

高爐水碎슬래그 잔골재의 品質에 대한 考察

A Study on the Quality of the Water Cooled Blast Furnace
Slag Fine Aggregate

문한영* 최연왕** 김기형***
Moon, Han Young Choi, Yun Wang Kim, Ki Hyung

ABSTRACT

The purpose of this study is to examine through the experimental study whether the water cooled unprocessed blast furnace slag produced in the country is useful for the fine aggregate of concrete or not. The results of this study show that the quality of the water cooled blast furnace slag is inferior to that of natural river sand and that the concrete made by substituting the water cooled blast furnace slag for fine aggregate have a tendency to decrease to some extent in strength. But if the water cooled blast furnace slag is transformed into more hardened state material, to use it as the fine aggregate of concrete will be possible.

1. 서 론

제철산업의 부산물로 발생하는 高爐슬래그는 緩冷슬래그와 急冷슬래그로 나누며, 완냉슬래그는 熔融상태의 슬래그를 공기중에 방치하여 서서히 식힌 결정질의塊狀상태를 말하며, 급냉슬래그는 냉수 또는 찬 공기로 냉각처리하는 방법에 따라 水碎슬래그 및 空碎슬래그로 분류한다.

완냉 처리된 고로슬래그는 파쇄하여 콘크리트용 굵은골재로 사용하거나 도로포장용 기층재 등으로 사용한 실적 및 연구성고가 발표되고 있으며^(1,2), 급냉처리된 고로슬래그는 미분쇄하여 시멘트 클링커에 혼합한 고로시멘트와 콘크리트의 혼화재료로 사용된 연구 실적은 많이 있다.^(3,4) 그러나 급냉고로슬래그중 水碎슬래그를 콘크리트용 잔골재로 사용할 수 있도록 한국공업규격이 제정되어 있으나, 우리나라에서는 이 분야에 관련된 연구보고서는 찾아 볼수 없는 실정이다.

일본의 경우에는 高爐水碎슬래그의 경우 용융온도를 달리하므로써 軟質슬래그와 硬質슬래그로 만들어 각각 고로시멘트 원료와 콘크리트 잔골재용으로 사용되고 있으며, 토목학회와 건축학회에서도 설계시공지침을 제정하고 있다.^(5,6)

본 연구에서는 포항제철에서 발생하는 고로수쇄슬래그를 미가공한 상태 그대로 콘크리트용 잔골재로 사용

* 한양대학교 토목공학과 교수

** 한양대학교 대학원 석사과정

*** 한양대학교 대학원 박사과정

가능한지 여부를 알아보기 위한 기초 연구의 일환으로 高爐水碎잔골재의 물성과 천연잔골재에 일부 대체한 콘크리트의 제 강도에 관하여 실시한 시험결과를 고찰하였다.

2. 실험개요

2-1 사용재료

(1) 시멘트 : 시멘트는 보통포틀랜드시멘트로서 화학성분 및 물리적 성질은 표-1과 같다.

표-1 시멘트 화학성분 및 물리적 성질

화 학 성 분 (%)						I _g ·loss (%)	비표면적 (cm ² /g)
SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₃	CaO	MgO	SO ₃		
21.8	5.84	3.56	60.62	3.54	2.58	0.95	3.422

(2) 골재 : 골재는 한강산 강모래와 강자갈로서 물리적 성질은 표-2와 같다.

표-2 골재의 물리적 성질

항목 종류	굵은골재 최대치수 (mm)	비 중	흡수율 (%)	조립률 (FM)	유 기 불순물	단위용적 량 (kg/cm ³)	실적률 (%)
굵은골재	25	2.68	0.90	7.20	-	1.734	64.7
잔 골 재	-	2.62	1.50	2.18	양호	1.620	61.8

(3) 고로수쇄슬래그 : 포항종합제철에서 발생하는 급냉슬래그의 화학성분을 조사한 것이 표-3이다.

