

# 온수법에 의한 고로슬래그 미분말 혼합 콘크리트의 강도추정

## Strength Estimation of GGBF Slag Concrete by Warm Water Method

문 한 영<sup>\*</sup>      최 연 왕<sup>\*\*</sup>      김 용 직<sup>\*\*\*</sup>

Moon, Han Young    Choi, Yun Wang    Kim, Yong Gic

---

### ABSTRACT

The cost of producing ready mixed concrete(remicon) has increased due to the rising cost of raw materials for concrete and transportation caused by the upturn of oil price. In contrast, its orders have also decreased due to the recession of the construction industry. In addition, the cost of delivery has decreased owing to the excessive competition among manufacturing companies, so manufacturing companies began mixing ground granulated blast-furnace slag or fly ash to lower the cost. However, there is no way to determine whether the strength of the concrete using the admixture is satisfied or dissatisfied with design strength at the early age. The purpose of this study is dedicated to early strength estimation of concrete mixed with an admixture, ground granulated blast-furnace slag.

---

### 1. 서론

최근 시멘트, 골재와 같은 콘크리트용 원료 단가의 상승 및 유가의 급등으로 인하여 레미콘의 제조 원가 및 수송비가 상승하고 있는 반면 국내 건설경기 침체로 레미콘의 수주물량이 감소됨에 따른 제조업체들의 과당경쟁으로 레미콘의 납품단가는 오히려 낮아지고 있는 실정이다. 그러므로 레미콘 제조업체들은 제조원가를 절감하기 위한 방안의 일환으로 고로슬래그 미분말 및 플라이애시 등과 같은 혼화재료를 사용하는 추세가 증가하고 있다. 그러나 이러한 광물질혼화재를 사용한 콘크리트는 포틀랜드 시멘트계를 사용한 콘크리트와는 달리 포졸란 반응의 영향으로 초기재령에서의 강도발현이 지연되므로 공기가 늦어지는 문제점이 지적되고 있다. 그래서 광물질혼화재를 사용한 콘크리트의 재령 28일 설계기준강도를 촉진양생방법을 이용하여 조기에 추정하는 연구에 착안하게 되었다.

---

\* 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수

\*\* 정회원, 세명대학교 토목공학과 조교수

\*\*\* 정회원, 한양대학교 토목공학과 박사과정

본 연구에서는 고로슬래그 미분말을 4단계로 혼합한 콘크리트의 설계기준강도 210, 240 및 270kgf/cm<sup>2</sup>을 목표로 제조한 콘크리트의 압축강도를 온수법을 이용하여 재령 1일의 압축강도로서 재령 28일의 설계기준강도를 추정하고자 하였다. 또한, 고로슬래그 미분말을 혼합한 콘크리트의 온수에 의한 조기강도로서 설계기준강도 추정의 재현성 및 신뢰성을 확보하기 위한 수단으로 동일 배합의 반복 실험을 실시한 결과에 대하여 분석하였다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 시멘트 및 고로슬래그 미분말

시멘트는 비중 3.15의 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC로 약함)를 사용하였으며, 고로슬래그 미분말(이하 SG로 약함)을 혼화재로 사용하였다. 표 1은 시멘트 및 고로슬래그 미분말의 화학성분 및 물리적 성질을 나타낸 것이다.

표 1 시멘트 및 고로슬래그 미분말의 화학성분 및 물리적 성질

Types \ Items	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Specific Gravity	Specific Surface Area (cm <sup>2</sup> /g)
OPC	21.60	6.00	3.10	61.41	3.40	2.50	3.15	3,539
S G	33.33	15.34	0.44	42.12	5.70	2.08	2.90	3,480

#### 2.1.2 골재

잔골재는 강원도 주천산 강모래이며, 굵은 골재는 최대치수가 20mm인 부순돌을 사용하였으며 골재의 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2 골재의 물리적 성질

Types \ Items	G <sub>max</sub> (mm)	Specific Gravity	Absorption (%)	F.M.	Organic Impurities	Unit Weight (kg/m <sup>3</sup> )	Percentage of Solids (%)
Fine Aggregate	-	2.60	1.50	2.48	O.K	1,677	64.5
Coarse Aggregate	20	2.70	0.38	7.75	-	1,589	58.9

#### 2.1.3 화학혼화제

유동성 향상을 위해 사용한 AE감수제(Water Reducing AE Agent : 이하 WRAE로 약함)는 표준형으로서 상온에서 비중 1.2±0.02, pH 7.0±1.0인 액상용액을 사용하였다.

