

# 전기로 및 전로슬래그 골재의 품질에 대한 고찰

## A Study on the Properties of Electric Arc Furnace Slag and Converter Slag Aggregate

유정훈\* 조영권\* 김관호\* 이준구\* 심종성\*\* 박철우\*\*  
Yoo, Jung-Hoon Cho, Young-Kwon Kim, Kwan-Ho Lee, Joon-Gu Shim, Jong-Sung Park, Cheol-Woo

### ABSTRACT

In this paper, we researched and compared the properties of steel slag(is divided with electric arc furnace slag and converter slag) as concrete aggregate by measuring physical and chemical characteristics of it. The steel slag mainly contains SiO<sub>2</sub> and CaO as the chemical composition. The reaction with water and a little of free CaO in the slag causes slag's volume to expand. Therefore, we used several aging methods in order to decrease the characteristics of slag volume expansion. The physical properties of steel slag aggregate is researched and then the strength of concrete with the steel slag aggregate is measured.

### 1. 서론

최근 바다모래의 채취에 따른 어족자원의 파괴 등 환경 문제로 인해 수도권의 경우 콘크리트용 양질의 천연골재의 부족현상이 심각한 실정이고, 이러한 어려움을 해결하기 위해 2005년도에는 순환골재에 대한 용도별 품질기준이 마련되고, 일부 건설 현장에서는 순환골재의 의무 사용을 규정하는 등 환경을 고려한 대체골재에 대한 관심이 증가하고 있는 현실이다. 따라서 국내외적으로 제철, 제련공정에서 발생하는 각종 슬래그를 콘크리트용 골재로 활용하기 위한 연구 및 규격 제정이 활발하게 이뤄지고 있다. 이를 배경으로 국내에서는 콘크리트용 동슬래그 골재(2000년)와 연슬래그 골재(2002년)에 대한 한국산업규격이 제정되었으며, 일본에서도 2000년대 초에 동슬래그 뿐만 아니라, 페로니켈슬래그 및 전기로산화슬래그를 콘크리트용 골재로 활용하기 위한 규격 및 시공지침을 제정하였다. 특히, 제강공정에서 발생하는 제강슬래그는 팽창 붕괴하는 특성을 지니고 있어, 고로슬래그와는 달리 대부분 도로용 골재, 매립, 공정 재사용 등으로 활용 효율이 낮았으나, 최근 제강업체에서 전로슬래그의 발생량을 억제하기 위해 용선예비처리를 적극적으로 실시할 뿐만 아니라 기존 파쇄 방식보다 우수한 품질의 슬래그를 생산하기 위해 개질, 풍쇄 등 새로운 방식으로 슬래그를 생산하여 활용 효율을 높이하고자 하는 연구가 계속되고 있다.

따라서 본 연구에서는 건설교통부 제정 콘크리트 표준시방서에서 전기로나 전로 등의 제강슬래그는

\* 정회원, 한국농촌공사 농어촌연구원, 연구원  
\*\* 정회원, 한양대학교 건설교통공학부, 교수  
\*\*\* 정회원, 한양대학교 건설교통공학부, BK21 교수

콘크리트용 골재로서는 불안정한 광물상으로 구성되어 있으므로 사용하지 못하도록 규정되어 있는 제강슬래그를 전로와 전기로로 각각 구분하여 슬래그의 팽창성, 골재로서의 품질 및 이를 사용한 콘크리트의 품질에 대하여 고찰하였다.

## 2. 사용재료

(1) 시멘트 : 보통포틀랜드시멘트의 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1. 시멘트의 화학성분 및 물리적 성질

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 (%)	Specific Gravity	Surface Area(cm <sup>2</sup> /g)
20.30	6.20	3.20	62.40	3.00	2.00	1.90	3.14	3,265

(2) 잔골재 : 비중 2.60, 조립률 2.81의 바다모래를 세척하여 사용하였다.

(3) 굵은골재 : 최대치수 20mm인 전기로슬래그 굵은골재(전기로골재 또는 EAFSA라 약함), 전로슬래그 굵은골재(전로골재 또는 CSA라 약함) 및 부순돌(NA로 약함)을 동일 입도로 조정하여 사용하였으며, 물리적 성질은 표 2와 같다.

## 3. 실험방법 및 배합

(1) 에이징방법 : 증기에이징은 100℃, 1기압의 증기실에 3일 동안 넣은 후 꺼내어 대기 중에 야적하였으며, 온수중에이징은 80℃의 수중에서 1일 및 3일동안 침지시킨 후 대기 중에서 7일 이상 야적하였다. 공기중에이징은 대기중에 야적방치하였다.

(2) 수침팽창비 시험 : KS F 2580의 철강슬래그의 80℃ 수침 팽창 시험방법에 따라 실험하였다.