표-3 고로수쇄슬래그의 화학 성분

항목 분류	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	SO ₃	Na ₂ O	S
슬래그	40.9	36.2	15.2	0.5	6.7	0.52	0.1	0.23	-
KS F 2559	45.0 이하	-	-	3.0 이하	-	-	0.5 이하	-	2.0 이하

2-2 실험기구 및 방법

(1) 走査型電子顯微鏡 (SEM) : 강모래와 고로수쇄슬래그 잔골재의 粒形을 비교하기 위하여 각 시료를 SEM으로 30 배 및 100 배 확대하여 촬영하였다.

(2) X선회절분석 : 고로수쇄슬래그의 광물조성을 알아보기 위하여 측정조건을 CuK(Ni, filter) 30 KV, 20 mA, scan speed 8°/min full scale 14 cps 2θ= 10° ~ 80° 로 정하였다.

(3) 압축강도시험 : 고로수쇄슬래그 잔골재의 대체율이 0, 20, 40, 60 %인 $\phi 10 \times 20$ cm인 원주형 콘크리트 공시체를 제조한 후 21 ± 1 °C의 수중에서 표준양생하였다. 콘크리트 압축강도 시험은 KS F 2505의 규정에 따라 실시하였다.

2-3 콘크리트의 배합

콘크리트 강도시험에 사용한 배합은 고로수쇄슬래그를 용적비로 0 %, 20 %, 40 %, 60 %의 4단계로 하였으며 목표 슬럼프는 13 ± 1 cm, 단위시멘트량은 350 kg/m^3 로 정하였다.

3. 실험결과에 대한 고찰

3-1 高爐水碎슬래그 잔골재의 물성

급냉한 고로슬래그를 콘크리트용 골재로 사용하고자 KS F 2559 「콘크리트용 고로슬래그 잔골재」가 1983년 제정되었다.

그래서 본 연구에서는 포항제철에서 급냉처리된 고로수쇄슬래그(이하 슬래그로 약함)의 품질이 콘크리트용 잔골재로 사용가능한지 여부를 알아보기 위하여 잔골재의 물성에 대하여 검토하고자 한다. 먼저 골재의 고유한 성질을 평가하는데 가장 기본이 되는 비중, 흡수율 및 단위용적 중량 등을 측정한 결과가 표-4이다.

표-4에서 알 수 있듯이 잔골재의 비중 및 흡수율이 한국공업규격에서는 2.50 이상, 1.5%이하인데 비

표-4 고로수쇄슬래그의 물리적 성질

항목 종류	비 중	흡수율 (%)	조립률 (FM)	유 기 불순물	단위용적 중량 (kg/cm ³)	실적률 (%)
슬래그 잔골재	2.26	5.50	3.11	양호	1,133	50.1
KS F 2559	2.50 이상	1.5 이하	-	-	1,450 이상	-

하여 비중 2.26, 흡수율 5.50 %이며 단위용적 1,133 kg/m³으로 규격에 미달되는 값을 알 수 있다. 그래서 본 실험에 사용된 시료의 비중이 적고, 흡수율이 큰 이유를 알아보기 위하여 주사현미경 (SEM)으로 강모래와 슬래그 입자를 100 배 확대하여 촬영한 것이 사진-1, 사진-2이다.



사진-1 강모래의 형상 및 표면조직 사진 (100 배 확대)

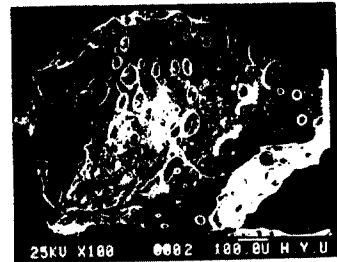


사진-2 고로수쇄슬래그의 형상 및 표면조직 사진 (100 배 확대)

이 사진에서 강모래와 슬래그 입자의 형상과 표면조직을 비교해 보면 슬래그의 표면에는 포러스(porous)한 부분이 많이 존재하고 있어 강모래보다 치밀하지 못한 구조임을 알 수 있다.

포러스한 多孔質의 생성은 슬래그가 1500 °C 정도의 고온 용융상태를 급격히 냉각시키는 과정에서 불규칙한 기포가 만들어졌다고 생각된다.

