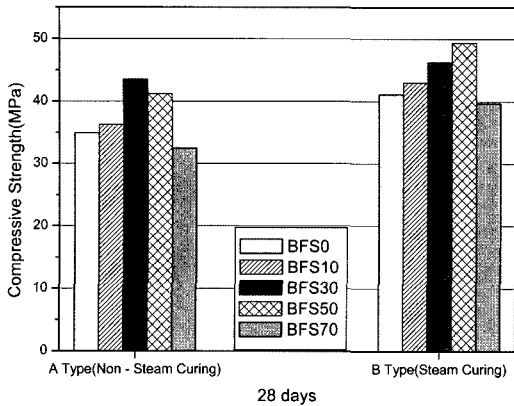


Fig. 2. Compressive strength of steam cured concrete with curing methods.

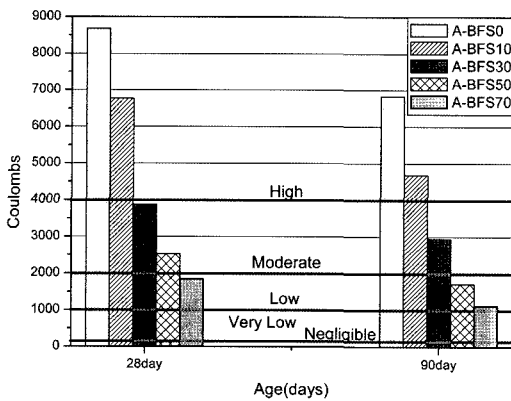
양생 유·무에 따른 압축강도 특성을 나타낸 것이다. 고로슬래그 미분말의 혼입률에 상관없이 증기양생을 한 경우가 표준양생을 한 경우에 비해 높은 강도를 나타내고 있다. 표준양생을 한 경우 고로슬래그 미분말 혼입률 30%까지는 혼입률이 증가할수록 압축강도가 증진되고 있으나, 혼입률 50%부터는 강도가 감소되고 있다. 또한, 혼입률 70%에서는 OPC보다 낮은 강도를 나타내고 있다. 증기양생을 한 경우에는 고로슬래그 미분말 혼입률 50%까지 강도가 증진되고, 혼입률 70%에서는 표준양생을 한 경우와 마찬가지로 OPC보다 낮은 강도를 나타내고 있다. 즉, 표준양생을 한 경우에서 가장 높은 강도를 나타내고 있는 혼입률 30%의 강도는 증기양생을 한 경우의 혼입률 10%에 상당하는 것으로 나타나 고로슬래

그 미분말을 혼입한 콘크리트의 증기양생에 따른 압축 강도 증진효과는 매우 효과적인 것으로 나타났다.

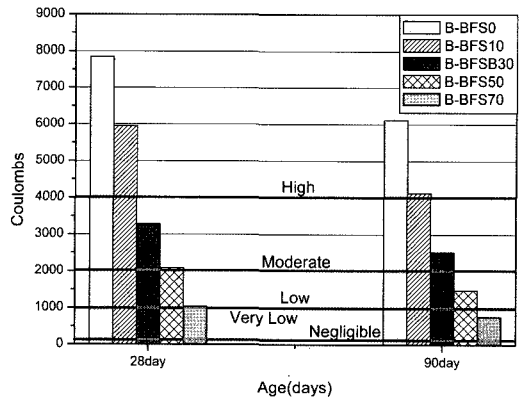
4.2. 염소이온 침투저항성특성

Fig. 3(a)는 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 표준양생에 따른 통과전하량을 나타낸 것이다. 이를 살펴보면, 재령이 증가함에 따라 통과전하량이 감소하여 재령 90일의 통과전하량은 재령 28일 통과전하량보다 약 21%~39%까지 감소하는 경향을 보였다. 이는 재령이 증가할수록 콘크리트 내에서의 수화반응에 의해 생성된 수화생성물에 의해 조직이 치밀해진 것에 기인한다고 판단된다. 또한, 혼입률이 증가할수록 통과전하량이 감소하여 재령 90일에서 혼입률 70%의 통과전하량은 Low 상태로 측정되었다. 이처럼 고로슬래그 미분말이 증가할수록 통과전하량이 감소되는 이유는 콘크리트 내에서 충전작용을 할 수 있는 고로슬래그 미분말 입자의 양이 증가하기 때문으로 판단된다.