## 2.2 실험방법

### (1) 제조방법

콘크리트 믹서는 용량 50ℓ, 회전속도 100rpm 까지 조절이 가능한 강제식 믹서를 사용하였으며, 콘크리트 혼합량은 30ℓ, 회전속도는 최대 50rpm, 배합시간은 총 2분으로 결정하였다. 압축강도 측정을 위해 Ø10×20cm 원주형 공시체를 사용하여 KS F 2403에 의해 제작하였다.

(2) 슬럼프 및 공기량

KS F 2402 및 KS F 2421에 의해 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 및 공기량 측정을 하였다.

(3) 압축강도측정

동일 배합으로 제조한 공시체 3개는 온수에 의하여 촉진 양생을 실시하고, 나머지 공시체는 표준양생을 실시하여 각 재령별로 KS F 2405에 의하여 압축강도를 측정하였다.

(4) 온수양생법

온수양생 수조는 100℃까지 온도조절이 가능한 60×60×45cm 크기의 수조를 사용하여, 그림 1과 같은 온수 양생순서 및 시간에 따라 실시하였다. 온수양생전 상온에서 3~3.5시간 방치한 후, 물드체 55℃의 온수양생수조에 넣어 20~20.5시간 촉진 양생시켰다. 온수양생이 끝난 다음 표준양생 수조에 30분 정도 담근 후 압축강도를 측정하였다.<sup>1)</sup>

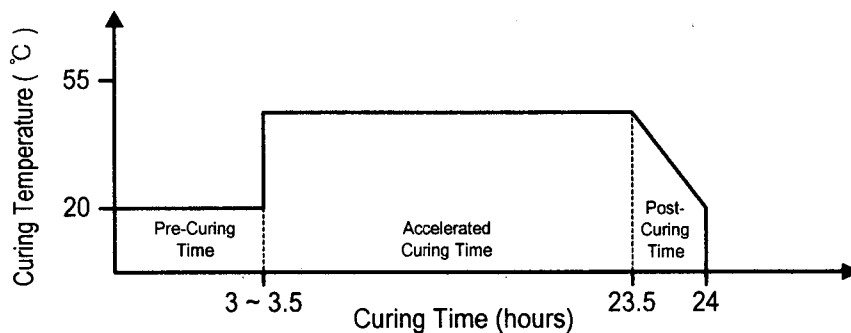


그림 1 온수양생법의 순서 및 시간

2.3 배합

고로슬래그 미분말의 혼합률 0, 15, 30 및 45% 4단계, 물-결합재비 45, 49 및 53% 3단계이며, AE감수제는 결합재량의 0.3%를 사용하여 콘크리트를 제조하였다. 이때 목표 슬럼프 및 공기량은 각각 12±2cm와 4.5±1.5%로 정하였다. 또한, 실험결과에의 신뢰성 및 재현성 확보를 위해 모든 실험은 반복 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 고로슬래그 미분말 혼합 콘크리트의 압축강도

고로슬래그 미분말을 시멘트의 중량에 대하여 0, 15, 30 및 45%로 혼합한 콘크리트의 재령 3, 7, 28 및 56일에서의 압축강도를 물-결합재비 3종류로 정리한 것이 그림 2, 3 및 4이다. 이들 그림에서 알 수 있듯이 고로슬래그 미분말의 혼합률과 재령에 따른 압축강도의 경향은 거의 유사한 경향을 나타내었다. 다시 말해서 고로슬래그 미분말의 혼합률이 증가할수록 초기재령 3일 및 7일에서는 물-결합재비에 관계없이 압축강도가 감소하였으나, 재령 28일 및 56일에서는 오히려 증가하는 추세를 나타내었다. 특히 재령 28일 이후의 장기재령에서 고로슬래그 미분말 혼합 콘크리트의 압축강도가 증가하는 이유는 고로슬래그 미분말의 잠재수경성의 영향으로 생각된다.

고로슬래그 미분말의 혼합률 4단계와 물-결합재비 3종류로 달리하여 24시간 온수중에서 촉진양생한 고로슬래그 미분말 혼합 콘크리트의 압축강도(이하 촉진압축강도로 약함)를 나타낸 것이 그림 5이다.

이 그림에서 고로슬래그 미분말의 혼합률과 물-결합재비가 증가하는데 따라 고로슬래그 미분말 혼합 콘크리트의 축진압축강도는 거의 직선적으로 크게 감소됨을 알 수 있다.