(3) 콘크리트 배합 : 설계기준강도 28MPa, 물-시멘트비 55%, 슬럼프 8±2cm, 잔골재율 40% 및 공기량 4±1.5%를 목표로 배합을 정하였다.

표 2. 전기로 및 전로골재의 물리적 성질

Types \ Items		Specific gravity	Absorption (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Percentage of solids (%)	Fineness modulus	Abrasion (%)
NA		2.63	0.78	1,741	66.2	6.75	28.9
EAFSA	Non aging	3.30	1.64	2,006	60.8	6.75	25.9
	Air aging(1 month)	3.27	1.50	1,998	61.1	6.75	25.0
	Hotwater aging (1 day)	3.21	1.80	2,011	62.6	6.75	27.6
	Hotwater aging (3 days)	3.20	1.90	2,006	62.7	6.75	26.5
	Steam aging (3 days)	3.18	1.75	2,001	62.9	6.75	27.2
CSA	Non aging	3.54	1.99	1,954	55.2	6.75	16.9
	Air aging(1 month)	3.39	1.96	1,922	56.7	6.75	16.8
	Hotwater aging (1 day)	3.48	1.57	1,961	56.4	6.75	13.3
	Hotwater aging (3 days)	3.42	1.65	1,973	57.7	6.75	13.4
	Steam aging (3 days)	3.40	1.69	1,969	57.9	6.75	13.1

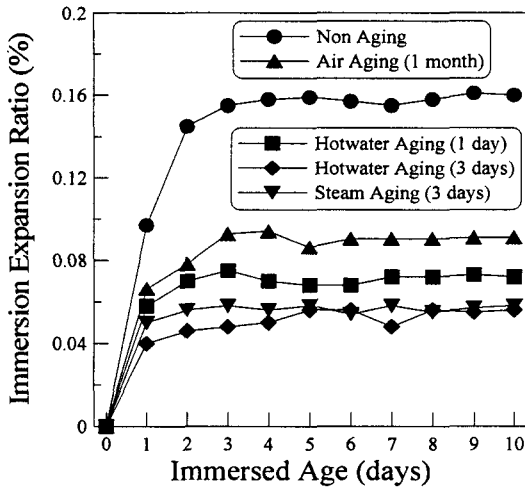


그림 1. 전기로골재의 수침팽창비

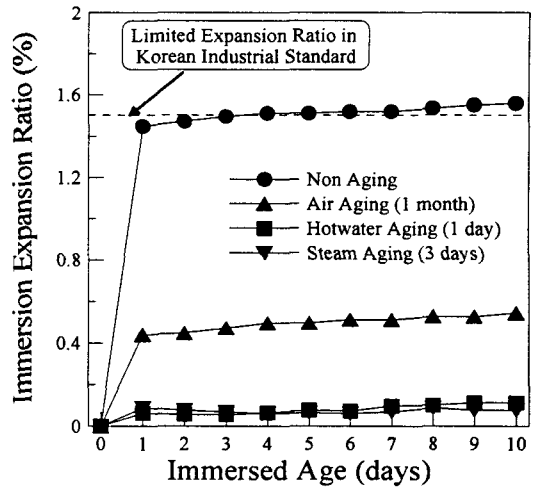


그림 2. 전로골재의 수침팽창비

#### 4. 실험결과에 대한 고찰

##### 4.1 전기로 및 전로골재의 물리적 성질

전기로 및 전로골재의 비중은 표 2에서 알 수 있듯이 안정화 방법인 에이징 처리 유무에 관계없이 제강과정 중 유입된 철분에 의해 부순돌보다 훨씬 큰 값을 나타내었다. 따라서 콘크리트용 골재로 사용할 때 운반 및 펌프작업 등 시공시 반드시 이를 고려하여야 할 것으로 판단된다. 또한 전기로 및 전로슬래그의 냉각과정에서 골재의 내·외부에 공극이 많이 생겼기 때문에 흡수율도 커진 것으로 생각된다.

전기로 및 전로골재의 단위용적중량은 부순돌보다 큰 반면 실적중은 오히려 작은 값을 나타내었다. 단위용적중량이 천연골재보다 큰 이유는 전로 및 전기로골재의 비중이 큰 점 때문으로 생각된다. 전로골재의 마모율은 에이징처리에 상관없이 부순돌보다 오히려 약 1/2 정도 작은 좋은 결과를 나타내었다.

##### 4.2 전기로 및 전로골재의 팽창특성

에이징방법에 따른 전기로 및 전로골재의 수침팽창비를 정리한 것이 그림 1 및 그림 2이다.

