

# 에이징 처리 전기로슬래그골재를 활용한 콘크리트의 팽창특성

## Properties of the Expansion in Concrete with Electric Arc Furnace Slag Aggregate after Aging

문 한 영\*                      유 정 훈\*\*                      백 우 열\*\*\*  
Moon, Han Young      Yoo, Jung Hoon      Baek, Woo Yul

### ABSTRACT

Steel slag produced in steel making process is divided with electric arc furnace slag and converter slag. Compared with the blast furnace slag, converter slag has the expansibility due to the reaction with water and free CaO. Therefore it is specified in Standard Specification for Concrete in Korea that steel slag aggregate must not be used in concrete. In this study, we treat electric arc furnace slag aggregate(EAFSA) for concrete before and after several aging process to reduce expansibility. The fundamental properties are measured, which are specific gravity, unit weight, abrasion value and immersion expansion ratio, as concrete aggregate. To understand the suitability of EAFSA for concrete, we made the concrete with EAFSA and then determined the strength and the volume change in EAFSA concrete. From the results EAFSA treated with steam aging process has potentiality for concrete aggregate.

### 1. 서론

최근 고속철도, 신공항 및 신설고속도로 등 대형 건설공사에 사용되는 콘크리트구조물이 급격히 증가함에 따라 양질의 콘크리트용 천연골재의 수요는 크게 늘어나고 있다. 그러나 하천골재를 위시한 천연골재의 고갈로 인하여 콘크리트용 골재로 부순돌, 부순모래 및 세척사등을 사용하는 경우가 급증하고 있는 실정이다. 그러나 석산개발의 제약 및 골재채취에 따른 환경 문제 등으로 인하여 콘크리트용 대체골재 개발이라는 당면과제에 봉착하고 있다. 이러한 이유때문에 산업폐기물인 고로슬래그 및 폐콘크리트 등을 콘크리트용 골재로 재활용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그런데 제강산업의 부산물인 전기로 슬래그의 경우, 연간 발생량이 약 220만 톤 정도나 되지만 팽창붕괴성 때문에 콘크리트용 골재로 사용해서는 안 된다고 콘크리트표준시방서에 규정하고있다.

본 연구에서는 전기로슬래그를 콘크리트용 골재로 활용하기 위한 연구의 일환으로, 에이징 처리방법

\* 정회원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수  
\*\* 정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 박사수료  
\*\*\* 정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정

을 달리한 전기로슬래그 골재의 기초적인 물성을 측정하였으며, 에이징 처리한 전기로슬래그 골재를 수침팽창비로써 팽창성을 평가하였다. 그리고 전기로슬래그 골재의 팽창성이 콘크리트의 품질에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 에이징 처리한 전기로슬래그 굵은골재를 부순돌골재와 대체하여 제조한 콘크리트의 압축강도 및 길이변화의 실험결과에 대해서도 고찰하였다.

## 2. 사용재료

### (1) 시멘트

보통포틀랜드시멘트(OPC로 약함)의 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(이하 전기로골재로 약함), 및 부순돌(NA로 약함)을 동일 입도로 조정하였으며, 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2. 부순돌 및 전기로슬래그 굵은골재의 물리적 성질

Items Types	Specific gravity	Absorption (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Percentage of solids (%)	Abrasion value(%)	Remarks
-	2.63	0.78	1,741	66.2	28.9	NA
Non aging	3.30	1.64	2,006	60.8	25.9	Non
Hotwater aging 1day	3.21	1.80	2,011	62.6	27.6	Hot 1d
Steam aging 3days	3.18	1.75	2,001	62.9	27.2	Seam 3d

## 3. 실험방법 및 콘크리트 배합

### (1) 에이징

증기중 에이징은 전기로슬래그 골재를 100℃, 1기압의 증기실에 3일 동안 넣은 후 꺼내어 대기 중에 야적한 경우를(이하 Steam 3d. 또는 증기3일에이징이라 약함), 온수중 에이징은 80℃의 수중에서 1일 동안 침지시킨 후 대기 중에서 야적하였다(이하 Hot 1d. 또는 온수3일에이징이라 약함).

### (2) 골재의 물성

비중 및 흡수율은 KS F 2503 및 2504에 의해 측정하였으며, 단위용적중량 및 마모감량은 KS F 2505 및 2508에 의하여 측정하였다.

(3) 수침팽창비 시험

KS F 2535의 철강슬래그의 수침팽창시험방법에 의하여 실험하였다.

(4) 콘크리트 압축 강도

에이징 처리한 전기로 골재와 부순돌을 사용하여 KS F 2403에 따라  $\phi 10 \times 20$ cm의 공시체를 제조한 후, KS F 2405에 의하여 재령별 압축강도를 측정하였다.

(5) 콘크리트의 길이변화

에이징 처리한 전기로 골재와 부순돌을 사용하여  $10 \times 10 \times 40$ cm의 콘크리트 공시체 제조 후 표준양생 재령별 길이변화를 KS F 2424의 다이얼게이지방법에 의하여 길이변화를 측정하였다.

$$\Delta l = \frac{l_t - l_0}{l_0} \times 100(\%)$$

여기서  $\Delta l$  : 길이변화 (%)

$l_t$  : 재령별 콘크리트의 길이

$l_0$  : 콘크리트의 초기 길이

(6) 콘크리트 배합

콘크리트의 배합은 설계기준강도  $280 \text{kgf/cm}^2$ , 물-시멘트비 55%, 슬럼프  $8 \pm 2$ cm, 잔골재율 40% 및 공기량  $4 \pm 1.5\%$ 를 목표로 정하였으며, 표 3과 같다.