그러나 고로슬래그 미분말 45%혼합 콘크리트의 축진압축강도는 24시간만에 물-결합재비 49%에서 약  $100\text{kgf/cm}^2$  정도를 나타내었다.

다시 말해서 고로슬래그 미분말 대체 콘크리트를 24시간 온수중에서 축진양생할 경우에도 물-결합재비에 관계없이 압축강도의 증진에는 크게 효과가 없음을 알 수 있다.

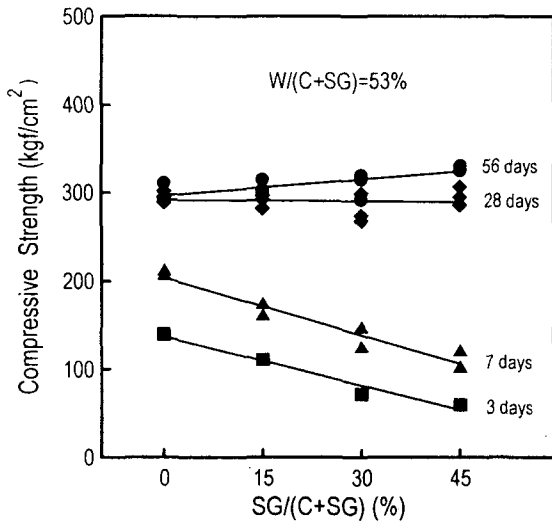


그림 2 고로슬래그 미분말의 혼합률과 압축강도

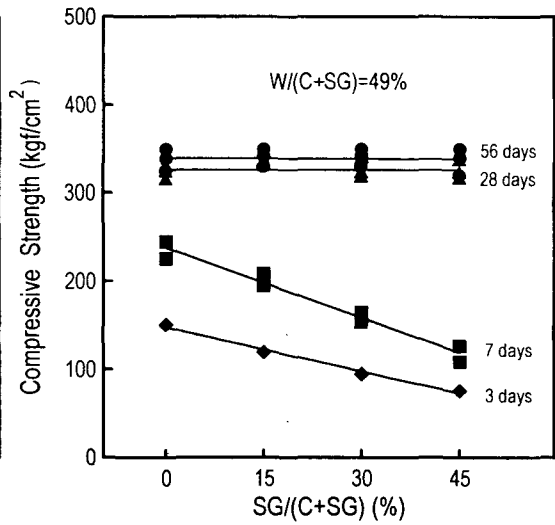


그림 3 고로슬래그 미분말의 혼합률과 압축강도

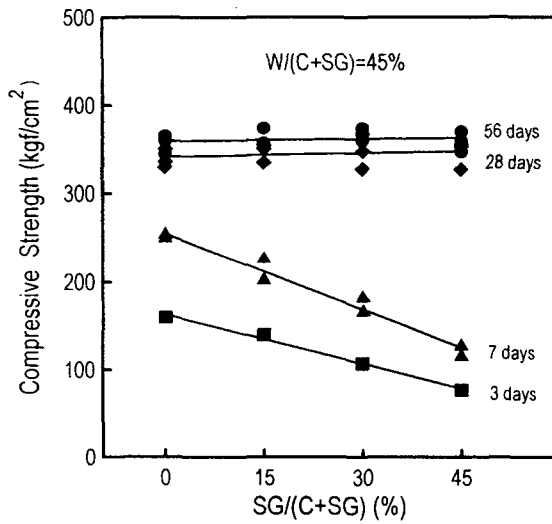


그림 4 고로슬래그 미분말의 혼합률과 압축강도

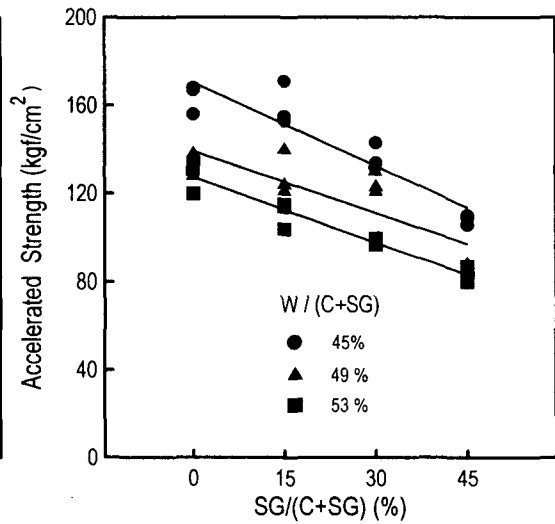


그림 5 고로슬래그 미분말의 혼합률과 축진 압축강도

### 3.2 고로슬래그 미분말 혼합 콘크리트의 강도추정

물-결합재비 53%, 고로슬래그 미분말의 혼합률 4단계로 변화시켜 제조한 고로슬래그 미분말 혼합 콘크리트의 촉진압축강도와 재령 3일간 표준양생 시킨 압축강도 값을 비교한 것이 그림 6이다.