Fig. 3(b)는 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 증기양생에 따른 통과전하량을 나타낸 것이다. 표준양생의 경우와 마찬가지로 재령이 증가할수록 통과전하량은 감소하고 있다. 이 역시 콘크리트내에서 생성된 수화생성물에 의한 영향으로 판단된다. 또한, 고로슬래그 미분말의 혼입률이 증가할수록 통과전하량이 감소하는 것으로 나타났다. 특히, 혼입률 70%는 재령 90일에서 염소이온 투수성이 Very Low 상태임을 보이고 있다. 이러한 결과는 초기의 축진양생에 따른 활발한 수화반응에 의해 다량으로 생성된 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>)과 고로슬래그 미분말의 반응에 의해 생성된 수화물이 경화체 내의

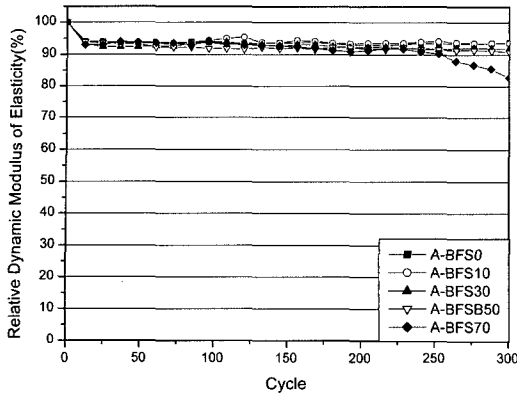


(a) Standard Curing

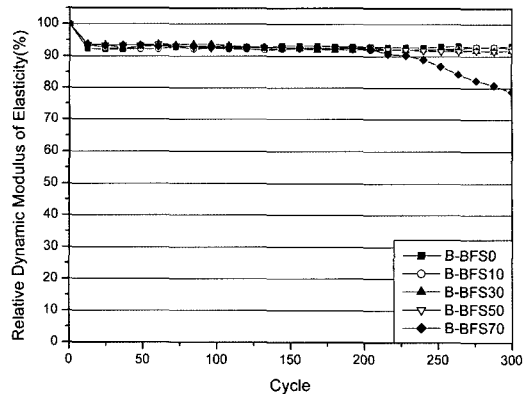


(b) Steam Curing

Fig. 3. Charge passed of concrete with curing methods and ages.



(a) Standard Curing



(b) Steam curing

Fig. 4. Variation of relative dynamic modulus.

모세관 공극을 막아 물의 이동을 억제함으로써 투수성이 감소하게 되는 것과 고로슬래그 미분말의 충전작용에 기인하는 것으로 판단된다.

즉 양생조건별 재령에 따른 통과전하량을 살펴보면 재령 28일의 통과전하량은 전체적으로 촉진양생의 경우가 표준양생을 한 경우에 비해 더 낮은 수치를 나타내고 있다. 이는 강도발현특성에서도 알 수 있듯이 촉진양생에 의해 고로슬래그 미분말에 의한 강도발현이 촉진되었으며, 이에 의해 보다 많은 수화물이 경화체 내의 모세관 공극을 막아 나타나는 현상으로 분석된다. 또한 재령 28일에 비해 재령 90일에서의 통과전하량 감소추세는 모든 혼입률에서 표준양생을 한 경우가 더 크게 나타나고 있으며, 특히 혼입률 70%에서는 표준양생을 한 경우와 촉진양생을 한 경우의 감소율은 각각 39%, 26%로 표준양생을 한 경우의 감소율이 높게 나타났다. 이는 촉진양생을 한 경우 시멘트와 배합수와의 수화반응이 촉진되어 고로슬래그 미분말과 반응할 수 있는 다량의 수산화칼슘을 생성하여 초기에 고로슬래그 미분말과의 반응을 진행한 반면에, 표준양생을 한 경우는 시멘트와 배합수의 수화반응 속도가 정상적으로 이루어져 재령이 증가함에 따라 고로슬래그 미분말과의 반응이 지속적으로 진행되기 때문으로 판단된다.