일본의 경우 콘크리트용으로 사용되는 슬래그잔골재는 제조과정에서 용융온도를 달리하므로써 강도가 큰 硬質水碎슬래그를 콘크리트용 잔골재로 사용하는 것이 일반적이다.

그러나 우리나라에서 발생되는 슬래그는 軟質水碎슬래그에 해당된다고 판단되므로 콘크리트용 잔골재로서는 경질수쇄슬래그보다 부적합하다고 생각된다.

이번에는 슬래그 입도를 평가하기 위하여 전자 현미경으로 강모래와 슬래그를 30 배 확대하여 입형을 비교한 것이 사진-3 및 사진-4이다.



사진-3 강모래 입형사진 (30 배 확대)



사진-4 고로수쇄슬래그 입형사진 (30 배 확대)

이 두 사진에서 알 수 있듯이 슬래그 입형의 형상이 부순모래와 비슷한 비교적 각이 많이진 모양을 하고있어 강모래 실적률 61.8%보다 훨씬 작은 50.1% 정도에 지나지 않았으므로 미가공슬래그의 형상은 강모래보다 콘크리트용 잔골재로서 불리함을 알았다.

그래서 슬래그를 체분석하여 조립률이 상이한 5종류(F.M = 1.75, 2.15, 2.70, 3.38 및 3.85)로 입도를 조절하고 슬래그의 입도별로 모르터를 제조하여 흐름시험(flow test)을 실시한 결과가 그림-1이다.

이 그림에서 슬래그의 조립률 2.70 일때 모르터의 흐름값이 가장 좋음을 알 수 있었으며 이때의 입도는 표준입도곡선의 중간위치에 분포하였다.

또한 슬래그를 강모래와 5 단계로 대체하여 모르터의 흐름값을 측정하여 정리한 것이 그림-2이다.

그림-2 에서 강모래만 사용한 모르터의 흐름값에 비교해서 슬래그의 대체율이 증가하는데 따라 거의 직선

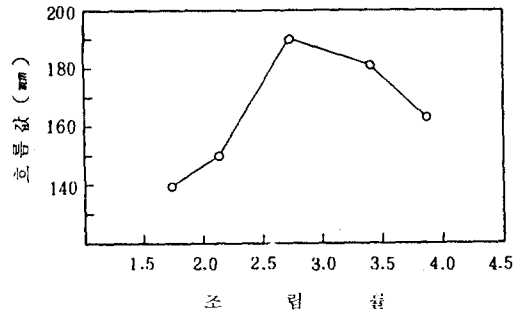


그림-1 고로수쇄슬래그 잔골재의 입도와 모르터 흐름값과의 관계

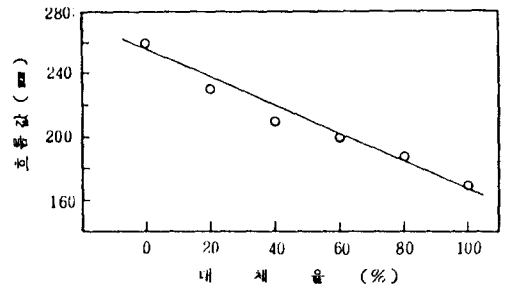


그림-2 고로수쇄슬래그 잔골재의 대체율과 흐름값과의 관계

적으로 (3.5~6.0% 범위로) 저하됨을 알 수 있다.

다시말해 미가공 슬래그를 강모래와 대체하여 사용할 경우 동일한 콘시스턴스를 확보하기 위해서 단위수량이 크게 요구되는 문제점을 지적할 수 있겠다.

끝으로 본 실험에 사용된 슬래그의 중요 화학 성분은 표-3 에서와 같이 한국공업규격에 적합하는 값을 알 수 있으며, 광물조성을 알아보기 위하여 X선회절분석을 실시한 결과가 그림-3이다.

