

# 고로슬래그 미분말을 사용한 모르타르의 물성

## The properties of mortar using ground granulated blast-furnace slag

김태형\*      김종인\*\*      최영화\*\*\*  
Kim Tae-Hyeong,      Kim Jong-In,      Choi Young-Wha

### Abstract

The purpose of this study is to examine the mechanical properties of mortar using ground granulated blast-furnace(GGBF) slag.

In this study, the mortar replaced by varying fineness and content of GGBF slag is investigated through the change of compressive strength, chemical resistance and weight loss.

As the result, it has been found that GGBF slag increase somewhat higher flow value and compressive strength. In addition, the chemical resistance of mortar using GGBF slag shows higher than that of mortar not containing GGBF slag.

### 1. 서론

콘크리트는 구조물 형성의 기초재료로서 질적이나 양적으로 인류사회에 큰 역할을 담당하고 있으며, 경제적이고 반영구적인 구조재료로 대부분의 구조물 및 사회간접시설이 콘크리트로 구성되고 있다. 특히, 지가상승에 따른 토지이용의 효율성 증진방안으로 주거환경이 아파트 문화권으로 형성되면서 콘크리트의 수요가 급진적으로 증가하고 있다.

최근에 콘크리트의 성능을 대폭 향상시키기 위한 방안으로 실리카흄, 폴리아에쉬 및 고로슬래그 미분말과 같은 혼화제를 혼합 사용한 콘크리트의 고강도 및 고성능화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 고강도용 콘크리트는 단위시멘트량의 과다로 인한 수화열 상승, 균열발생 및 시공성 저하 등의 문제점이 발생하고 상대적으로 건설단가가 상승하게 된다.

따라서, 본 연구는 국내 제철산업의 부산물로 발생하는 고로슬래그 미분말을 사용한 모르타르에 관한 기초적 물성실험으로 배합비는 2종류, 물결합재비는 5단계, 슬래그의 분말도는 3종류, 치환율은 4단계로 하여 각 배합별 모르타르를 제조하여 아직 굳지않은 상태에서 경시변화에 따른 플로우치 변화 그리고 경화상태의 압축강도 및  $H_2SO_4$ ,  $NaOH$ 수용액에 대한 화학저항성을 비교·분석하였다.

\* (주)대경건설안전연구원

\*\* 대구대학교 토목공학과 교수

\*\*\* 대구대학교 건축공학과 교수

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

#### (1) 시멘트 및 고로슬래그 미분말

시멘트는 국내 H사의 보통포틀랜드시멘트를 사용하였고, 고로슬래그는 전남 광양제철소에서 발생하는 슬래그를 미분말화하여 얻은 비표면적 4500, 5500 및 6500cm<sup>2</sup>/g으로 이에 대한 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1. 시멘트 및 고로슬래그 미분말의 화학성분 및 물리적 성질

항목 재료	화 학 성 분 (%)							비 중	비표면적 (cm <sup>2</sup> /g)
	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>	Ig.loss		
OPC	21.7	6.2	3.3	61.2	2.4	2.5	1.8	3.14	3190
고로슬래그	35.1	15.0	0.4	42.3	6.4	0.1	0.2	2.9	4500 5500 6500

#### (2) 골재

잔골재는 경북 구미시 옥성산의 강모래와 KS L 5100의 표준사를 사용하였고, 그 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2. 잔골재의 물리적 성질

항목 재료	최대치수 (mm)	비 중	흡수율 (%)	조립율 (F.M)	단위중량 (kg/m <sup>3</sup> )	실적율 (%)	비 고
잔골재	5	2.58	1.08	2.80	1542	58.2	강모래

#### (3) 시험용 약품

사용 약품은 용액농도 5%의 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>와 10%의 NaOH 수용액으로 하였다.

## 2.2 실험방법

모르타르의 플로우시험 및 압축강도시험은 KS L 5105, KS F 2514에 준하여 실시하였다. 그리고 내화학성 실험은 28일간 수중양생후 5%의 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 10%의 NaOH 수용액에 각각 침지시켜 각 재령별로 압축강도 및 중량을 측정하였다.