4.3. 동결융해 저항특성

Fig. 4는 동결융해저항성 실험 결과를 나타낸 것이다. 고로슬래그 미분말의 혼입률에 따른 동결융해저항성은 표준양생을 한 경우 모든 시험체가 목표 사이클수인 300 사이클에 도달하였으나, 고로슬래그 미분말 혼입률 70%

의 경우에는 상대동탄성계수가 252사이클부터 급격히 떨어지기 시작하였다. 이는 공기연행체 첨가로 인한 4%이상의 연행공기 확보와 높은 강도에 기인한 것으로 판단된다. 이와같은 경향은 촉진양생을 한 경우도 동일한 결과가 도출되었다. 양생조건에 따른 영향을 살펴보면 고로슬래그 미분말의 혼입률이 증가할수록 상대 동탄성계수 및 내구성지수가 감소하는 것은 표준양생과 증기양생 모두에서 나타났다. 고로슬래그 미분말의 혼입률별로 살펴보면 모든 혼입률에서 표준양생을 한 경우가 다소 더 높음을 알 수 있으며, 특히 혼입률 70%에서는 표준양생 및 촉진양생의 내구성지수가 각각 82.7, 78.7로 두 양생조건의 차이가 명확히 구분됨을 알 수 있다.

4.4. 황산 침식 저항특성

4.4.1 황산용액에 침지시킨 시멘트 경화체의 중량변화 고로슬래그 미분말의 혼입률 변화에 따른 5% 황산용액에 대한 침식저항성을 양생조건에 따라 분석하였다. 이를 위해 시험체를 5% 황산용액에 침지한 후 4일에 한번씩 28일 동안 중량을 측정하고, 이를 침지 전 중량에 대한 중량감소비를 산출하였으며, Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5(a)에서 표준양생을 한 경우의 중량변화는 고로슬래그 미분말의 혼입률이 증가할수록 중량감소 현상은 저하되는 것으로 나타났다. 그리고 Fig. 5(b)는 촉진양생을 한 경우의 중량변화를 나타낸 것으로 고로슬래그 미분말을 혼입하지 않은 경우와 고로슬래그 미분말을 10%, 30% 혼입한 경우, 침지시간이 지속될수록 중량감소가 커지는 것으로 나타났으며, 고로슬래그 미분말을 50%, 70% 혼입한 경우는 중량감소가 상당히 적

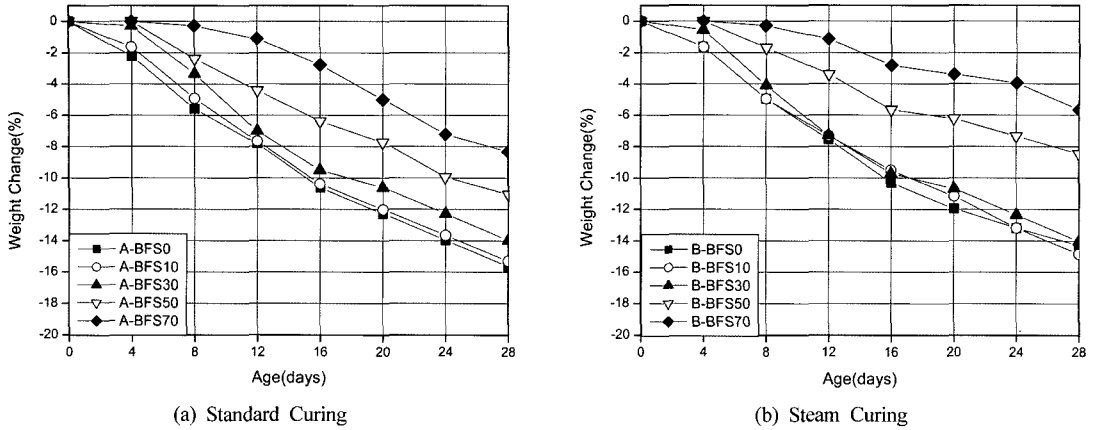


Fig. 5. Weight change after immersion in chemicals.