에이징미처리 전로골재의 경우 재령 10일의 수침팽창비는 1.58%정도로서 “도로용 철강슬래그”의 단위입도 및 크러셔런 제강슬래그의 수침팽창비 규준값 2.0%를 초과하지는 않았다. 또한 증기에이징처리한 전로골재가 가장 작은 결과를 나타내었다. 전기로골재는 전로골재와는 달리 수침팽창비가 그다지 크지 않음을 알 수 있으며 이는 제강과정시 전기로골재에 잔존하는 불안정한 성분이 전로골재에 비해 작기 때문으로 생각된다.

그러나 에이징을 처리하지 않아서 팽창이 잔존해



그림 3. 에이징 미처리 전기로슬래그 골재 콘크리트의 팽창붕괴 현상

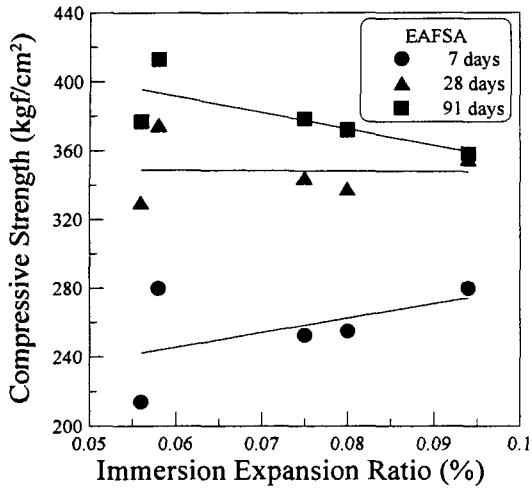


그림 4. 전기로골재의 팽창과 압축강도의 관계

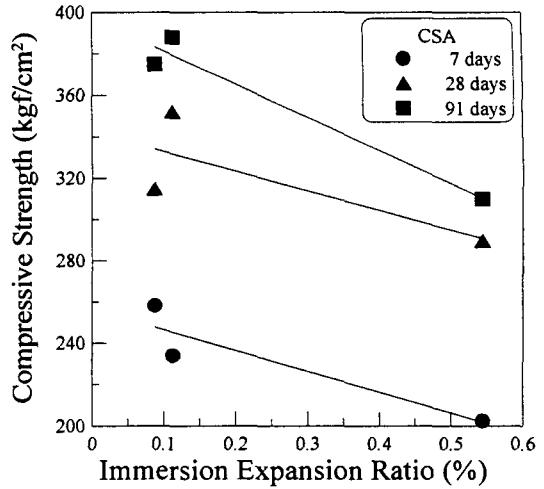


그림 5. 전로골재의 팽창과 압축강도의 관계

있는 전기로골재를 도로용이 아닌 콘크리트에 사용하였을 경우 그림 3과 같이 전기로골재의 팽창에 의해 콘크리트의 팽창과파괴 현상이 나타났다. 따라서 강체인 콘크리트 내부에서 미약한 팽창에 의해 콘크리트의 파괴가 발생되지 않도록 충분한 안정화처리 또는 에이징 처리가 필수라 생각된다. 또한 전기로 및 전로골재를 콘크리트용으로 사용하기 위해서는 안정한 처리 방법 및 콘크리트용 골재로서의 팽창량 한계 등을 제시할 필요가 있을 것으로 판단된다.

#### 4.3 전기로 및 전로골재 사용 콘크리트의 압축강도

에이징처리한 전기로 및 전로골재를 사용한 콘크리트를 제조하여 재령별 압축강도를 측정하여 각각 수침팽창비와 비교 정리한 것이 그림 4 및 5이다.

이 그림에서 알 수 있듯이 팽창비가 크면 클수록 장기재령에서의 압축강도 저하가 현저한 것을 알 수 있으며, 전로골재의 경우에는 초기재령에서부터 압축강도 저하를 보이고 있다. 따라서 콘크리트용 전기로 및 전로골재의 한계 팽창량을 설정하여 압축강도 저하가 발생되지 않도록 규정할 필요가 있다.

### 5. 결론

- (1) 전기로 및 전로골재는 도로용으로 사용하기 위한 수침팽창비는 한국산업규격의 기준값 2.0%를 모두 만족하였으나, 콘크리트에 사용하였을 경우 팽창에 의한 균열이 발생되므로 추후 전기로 및 전로골재를 사용하기 위한 안정화 처리 방법을 제시할 필요가 있을 것으로 판단된다.
- (2) 충분한 에이징을 실시하지 않아 팽창이 큰 전기로 및 전로골재를 사용한 경우 재령이 증가함에 따라 압축강도 감소가 현저하게 나타나므로, 추후 연구에 의해 콘크리트용 전기로 및 전로골재의 팽창량 한계 등을 제시하는 등 철저한 품질 관리를 실시할 필요가 있을 것으로 판단된다.