## 2.3 배합설계

배합비는 1:2와 1:3, 물결합재비는 40~60%의 각 5%단위, 슬래그의 분말도는 4500, 5500 및 6500 cm<sup>2</sup>/g, 치환율은 0, 15, 30 및 45%의 4단계로 하여 아직 굳지않은 상태의 플로우치, 경시변화에 따른 플로우치 변화 그리고 경화상태의 압축강도 및 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaOH수용액에 대한 화학저항성을 비교·분석하도록 배합설계하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 굳지않은 모르타르의 물성

고로슬래그 미분말을 첨가한 굳지않은 모르타르의 경시변화에 따른 반죽질기 상태를 알아보기 위해 배합비 1:2, 분말도 5500cm<sup>2</sup>/g, 치환율 0, 30% 및 물결합재비 50%인 표준사와 강모래를 사용하여 두 종류의 모르타르를 만들어 플로우시험을 실시한 결과를 정리한 것이 그림 1이다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 고로슬래그 미분말을 첨가한 경우가 첨가하지 않은 경우에 비해 플로우 값이 경시변화에 관계없이 전반적으로 크게 나타남을 알 수 있다.

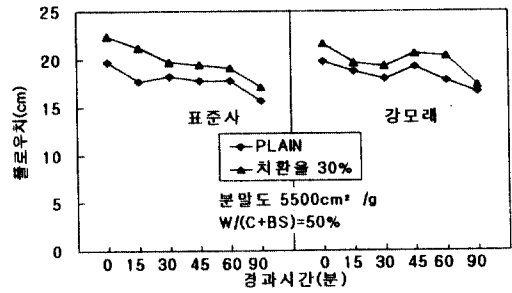


그림 1. 경시변화에 따른 모르타르의 플로우치

### 3.2 경화모르타르의 압축강도

#### (1) 분말도별 모르타르의 압축강도

배합비 1:2, 1:3에 대한 고로슬래그 미분말의 재령에 따른 분말도별 모르타르의 압축강도 시험결과를 정리한 것이 그림 2이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 고로슬래그 치환율 30%에서 분말도가 커질수록 압축강도가 증가하여 최대 22%정도 큰 강도를 나타내고 있다. 이는 고로슬래그는 분말도가 클수록 잠재수경성이 좋아져 강도를 증진시키는 효과가 있는 것으로 본다.

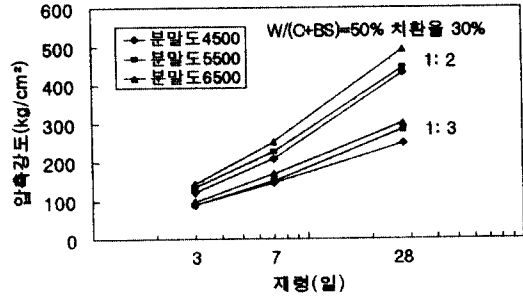


그림 2. 재령에 따른 분말도별 모르타르의 압축강도

#### (2) 물결합재비별 모르타르의 압축강도

물결합재비가 상이한 경우의 재령에 따른 압축강도의 증진을 알아보기 위해 배합비 1:2, 1:3에서 고로슬래그 미분말의 분말도 5500cm<sup>2</sup>/g을 30% 치환한 모르타르의 압축강도 발현성상을 나타낸 것이 그림 3이다.

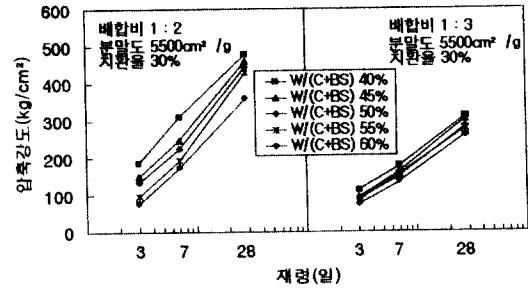


그림 3. 재령에 따른 물결합재비별 모르타르의 압축강도

배합비 1:2는 물결합재비가 증가할수록 압축강도가 크게 감소하여 초기재령인 3일에서 물결합재비 60% 일 때 압축강도는 40% 값의 41% 정도로 나타났으며, 재령이 증가할수록 강도차이는 줄어들음을 알 수 있다. 배합비 1:3인 경우도 마찬가지로 초기재령 3일에서 물결합재비 60%는 40% 값의 67% 정도로 강도가 나타났고 물결합재비간의 차는 배합비 1:2보다 적게 나타났다.