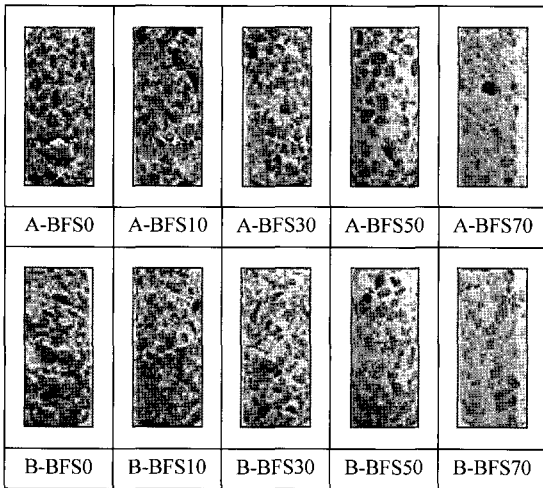


Fig. 6. Appearance after immersion in chemical (5% sulfuric acid).

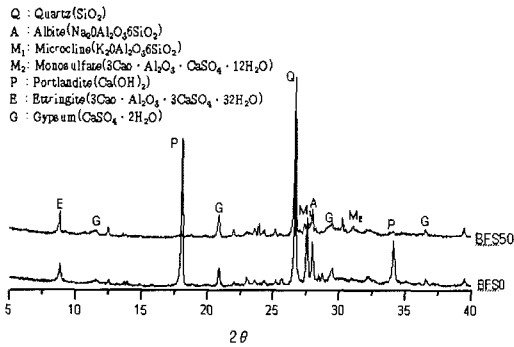
은 것으로 측정되었다. 양생조건에 따른 황산침식저항성의 결과를 종합해 보면 증기양생을 한 경우가 표준양생을 한 경우에 비해 우수한 것으로 나타났으며, 특히 고로슬래그 미분말 혼입률이 50%이상인 경우에는 저항성이 우수한 것으로 평가되었다.

Fig. 6은 5% 황산용액에 28일간 침지시킨 시험체의 침식된 모습이다. 5% 황산용액에 침식되어 굵은 골재가 도출되었으며, 그 차이는 축진양생의 유·무에 관계없이 고로슬래그 미분말의 혼입률이 증가할수록 시험체의 표면부식정도가 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 중량감소비와 일치하고 있음을 알 수 있다.

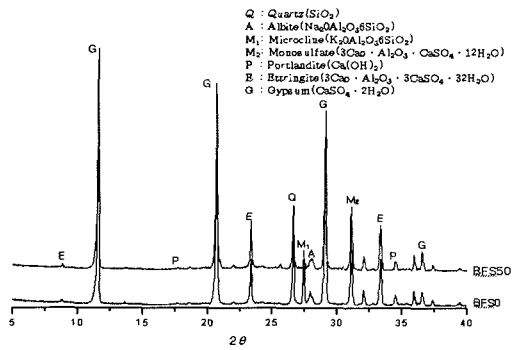
#### 4.4.2 시멘트 경화체의 X-선 회절분석

시험체를 5% 황산용액에 침지하였을 때 고로슬래그 미분말의 혼입률에 따라 중량이 변화하는 원인을 규명하기 위해 황산침지 시험 후 증기양생을 한 시험체에서 시료를 채취하여 X-선 회절분석을 수행하여 5% 황산용액에 의한 반응생성물을 Fig. 7에서 나타내었다. Fig. 7의 (a)는 5% 황산용액에 침지시키지 않은 시험체의 X-선 회절분석한 결과이며, Fig. 7(b)는 침지 후 시험결과이다.

