

高爐슬래그 微粉末을 사용한 모르터의 基礎物性에 대한 研究

A study on the Fundamental Properties of Mortar Using
Ground Granulated Blast Furnance Slag

문 한 영* 최 연 왕** 류 재 석***
Moon, Han Young Choi, Yun Wang Ryou, Jae Suk

ABSTRACT

The purpose of this study is to examine ground granulated blast furnance(GGBF) slag produced in the country for concrete additive through physical and chemical analysis.

In this study, mortar using ordinary portland cement a part of which was replaced with GGBF slag is investigated through fundamental experiment.

As the result, it was found that GGBF slag increased to some extent flow value and strength of mortar.

1. 서 론

제철산업의 부산물로 발생하는 고로슬래그를 시멘트클링커에 적당량 혼합하여 고로슬래그 시멘트를 제조한다.

고로시멘트는 독일에서 최초로 제조하여 유럽의 여러나라에서 많이 사용되고있는 대표적인 混合시멘트이다.

고로시멘트를 사용한 콘크리트는 수화열이 작고, 장기재령에서의 강도증진이 크며, 산업부산물을 이용하기 때문에 값이 싼점 및 내해수성을 위시한 화학저항성이 우수한 많은 장점을 가진 시멘트이므로 많은 연구 성과와 사용실적이 발표되고 있다. (1~7)

우리나라에서는 1978년에 한국 고로시멘트 회사가 포항에 최초로 공장을 건설하여 고로시멘트를 생산하기 시작하였으며 최근에 와서는 광양제철소의 완공으로 연간 800만톤 규모의 고로시멘트를 생산할 계획을 추진하고 있어 고로시멘트의 생산및 소비량은 계속 증가될 전망이다.

* 정희원, 한양대학교 토목공학과 교수

** 정희원, 한양대학교 토목공학과 박사과정

*** 정희원, 한양대학교 토목공학과 석사과정

1975년에 제정된 고로슬래그 시멘트 KS L 5210에 의하면 슬래그 혼합량을 중량으로 포틀랜드시멘트의 25~60%로 규정하고 있다.

본 연구에서는 국내에서 발생하는 고로슬래그 미분말(이하 슬래그 미분말)을 콘크리트용 혼화재로 사용하는데 필요한 기초자료를 얻기위한 연구의 일환으로 주로 슬래그 미분말의 화학성분 및 물리적 성질에 대하여 분석 검토하고 이를 사용한 모르터의 제성질에 대한 기초적 실험을 실시하여 얻어진 결과에 대하여 고찰하였다.

2. 실험 개요

2-1. 사용 재료

(1) 시멘트 결합재 : 보통포틀랜드 시멘트와 고로슬래그 시멘트(이하 고로시멘트)의 화학성분 및 물리적 성질은 표-1과 같으며, 고로시멘트는 시멘트중 고로슬래그의 혼합량이 50%인 S사 제품을 사용하였다.

(2) 슬래그 微粉末 : 광양제철소에서 발생하는 고로슬래그를 미분쇄하여 얻은 灰白色의 슬래그 미분말의 화학 성분 및 물리적 성질은 표-1과 같다.

표-1. 시멘트 및 슬래그 미분말의 화학 성분 및 물리적 성질

항 목 종 류	화 학 성 분 (%)							비 중	비표면적 (cm ² /g)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig. loss		
포틀랜드시멘트	21.95	6.59	2.81	60.12	3.32	2.11	2.58	3.15	3,112
고 로 시 멘 트	27.15	9.37	1.95	52.69	4.04	2.79	1.18	2.91	3,863
슬래그 미분말	31.12	14.24	0.51	41.40	6.14	4.36	0.63	2.80	4,880

(3) 골재 : 모르타용으로 사용한 잔골재는 표준사와 강모래 두 종류이며, 강모래는 한 강산으로 비중 2.60, 흡수율 2.0%, 조립률 2.57이었다.

2-2. 실험기기 및 실험방법

(1) 주사형 전자현미경(SEM) : 포틀랜드시멘트 및 고로시멘트와 슬래그 미분말의 입형을 비교하기 위하여 SEM으로 2000배 확대촬영하였다.