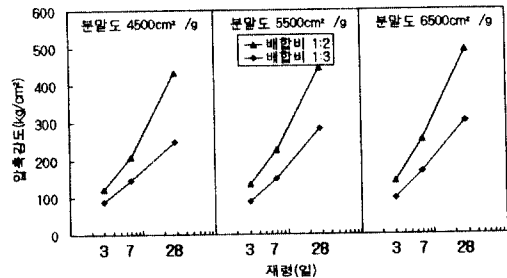


그림 4. 재령에 따른 배합비별 모르타르의 압축강도

#### (3) 배합비별 모르타르의 압축강도

배합비를 달리한 경우에 모르타르의 압축강도 발현성상을 나타낸 것이 그림 4이다. 그림에서 알 수 있는

바와 같이 배합비가 커짐에 따라 압축강도 발현율이 현저히 작아지고 재령이 증가할수록 더욱 뚜렷이 나타남을 알 수 있는데, 이는 상대적으로 단위시멘트량의 감소로 인한 강도감소로 본다

(4) 치환율별 모르타르의 압축강도

고로슬래그 미분말의 치환율별 압축강도 발현성상을 알아보기 위해서 배합비 1:2와 1:3, 분말도 5500cm<sup>2</sup>/g, W/(C+BS)=50% 및 치환율=0, 15, 30, 45%인 모르타르의 압축강도 시험결과를 정리한 것이 그림 5~6과 같다.

그림에서 보는 바와 같이 표준사, 강모래 모두 초기 재령 3일, 7일에서는 치환율이 증가함에 따라 압축강도가 감소되는 경향을 나타내지만 28일 재령에서는 강도가 점차 증가되고 있다. 이는 장기재령에서 고로슬래그 미분말의 치환량이 많을수록 강도가 증가함을 알 수 있다. 특히, 본 실험에서는 치환율 30%에서 강도가 가장 크게 발현되었다.

(5) 잔골재 종류별 모르타르의 압축강도

잔골재의 종류에 따른 압축강도를 비교하기 위해서 배합비 1:2와 1:3, 분말도 5500cm<sup>2</sup>/g에 대하여 물결합재비 50%일 때 치환율을 0, 15, 30, 45%로 한 표준사 및 강모래를 사용한 모르타르를 비교한 것이 그림 7이다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 표준사 모르타르의 압축강도가 강모래 모르타르의 값보다 전반적으로 높게 나타났는데 재령 28일, 치환율 30%일 때 배합비 1:2에서는 5.5%, 1:3에서는 9.9% 높게 나타났다. 초기 재령의 강도는 고로슬래그 미분말을 사용했을 때가 Plain에 비해 낮은 강도를 보이고 있으나 재령 28일에서는 슬래그 미분말로 치환했을 때의 강도가 Plain보다 모두 높게 나타났다.

3.3 경화모르타르의 내화학적

고로슬래그 미분말을 사용한 모르타르의 화학약품에 대한 저항성을 알아보기 위해 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 및 10% NaOH 수용액에 28일 수중양생후 침지시켜 각 재령별로 중량변화를 정리한 것이 그림 8~9와 같다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 수용액

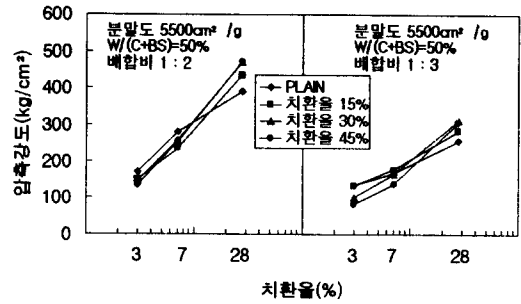


그림 5. 재령에 따른 치환율별 모르타르의 압축강도(표준사)

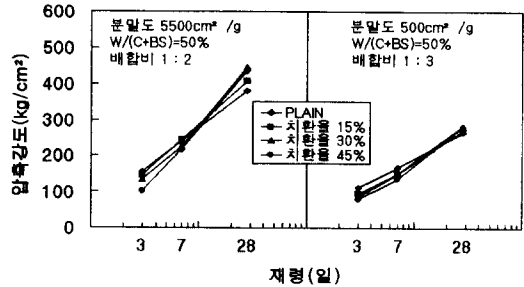


그림 6. 재령에 따른 치환율별 모르타르의 압축강도(강모래)