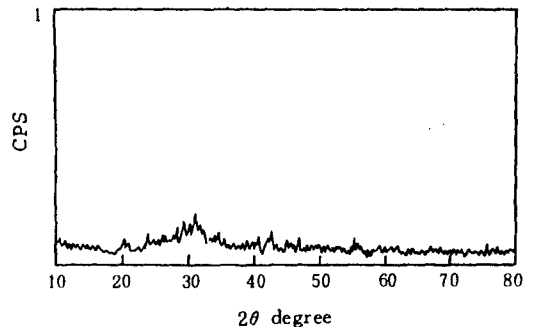


그림-3 고로수쇄슬래그의 X-ray 회절분석

위 그림에서 슬래그는 거의 대부분이 유리질인 非結晶구조임을 알 수 있다.

이상의 실험결과 포항제철의 고로에서 급냉처리된 고로수쇄슬래그를 미가공 상태로 콘크리트용 잔골재로 사용하기에는 문제점이 있음을 지적할 수 있겠다.

3-2 高爐水碎슬래그 잔골재를 사용한 콘크리트의 강도

슬래그 잔골재를 강모래의 일부와 대체 (0, 20, 40 및 60%) 하여 제조한 콘크리트의 재령 7, 28 및 60 일의 압축강도, 인장강도 및 탄성계수를 측정하여 정리한 것이 그림-4 및 그림-5이다.

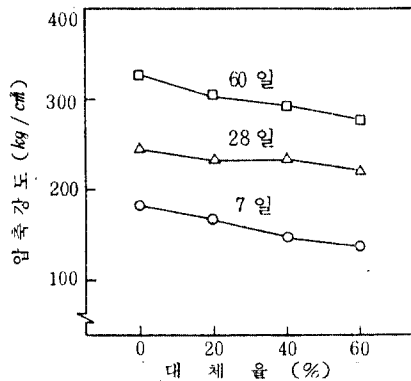


그림-4 고로수쇄슬래그 잔골재를 사용한 콘크리트의 대체율과 압축강도와의 관계

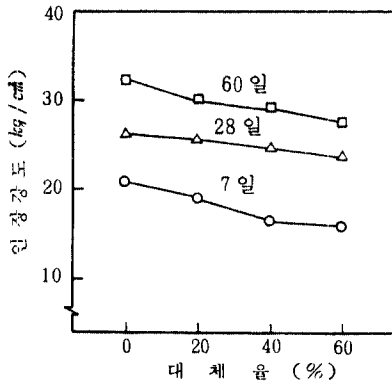


그림-5 고로수쇄슬래그 잔골재를 사용한 콘크리트의 대체율과 인장강도와의 관계

그림-4와 그림-5에서 슬래그 잔골재를 4단계로 대체하는데 따라 재령에 관계없이 슬래그의 대체율이 증가하는데 따라 압축강도와 인장강도가 각각 6%, 7% 정도 감소됨을 알 수 있다.

依田(9)는 경질의 고로수쇄슬래그를 사용한 콘크리트의 강도는 동일한 물시멘트비 일때, 강모래를 사

용한 보통콘크리트의 압축강도와 인장강도 다같이 거의 같은 정도라고 보고한 연구내용과 본 실험결과는 상이함을 알 수 있다.

그 이유는 본 실험에 사용된 슬래그의 품질이 규격 이하일 뿐만아니라 콘크리트배합시 동일한 워커빌리티를 얻기 위하여 슬래그의 대체율이 증가하는데 따라 비례하여 증가한 단위수량의 증가에도 기인되었다고 생각된다.

이번에는 슬래그를 사용한 콘크리트의 압축강도와 인장강도 및 압축강도와 탄성계수와의 관계를 나타낸 것이 그림-6 및 그림-7이다.