XRD 분석결과 파쇄된 시험체의 일부를 임의적으로 채취한 후 유발 분쇄하여 분석한 관계로 주목되는 모래 성분으로부터 검출되는 Quartz(석영), Albite(미사장석), Microcline(장석)이 26°~28° 부근에서 주로 나타났다. 이는 5% 황산용액에 침지시킨 것에 대한 영향과는 무관한 것이다. 고로슬래그 미분말이 혼입된 콘크리트 시험체를 5% 황산용액에 침지하였을 때 Gypsum( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )의 생성원인은 OPC 시멘트 수화반응으로 형성되어 콘크리트 시험체의 공극 중에 존재하는 Portlandite ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )가 침수 용액의  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온과 반응하여 주로 생성된다.<sup>5)</sup> 여기에서, 5% 황산용액에 침전하지 않은 시험체의 경우에는  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온의 부재로 인해  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 의 peak는 작게 나타나고, 미반응  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 peak는 크게 나타났다. 그러나, 5% 황산용액에 침지한 경우에는  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 의 피크는 크게 나타난 반면,  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 피크는 작게 나타났다. 이는 많은 양의 이온의 존재로 인해  $\text{SO}_4^{2-}$ 와 의 반응이 빨라져 많은 양의  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 를 생성시킨다는 것을 알 수 있다. 그리고 고로슬래그의 혼입률이 증가함에 따라  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의



(a) Former Immersion in Chemicals



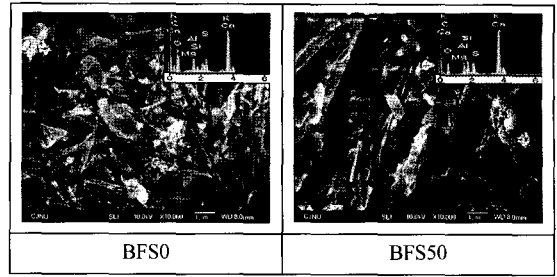
(b) After Immersion in Chemicals

Fig. 7. Analysis of X-ray diffraction (5% sulfuric acid).

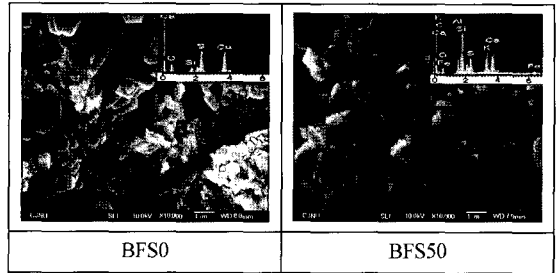
함량이 감소하게 된다. 이는 고로슬래그 혼입률이 증가함에 따라  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 생성시켜 주는 시멘트의 단위량이 감소하기 때문이며, 또한 고로슬래그의 수화반응에 의하여  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 가 소비되기 때문이다. 초기재령에서는 주로 전자에 기인하며, 장기재령에서는 두 가지 요인으로  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 함량이 낮아지게 된다. 위와 같은 과정을 통해 생성된  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 는 활성화된 칼슘알루미네이트 수화물( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )과의 반응에 의해 시멘트 바실러스(bacillus)를 생성함으로써 이때의 팽창압으로 인하여 콘크리트 내부조직이 피해를 입는다. 이러한 이유로 고로슬래그 미분말의 적절한 첨가는 황산이온에 대한 콘크리트의 성능을 향상 시켜주는 효과가 있다는 것을 확인 할 수 있었다.

4.4.3. 시멘트 경화체의 SEM 및 EDS분석

SEM 및 EDS분석은 5% 황산용액에 침지하였을 때의 고로슬래그 미분말의 혼입 유·무에 따른 영향을 확인하기 위하여 고로슬래그 미분말 혼입률 0%, 50%의



(a) Former Immersion in Chemicals



(b) After Immersion in Chemicals

Fig. 8. Analysis of SEM and EDS with immersion in chemical (5% sulfuric acid).

경화체에 대해서 실시하였다.