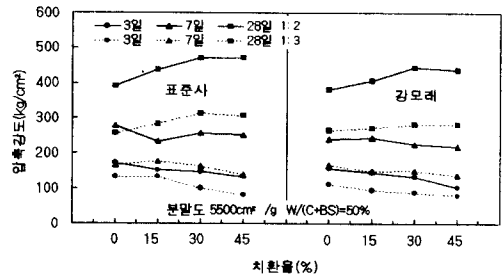


그림 7. 치환율에 따른 잔골재별 모르타르의 압축강도

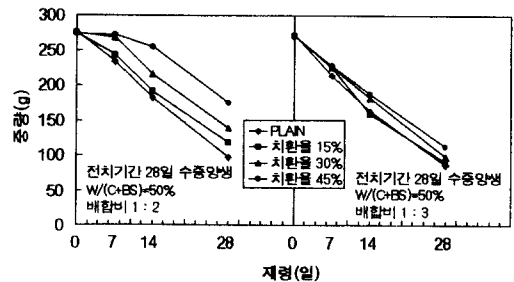


그림 8. 재령에 따른 치환율별 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>침지 모르타르의 중량

에 침지한 모르타르는 재령이 증가함에 따라 증량변화가 배합비에 따라 다소 차이는 있으나 슬래그 치환율이 증가함에 따라 적게 나타났다. 그러나, NaOH 10% 수용액에 침지한 경우에는 치환율 및 재령에 따라 증량변화가 거의 없고 오히려 증가됨을 알 수 있다. 이는 고로슬래그 미분말을 사용한 모르타르가 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 및 NaOH에 대한 저항성이 우수한 것으로 사료된다.

한편, 화학약품에 대한 고로슬래그 미분말을 사용한 모르타르의 압축강도 발현성상에 관하여 실험한 결과는 그림 10~11과 같다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가할수록 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 수용액에 침지한 모르타르의 압축강도는 치환하지 않은 경우보다 적게 감소하였고, 10% NaOH 수용액에 침지한 경우는 압축강도가 오히려 증가하였다. 이것은 고로슬래그 미분말을 혼합한 모르타르가 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 및 NaOH에 대한 화학저항성이 우수하다는 것을 입증한다.

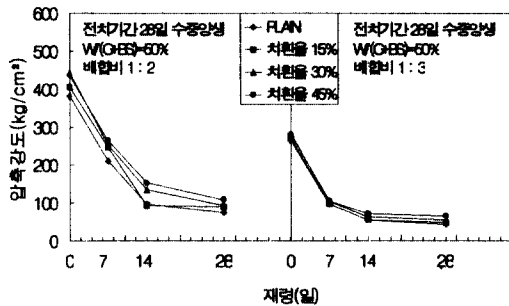


그림 10. 재령에 따른 치환율별 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>침지 모르타르의 압축강도