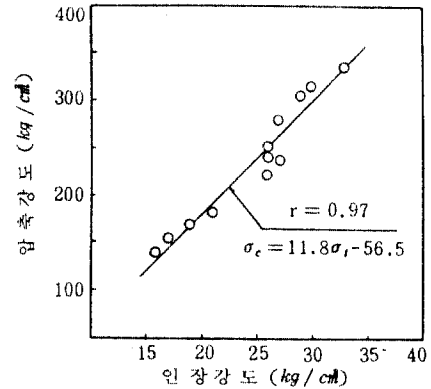


그림-6 고로수쇄슬래그 잔골재를 사용한 콘크리트의 압축강도와 인장강도와의 관계

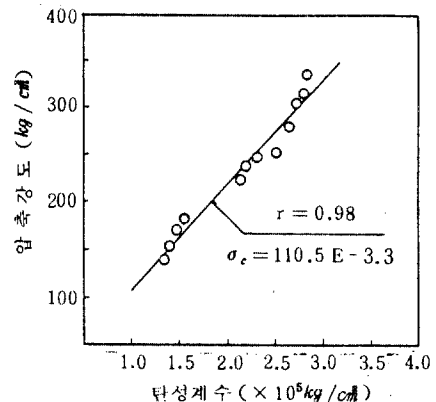


그림-7 고로수쇄슬래그 잔골재를 사용한 콘크리트의 압축강도와 탄성계수와의 관계

그림-6에서 슬래그를 60%까지 대체한 콘크리트의 압축강도와 인장강도와의 사이에는 보통콘크리트와 비슷한 강도비가 10 전후이며 상관관계 0.97 정도의 좋은 직선관계가 성립됨을 알 수 있다. 한편 슬래그를 사용

한 콘크리트의 압축강도와 탄성계수와의 사이에도 거의 직선적인 상관관계가 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

(1) 고로수쇄슬래그의 광물조성을 X선회절분석 해본 결과 거의 대부분이 유리질인 비결정구조로서, 알칼리의 존재하에서 수경성이 있음을 알았다.

(2) 고로수쇄슬래그 잔골재의 비중, 흡수율 및 단위용적중량은 강모래보다 크게 떨어지며 한국공업규격에도 미달되는 품질임을 알았다.

(3) 고로수쇄슬래그 잔골재의 입형은 대부분의 부순모래와 같이 대체로 각이 많아진 형상이므로 동일한 콘시스템시의 모르타나 콘크리트를 제조하기 위해서는 단위수량이 크게 요구되는 문제점이 있다.

(4) 고로수쇄슬래그 잔골재를 일부 강모래와 대체하여 콘크리트를 제조한 결과 강도 및 탄성계수 다같이 대체율이 증가하는데 따라 얼마간 감소 현상을 나타내었으나, 강도상호간의 상관관계는 비교적 좋음을 알았다.

국내에서 발생되는 고爐水碎슬래그를 콘크리트용 잔골재로 사용하기 위해서는 일차적으로 슬래그를 제조과정에서 硬質水碎로 가공처리 및 입도조정해야 할 필요가 있다고 생각되었다.

참 고 문 헌

1. 文翰英 外 2 名, 高爐슬래그를 골재로 使用한 콘크리트의 제 성질에 관한 研究, 大韓土木學會學術講演會論文, 1984.10.
2. 文翰英 外 2 名, 高爐슬래그를 使用한 콘크리트의 配合設計에 關한 基礎的 研究, 産業科學論文集, 漢陽大學校 産業科學研究所, No. 21.
3. 文翰英 外 2 名, 高爐슬래그 畵은 골재를 使用한 콘크리트 강도에 대한 高찰, 大韓土木學會學術講演會論文, 1985.10.
4. 高爐슬래그 畵은 골재 콘크리트設計施工指針, 社團法人 大韓土木學會, 1983.
5. 丸安隆和 外 2 名, 高爐セメントコンクリートの研究, 社團法人 土木學會, コンクリート・ライブラリー, 第25號, 1979.4.
6. 小林一輔 外 2 名, 高爐水碎スラグ粉末のコンクリート混和材としての使用方法に關する研究, コンクリート工學, Vol. 17, No. 5, 1979.5.
7. 高爐スラグ細骨材を用いたコンクリートの設計施工指針(案) 社團法人 土木學會, 1983.2.
8. 高爐スラグ細骨材を用いたコンクリート施工指針・同解説, 社團法人 日本建築學會, 1983.6.
9. 依田彰彦, 高爐スラグ碎砂を用いたコンクリートについて, セメント技術年報, 32, 1978.