(2) X-ray 회절 분석 : 슬래그 미분말의 광물조성을 알아보기 위하여 측정조건을 Cuk(Ni, filter) 35 KV, 20 mA, scan speed 8°/min full scale 14 CPS 2θ=15°~45°로 정하였다.

(3) 플로우 시험 : 포틀랜드 시멘트에 슬래그 미분말을 4단계로 첨가한 모르타 및 물-시멘트비 5종류로 변화시킨 고로시멘트 모르타의 콘시멘시를 측정하기 위하여 KS L 5105의 플로우 시험에 준하여 실시하였다.

(4) 압축강도 시험 : 모르타의 강도 시험은 플로우 시험시와 동일한 배합 조건으로 KS L 5105의 규정에 의하여 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 고로슬래그 미분말의 물성

선철을 제조할 때 고로에서 생성되는 熔融 슬래그를 찬공기나 냉수로써 급냉시킨, 급냉 고로슬래그를 미분쇄한 분말을 여기서는

고로슬래그 미분말이라 하며, 이를 포틀랜드시멘트 클링커에 혼합한 것을 고로슬래그 시멘트라 한다.

1970년대만 하더라도 우리나라에서는 고로슬래그를 산업부산물로 매립용 재료, 도로포장용 補助基層材 등으로 주로 사용하였을 뿐만 아니라 이를 처리하기 위하여 많은 비용이 소요되었다. 그러나 최근에 와서 고로슬래그를 資源化 하여 再活用하기 위한 방안으로 콘크리트용 혼화재 및 골재로 사용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그래서 슬래그 미분말 및 슬래그 미분말과 포틀랜드시멘트의 비율을 50:50으로 혼합한 고로시멘트와 보통포틀랜드시멘트 3종류의 화학성분 및 물리적 성질을 비교한 것이 표-1이다. 슬래그 미분말의 화학성분은 표-1에서 알 수 있듯이 포틀랜드시멘트의 주성분과 같은 SiO₂, Al₂O₃, CaO의 3성분으로 이루어져 있으며, 무수황산(SO₃)성분은 KS L 5210의 1급 규정 4.5% 이하 값이며 본 연구실험에 사용된 고로시멘트는 특급 규정 3.0% 이하 값을 만족하는 시료였다. 그래서 고로슬래그의 품질을 평가할 때 기초자료가 되는 顯基度를 계산해 보면 1.98로서 한국공업규격의 1.4 이상을 만족하고 있음을 알 수 있다.

슬래그 미분말의 광물조성을 알아보기 위하여 X-ray 회절분석을 실시한 결과가 그림-1이다. 이 그림에서 슬래그 미분말은 거의 대부분이 유리질인 非結晶구조임을 알 수 있으며, 유리질의 슬래그는 그 속에 포함된 각종 광물이 구조상 불안정한 상태이며 알칼리성 물질의 자극에 의하여 경화하는 잠재수경성을 가지고 있으며 유리질량이 많은 슬래그

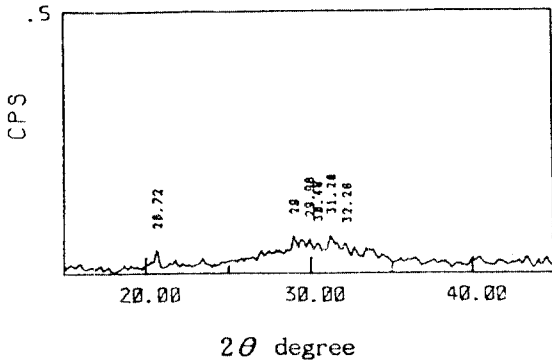


그림-1. 슬래그 미분말의 X-ray 회절분석

일수록 잠재수경성이 크다고 한다.(8)

한편 슬래그 미분말의 비중은 포틀랜드시멘트보다 작은 2.80, 고로시멘트는 2.91이었으며 고로시멘트의 분말도는 한국공업규격에 의하면 특급 2800cm²/g이상, 1급 2600cm²/g 이상으로 규정하고 있으나, 본 실험에 사용한 슬래그 미분말의 분말도는 비표면적으로 4880cm²/g, 고로시멘트는 3863cm²/g으로 보통포틀랜드시멘트보다 훨씬 큰 값을 알 수 있다.

슬래그 미분말의 입자모양을 관찰하기 위하여 전자현미경으로 2000배 확대하여 고로시멘트와 포틀랜드시멘트 입자를 비교한 것이 사진-1, 2. 및 3이다.