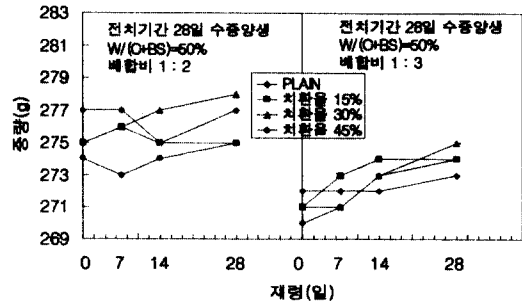


그림 9. 재령에 따른 치환율별 NaOH침지 모르타르의 증량

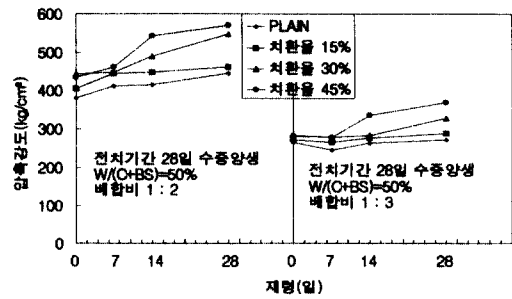


그림 11. 재령에 따른 치환율별 NaOH침지 모르타르의 압축강도

#### 4. 결론

본 연구는 고로슬래그 미분말로 치환한 표준사, 강모래 모르타르의 배합비 1:2, 1:3, 분말도 4500, 5500, 6500cm<sup>2</sup>/g, 물결합재비 40, 45, 50, 55, 60% 그리고 치환율 0, 15, 30, 45%로 다양하게 하여 굳지 않은 모르타르의 물성실험 및 경화한 모르타르의 강도시험과 내화학성실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 고로슬래그 미분말을 사용한 굳지않은 상태의 강모래, 표준사 모르타르의 경시변화에 따른 플로우치는 모두 고로슬래그 미분말을 사용하지 않은 배합에 비하여 높게 나타났는데 이는 유동성이 개선됨을 알 수 있었다.
- 2) 고로슬래그 미분말을 사용한 강모래 모르타르의 분말도별 압축강도는 초기 재령인 3일 강도에서 모두 비슷한 강도 값을 나타내고 있으나, 재령이 증가할수록 높은 분말도를 사용한 쪽이 높은 강도

를 나타내었다.

- 3) 치환율별 강모래, 표준사 모르타르의 압축강도는 초기재령인 3, 7일에서는 고로슬래그 미분말을 사용한 배합의 압축강도가 Plain에 비하여 낮은 강도를 나타내고 있지만, 재령이 증가할수록 미분말을 사용한 배합의 압축강도가 증가하여 Plain의 압축강도 이상으로 나타나고 치환율이 증가할수록 강도발현이 높았는데 30%의 치환율이 가장 좋은 배합으로 나타났다.
- 4) 잔골재의 종류에 따른 치환율별 압축강도는 표준사 모르타르가 강모래 모르타르에 비하여 배합비에 따라 전반적으로 높은 강도를 나타내고 있는데 재령 28일, 치환율 30%일 때 배합비 1:2에서는 5.5%, 1:3에서는 9.9% 더 크게 나타났다.
- 5) 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 수용액에 침지하여 재령경과에 따른 압축강도와 중량변화를 측정된 결과 압축강도와 중량 모두가 재령이 증가할수록 감소하였으나, 고로슬래그 미분말의 치환율이 높은 배합일수록 그 감소의 폭이 적게 나타났다.
- 6) 10% NaOH 수용액에 침지하여 재령경과에 따른 압축강도와 중량변화를 측정된 결과 압축강도와 중량 모두 고로슬래그 미분말의 치환율이 높을수록 조금씩 증가하는 경향을 보이고 있어 고로슬래그 미분말을 혼합 사용하는 것이 화학적 저항성에 우수한 것으로 나타났다.

#### 參 考 文 獻

1. "Ground Granulated Blast Furnace Slag as a Cementitious Constitution in Concrete", ACI 226, IR-87, 1990
2. Yamoto, T., Soeda, M. and Emoto, Y. "Chemical Resistance of Concrete Containing Condensed Silica Fume, "Proceedings 3rd Intl. Conference, Thondheim, Norway, 1989
3. Longo, A., and Torrent, R.J., "Methods of Addition of Blast-Furnace Slag: Their Effect on the Compressive Strength of Mortar and Concrete," Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, ACI SP-91, Vol 2, 1986
4. 中村信行, "高爐水碎슬래그微粉末を用いた高強度コンクリートの研究", 8回コンクリート工學年次講演論文集, 1986
5. 竹内傳幸, 山影久尙, 長尾之彦福島正一, "高爐水碎슬래그微粉末を用いた超高強度コンクリートの實用化に關する研究", 콘크리트工學年次論文報告集, Vol 15, No.1, 1993
6. 前田悅孝外 2名, "高爐水碎슬래그의化學成分가 高爐セメントの強さに及ぼす影響", セメントコンクリート論文集, No.44, 1990
7. 文翰英, 崔然汪, "高爐슬래그 시멘트를 사용한 콘크리트의 특성에 관한 小考", 한국 콘크리트 학회지, 제1권 1호, 1989.
8. 문한영, 최연왕, "고로슬래그 미분말을 혼화재료로 사용한 고강도 콘크리트의 강도특성에 관한 연구", 대한토목학회 논문집, 제16권 1-4호,