이 그림에서 알 수 있듯이 고로슬래그 미분말을 사용하지 않은 콘크리트의 경우, 표준양생 시킨 압축강도 값이 촉진압축강도 값 보다 약간 크게 나타났다.<sup>2)</sup>

그러나, 고로슬래그 미분말의 혼합률이 증가할수록 고로슬래그 미분말 혼합 콘크리트의 촉진압축강도 값이 재령 3일간 표준양생 시킨 압축강도 값 보다 약간씩 증가하는 경향을 나타내었다.

즉, 55°C 정도의 온수로서 24시간 온수양생할 경우, 고로슬래그 미분말 혼합 콘크리트의 수화를 촉진시켜 초기강도의 발현이 활발하게 진행되어 강도가 증진되었다고하는 Swamy의 연구결과<sup>3)</sup>와도 비교적 잘 일치함을 알 수 있었다.

그래서 이번에는 24시간 온수중에서 촉진양생한 고로슬래그 미분말 혼합 콘크리트의 촉진압축강도와 재령 7, 28 및 56일 동안 표준양생한 고로슬래그 미분말 혼합 콘크리트의 압축강도와의 관계를 정리한 것이 그림 7, 8 및 9이다.

이들 그림에서 촉진압축강도와 재령 7, 28 및 56일의 각각 압축강도와의 상관관계를 알아보기 위하여 고로슬래그 미분말의 혼합률 별로 회귀분석을 통하여 선형식 및 상관계수를 나타내었다.

이들 그림에서 고로슬래그 미분말의 혼합률에 따라 촉진압축강도가 크게 상이함을 알 수 있으나, 표준양생한 고로슬래그 미분말 혼합 콘크리트의 압축강도는 초기재령 7일을 제외한 재령 28일 및 56일에서는 큰 차이가 없음을 알 수 있었다. 이때, 고로슬래그 미분말의 혼합률에 따라 촉진압축강도와 표준양생한 압축강도와의 사이에는 명확한 상관관계를 알 수 없었으나, 재령이 증가할수록 상관계수가 좋아지는 경향을 나타내었다.

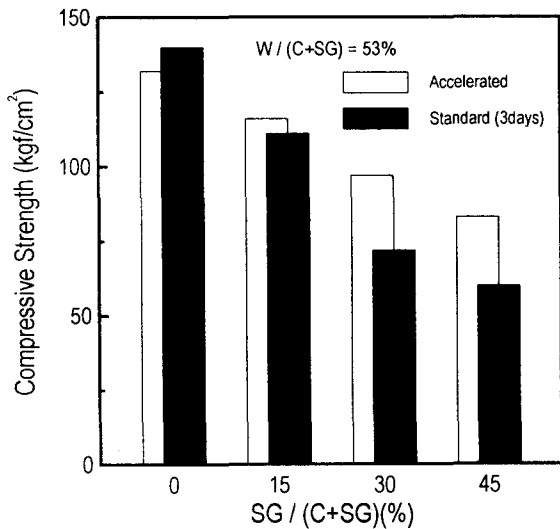


그림 6 촉진강도와 재령 3일 압축강도와의 관계

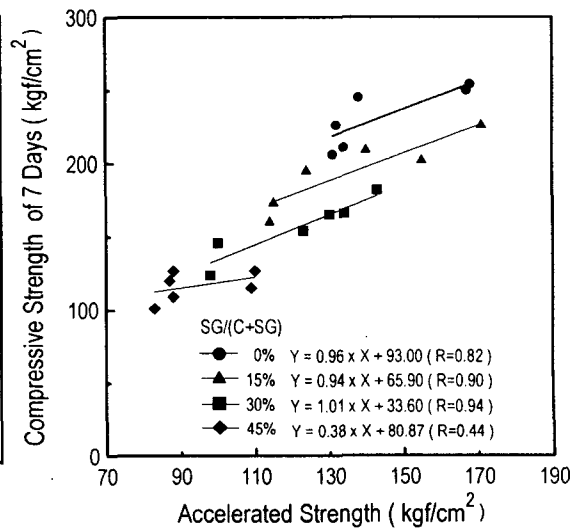


그림 7 촉진강도와 재령 7일 압축강도

이상의 실험 결과를 종합해 볼때, 고로슬래그 미분말의 혼합한 콘크리트를 55℃ 정도의 온수로서 24시간 촉진양생한 압축강도값으로서 본 연구에서 제시한 회귀분석을 통한 선형식을 이용하여 고로슬래그 미분말의 혼합률 별 콘크리트의 재령 28일 또는 56일의 표준양생 압축강도(설계기준강도)를 추정 할 수 있는 가능성을 시사하였다고 생각된다.