사진-2. 고로시멘트의 입자모양



사진-3. 포틀랜드시멘트의 입자모양



사진-1. 슬래그 미분말의 입자모양

이들 3종류 사진에서 입자모양의 특성은 찾아보기 어려웠으나 슬래그 미분말의 경우, 포틀랜드시멘트 입자와 비교해서 얼마간 각이진 모양을 나타냄을 알 수 있다. 그리고 고로시멘트의 水和熱을 측정해 본 결과 포틀랜드시멘트의 재령 7일 및 28일에 각각 80 및 90cal/g 정도임에 반하여 70cal/g 및 80cal/g정도로서 단면이 큰 콘크리트 구조물 및 서중 콘크리트용으로 사용하면 유리하다고 생각되었다.

3-2. 슬래그 미분말을 첨가한 모르터의 콘시스턴스

슬래그 미분말을 5단계로 첨가한 굳지않은 모르터의 콘시스턴스를 알아보기 위하여 강모래와 표준모래를 잔골재로 사용하여 표준배합한 두 종류의 모르터를 만들어 플로우시험을 실시한 결과를 정리한 것이 그림-2이다. 이 그림에서 동일한 물-시멘트비 임에도 불구하고 슬래그 미분말을 첨가하는데 따라 모르터의 플로우값이 약간 증가되는 결과를 나타내었다. 이러한 결과는 슬래그 미분말의 분말도가 큰 것에 기인되었다고 생각된다.

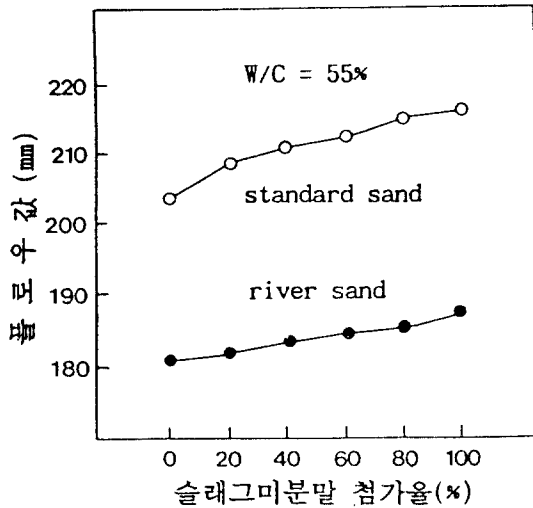


그림-2. 슬래그 미분말의 첨가율과 모르터의 플로우 값과의 관계

이번에는 표준모래를 사용하여 고로시멘트와 포틀랜드시멘트로서 제조한 모르터의 물-시멘트비와 플로우값과의 관계를 정리한 것이 그림-3이다.

이 그림에서 동일한 물-시멘트에서 두 종류 시멘트의 플로우값을 비교해 보면 고로시멘트를 사용한 모르터의 플로우값이 약간 큼을 알 수 있다. 이는 고로시멘트와 포틀랜드시멘트 입자의 모양에 큰 차이가 없는 점을 감안 할 때 분말도의 상이에 따른 결과로 생각된다. 다시 말해서 분말도 큰 고로시멘트

모르터의 플로우값이 동일 물-시멘트비에서 크게 나타났다.

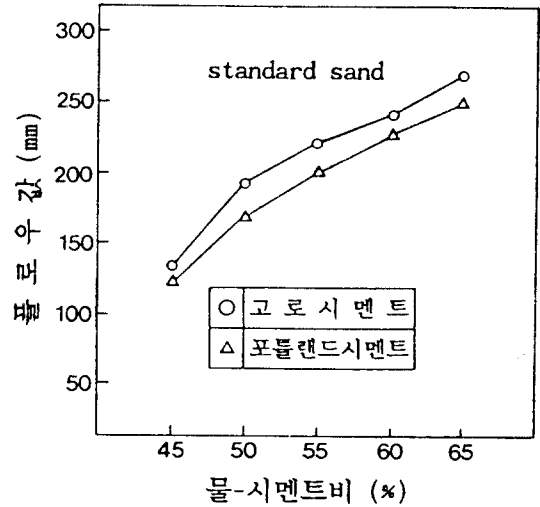


그림-3. 물-시멘트비가 상이한 모르터의 플로우값

이번에는 현장에서의 작업성을 고려해서 모르터 믹싱후 경과시간에 따른 콘시스턴스 변화를 알아보기 위하여 슬래그 미분말을 변화시킨 5종류의 모르터에 대한 믹싱후 경과시간 180분까지의 플로우 손실(flow loss)을 백분율로 나타낸 것이 그림-4이다.