Fig. 8에서 (a)와 (b)를 비교해 보면 (a)의 경우 콘크리트의 활발한 수화반응에 의해 치밀한 구조를 보이는 반면 (b)의 경우에는 5% 황산용액의 침식에 의해 치밀했던 구조 자체가 심한 손상을 받은 것을 볼 수 있다. 또한, XRD분석을 통해 침식을 받은 부위의 생성물은 거의 대부분이 Gypsum인 것으로 확인되었고, 이를 뒷받침 할 수 있는 자료를 EDS분석을 통해 확인한 결과,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 의 성분비를 갖는 것으로 나타나 황산용액에 의한 침식은 주로  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 의 형성에 기인함을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 고로슬래그 미분말의 혼입률과 상압증기양생의 유·무를 주요변수로 하여 강도특성 및 내구특성을 분석하였으며 이를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 축진양생에 따른 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 압축강도는 고로슬래그 미분말 혼입률 50%까지는 압축강도가 향상되었으며, 50%의 경우 재령 28일에서 OPC에 비해 약 20%의 강도증가율을 보였다. 그러나

혼입률 70%에서는 과도한 단위시멘트량의 감소로 인해 OPC보다 낮은 강도를 나타내었다.

2. 염소이온 침투저항성은 고로슬래그 미분말의 혼입률이 증가할수록 고로슬래그 미분말의 충전작용 및 수화반응에 의한 수화생성물의 영향으로 투수저항성이 향상되는 것으로 나타났다.

3. 동결융해 저항성 실험결과, 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트의 모든 시험체가 목표 사이클인 300사이클까지 도달하였으나, 혼입률이 증가할수록 내구성지수가 낮아졌으며, 혼입률 70%에서 가장 낮은 저항성을 갖는 것으로 나타났다. 또한, 양생조건 변화에 대해서는 모든 변수에 있어 내구성 지수 70%이상을 보였다.

4. 5% 황산용액에 대한 침식저항성은 고로슬래그 미분말을 50%이상 혼입하였을 때 황산에 대한 저항성이 높아지는 것으로 나타났다. 또한, 양생조건 변화에 대한 영향은 근소한 차이로 촉진양생을 한 경우가 양호한 것으로 나타났다.

본 연구결과를 종합해 볼 때 증기양생용 콘크리트에 고로슬래그 미분말을 사용할 경우 그 효과가 매우 적절함을 확인할 수 있었으며 이에 따라 콘크리트 제품의 강도 및 내구성 향상을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

이 논문은 1차년도 충주대학교 대학구조개혁지원사업비의 지원을 받아 수행한 연구이며, 이에 감사드립니다.

---

### 張 豪 成

- 2005년 충주대학교 건설도시공학과 석사
  - 현재 (주)지케이 기술연구소 연구원
- 

### 참고문헌

1. 박광수 등, 2002 : 경지정리 공장제품 수로구조물 품질향상에 관한 연구, 농업기반공사 농이촌연구원.
2. 최 항 등, 2000 : 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 특성 및 경제적인 효과에 관한 연구, 대우건설기술 연구보고서, pp.61-73.
3. 김생빈, 유승룡, 최세규, 1996 : 촉진양생이 콘크리트의 28일 압축강도에 미치는 영향에 관한 연구, 한국콘크리트학회지, 7(4), pp. 141-148.
4. 조영근 등, 2000 : 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트 흠판에 대한 기초적 연구, 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, pp. 939-944.
5. 윤보현 등, 1997 : 콘크리트의 내산성에 관한 실험적 연구-구사 분말 치환 콘크리트를 중심으로, 한국콘크리트학회지, 9(5), pp. 127-135.
6. 홍창우 등, 2005 : 증기양생에 따른 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트의 내구특성, 한국자원리싸이클링학회 학술발표회, pp. 341-345.
7. Baoju Liu *et al.*, 2001 : Some factors affecting early compressive strength of steam curing concrete with ultrafine fly ash, *Cement and Concrete Research*, 31, pp. 1455-1458.
8. Baoju Liu, Youhun Xie, Jian Li, 2005 : Influence of steam curing on the compressive of concrete containing supplementary cementing materials, *Cement and Concrete Research*, 35, pp.994-998.

---

### 洪 昌 佑

- 1999년 강원대학교 토목공학과 박사
  - 현재 충주대학교 토목공학부 교수
- 

### 鄭 元 京

- 2005년 강원대학교 토목공학과 박사
  - 현재 충주대학교 토목공학부 겸임교수
-