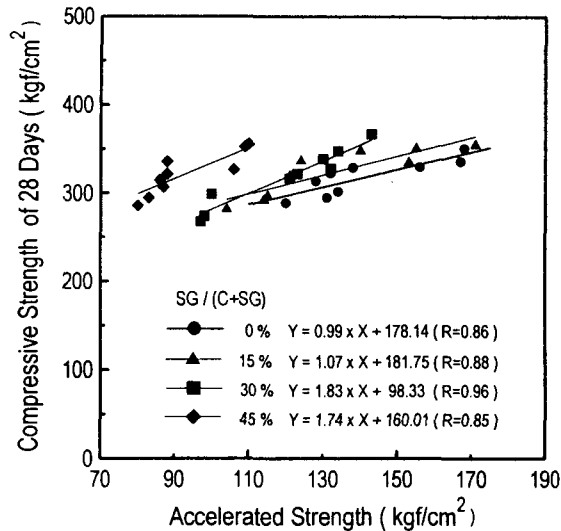


그림 8 촉진강도와 재령 28일 압축강도

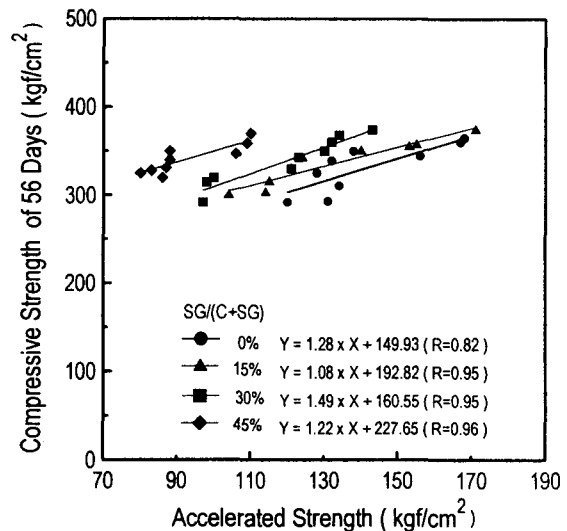


그림 9 촉진강도와 재령 56일 압축강도

#### 4. 결론

- (1) 고로슬래그 미분말의 혼합률과 물-결합재비를 각각 변화시켜 표준양생한 고로슬래그 미분말 혼합 콘크리트의 경우, 고로슬래그 미분말의 혼합률이 증가하는데 따라 재령 3 및 7일에서는 압축강도는 감소하였으나, 재령 28 및 56일에서는 오히려 증가하였다.
- (2) 고로슬래그 미분말 혼합 콘크리트를 온수중에서 촉진양생한 촉진압축강도는 고로슬래그 미분말 혼합률 및 물-결합재비가 증가하는데 촉진압축강도는 거의 직선적으로 크게 감소하였다.
- (3) 물-결합재비 53%, 고로슬래그 미분말의 혼합률 4단계로 변화시킨 고로슬래그 미분말 혼합 콘크리트의 혼합률이 증가할수록 촉진압축강도 값이 재령 3일간 표준양생 시킨 압축강도 값 보다 약간씩 증가하는 경향을 나타내었다.
- (4) 온수양생법에 의한 촉진압축강도와 표준양생에 의한 압축강도와의 관계를 고로슬래그 미분말의 혼합률 별로 회귀분석한 결과, 고로슬래그 미분말 혼합 콘크리트의 촉진압축강도로서 표준양생한 압축강도를 추정할 수 있는 선형식을 제시하였다.

#### 참고문헌

- (1) 전찬기, 콘크리트 품질의 조기판정에 관한 연구, 박사학위논문, 성균관대학교 대학원, 1987.
- (2) A.M.Neville, Properties of Concrete, 1996, pp.359-370.
- (3) R.N. Swamy, "Cement Replacement Materials," Concrete Technology And Design, Surrey University Press, Vol 3, 1986, pp.107-112.