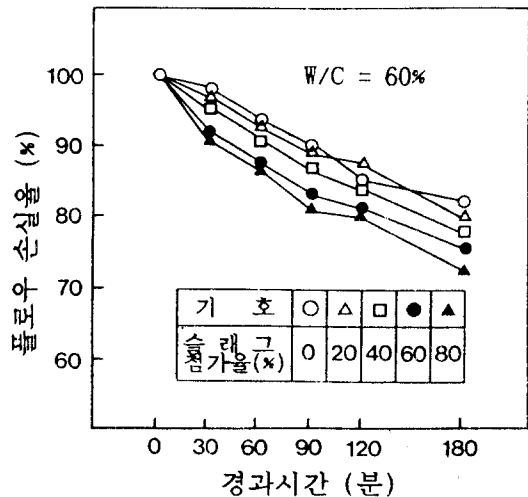


그림-4. 믹싱후 경과시간에 따른 모르터의 플로우 손실을

이 그림에서 슬래그 미분말을 첨가하는데 따라 플로우 값이 약간씩 증가하는 경향을 나타냄으로써 슬래그 미분말을 첨가한 모르터의 시공성이 불리한 결과임을 알 수 있으며, 슬래그 미분말의 혼합비율이 현저하게 클 경우 굳지않은 콘크리트의 유동성 손실이 오히려 증가한다는 연구보고(9)도 있으므로 슬래그 미분말의 혼합율이 모르터 및 콘크리트의 유동성 손실을 저감시키는데는 효과가 없음을 알 수 있다.

3-3. 슬래그 미분말을 첨가한 모르터의 압축강도

슬래그 미분말을 첨가한 모르터의 압축강도와 슬래그 미분말의 첨가율의 적정값을 알아보기 위하여 슬래그 미분말의 첨가율을 변화시킨 5배합의 모르터에 대한 압축강도를 슬래그 미분말의 첨가율에 대하여 정리한 것이 그림-5이다.

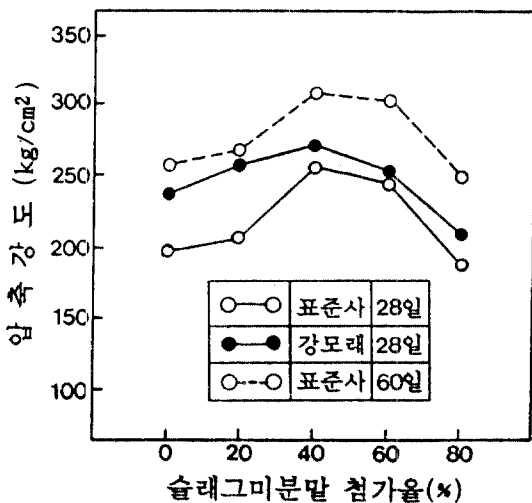


그림-5. 슬래그 미분말의 첨가율과 모르터의 압축강도와의 관계

이 그림에서 알 수 있듯이 강모래와 표준모래를 사용한 두 종류 모르터 다같이 슬래그 미분말 첨가율 40%정도에서 압축강도의

최대치를 나타내었으며, 강모래를 사용한 모르터의 압축강도가 표준모래를 사용한 모르터보다 얼마간 큰을 알 수 있다.

이번에는 고로시멘트와 보통포틀랜드시멘트만을 사용한 모르터 두 종류에 대하여 물-시멘트비를 45%에서 65%까지 변화시킨 5배합의 모르터에 대한 재령 28일과 60일의 압축강도를 측정하여 정리한 것이 그림-6이다.

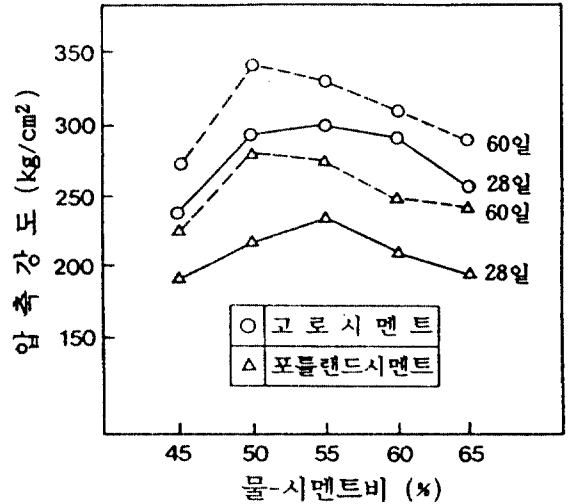


그림-6. 물-시멘트비가 상이한 두 종류 모르터의 압축강도

이 그림에서 알 수 있듯이 동일한 물-시멘트비일 때 재령 28일과 60일 다같이 고로시멘트 모르터의 압축강도가 보통시멘트 모르터보다 최대 약 38% 정도 큰 강도를 나타내었다.

고로시멘트 모르터의 재령 28일의 압축강도가 보통시멘트 모르터보다 큰 이유는 고로시멘트의 분말도가 보통포틀랜드시멘트보다 비표면적으로 약 750cm²/g 정도 크기 때문에 조기강도 증진효과가 있었다고 생각되었으며, 재령 60일의 압축강도가 큰 이유는 고로시멘트의 분말도가 큰 이유 이외에도 슬래그 분말의 잠재수경성이 강도를 증진시키는데 기여하였다고 생각되었다.

4. 결 론

광양 제철소에서 발생한 고로슬래그 미분말을 콘크리트용 혼화재료로 사용하기 위한 연구의 일환으로 실시한 기초실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 고로슬래그 미분말의 물성은 한국공업규격의 고로슬래그 시멘트에서 정하는 무수황산 성분, 염기도 및 분말도 등의 규정값을 만족함을 알 수 있으며, 광물조성을 관찰해 본 결과 대체로 유리질량이 많으며 입자모양은 시멘트 입자보다 약간 각이 많은 모양임을 알았다.

(2) 고로슬래그 미분말을 첨가한 모르타의 콘시스턴시를 알아보기 위하여 실시한 실험 결과, 플로우 값은 얼마간 증가하는 경향을 나타내었으나, 믹싱 후 경과시간에 따른 플로우 손실(flow loss)은 오히려 약간 큰 불리한 경향을 나타내었다.

(3) 고로슬래그 미분말을 몇단계로 첨가한 모르타의 압축강도는 첨가율 40% 정도에서 최대치를 나타내었으며, 고로슬래그 시멘트를 사용하여 제조한 모르타의 압축강도는 보통 모르타보다 얼마간 큰 강도 발현을 나타내었다.

본 연구는 기초연구실험의 중간 결과이며 계속 연구가 수행 중입니다. 아울러 고로슬래그 미분말을 제공해 주신 쌍용양회공업주식회사와 연구비를 지원해 주신 한국과학재단 당국에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Proceedings Third International Conference "Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete" Trondheim, Norway, 1989.
2. Proceedings Fourth International Conference "Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete" Istanbul, Turkey, May, 1992.
3. "Ground Granulated Blast Furnace Slag as a Cementitious Constituent in Concrete" ACI 226, IR-87, 1990.
4. 丸安隆和 外 2名, 高爐セメント・コンクリートの研究, 社団法人 土木學會, 콘크리트・ライフ~ラリ-, 第25號, 1979.4.
5. 小林一輔 外 2名, 高爐水碎スラク"粉末のコンクリート混和材としての使用方法に関する研究, 콘크리트工學, Vol.17, No.5, 1979.5.
6. 依田彰彦 外 1名, 高爐スラク"微粉末 20, 45, 60%內割添加したコンクリートの性質, セメント・コンクリート論文集, No.40, 1989.
7. 前田悦孝 外 2名, 高爐水碎スラク"の化學成分か"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.
8. 文翰英, 崔然汪, 高爐슬래그 시멘트를 사용한 콘크리트의 特性에 관한 小考, 콘크리트학회지, 제1권 1호, 1989.9.
9. 古川茂 外, 高爐スラク"微粉末のコンクリートの適用に関する シンポジウム, 社団法人 土木學會 論文集, 1987.