표 3. 전기로골재 사용 콘크리트의 배합표

Items Kinds	$G_{\max}$ (mm)	Slump (cm)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight( $\text{kg/m}^3$ )					Aging method
					W	C	S	G	$G_{\text{slag}}$	
Natural	20	$8 \pm 1.5$	55	40	193	350	682	1,035	-	Control
EAF slag	"	"	"	"	"	"	"	-	1,298	Non
"	"	"	"	"	"	"	"	-	1,263	Hot 1d.
"	"	"	"	"	"	"	"	-	1,250	Steam 3d.

4. 실험결과에 대한 고찰

4.1 전기로골재의 물리적 성질

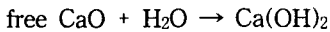
전기로골재의 비중은 표 2에서 알 수 있듯이 에이징 처리 유무에 관계없이 제강과정 중 유입된 철 분에 의해 부순돌골재 보다 훨씬 큰 값을 나타내었다. 한편 흡수율은 슬래그의 냉각과정에서 골재의 내·외부에 공극이 많이 생겼기 때문에 부순돌골재 보다 크게 나타났다고 생각된다.

전기로골재의 단위용적중량은 부순돌골재 보다 큰 반면 실적률은 오히려 작은 값을 나타내었으며, 단위용적중량이 부순돌골재 보다 큰 이유는 비중이 크기 때문으로 생각된다. 전기로골재의 마모율은 부순돌골재와 비슷한 결과를 나타내었다.

#### 4.2 전기로슬래그 골재의 수침팽창비

에이징 방법에 따른 전기로골재의 수침팽창비를 정리한 것이 그림 1이다. Non 에이징 전기로골재의 수침팽창비가 0.16% 정도를 나타낸 반면, 에이징 처리에 의해 팽창이 1/2 이하로 줄어드는 것을 알 수 있다. 특히, 증기3일 에이징 처리한 전기로골재의 경우, Non 에이징 경우의 1/3정도로 팽창률이 감소하는 것을 알 수 있었다.

이는 다음의 식과 같이 전기로골재 내부에 있던 불안정한 free CaO가 물과의 반응으로 수산화칼슘으로의 변환시 발생하는 팽창 때문이다.



#### 4.3 콘크리트의 압축강도

전기로골재 및 부순돌골재 사용 콘크리트의 재령별 압축강도를 정리한 것이 그림 2이다.

이 그림에서 알 수 있듯이 Non 에이징 전기로골재 사용 콘크리트의 압축강도는 부순돌 사용 콘크리트와는 달리 압축강도 발현이 장기재령에서 현저하게 둔화되고 있음을 알 수 있다. 이는 전기로골재의 지속적인 팽창으로 인해 과도한 응력이 콘크리트 중에 발생되었다고 생각된다.

그러나 증기3일 및 온수1일 에이징 전기로골재 사용 콘크리트의 경우 재령에 관계없이 부순돌골재 사용 콘크리트의 압축강도에 상응하는 압축강도 결과를 나타내어 강도면에서는 문제가 없을 것으로 생각된다.

#### 4.4 콘크리트의 압축강도와 수침팽창비와의 관계

전기로골재 사용 콘크리트의 압축강도와 전기로골재의 수침팽창비와의 관계를 나타낸 것이 그림 3이다. 이 그림에서 전기로골재 사용 콘크리트의 압축강도와 전기로골재의 수침팽창비와의 관계에서 수침팽창비가 클수록 재령별 압축강도의 발현이 크게 저하되고 있음을 알 수 있는데, 이는 골재 내부의 팽창으로 인해 콘크리트의 강도 증가율이 감소된다는 것을 의미한다. 따라서 전기로슬래그를 콘크리트용 골재로 사용하기 위해서는 증기 및 온수중 에이징 처리 등에 의해 팽창을 반드시 억제해야 한다.

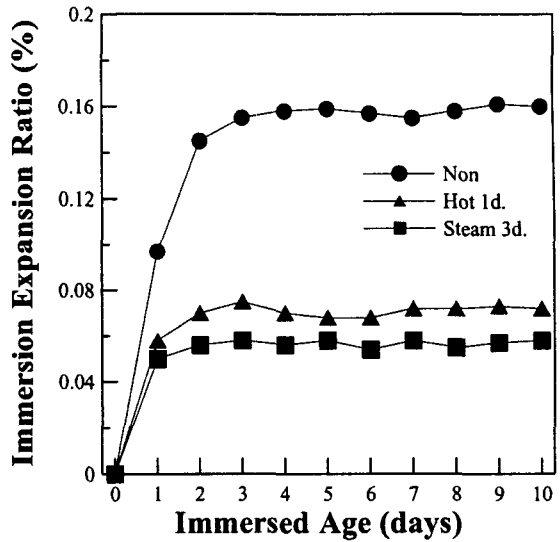


그림 1 전기로골재의 수침팽창비

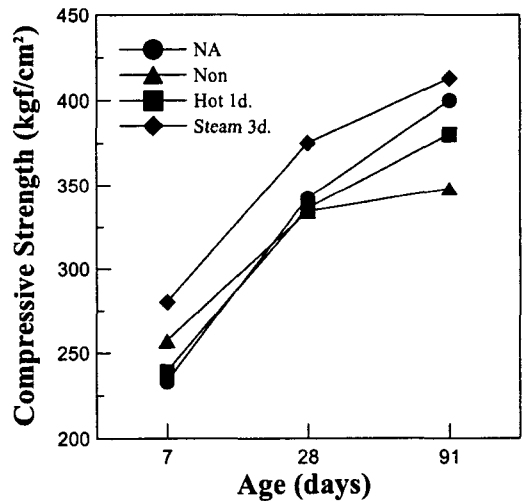


그림 2 콘크리트의 압축강도

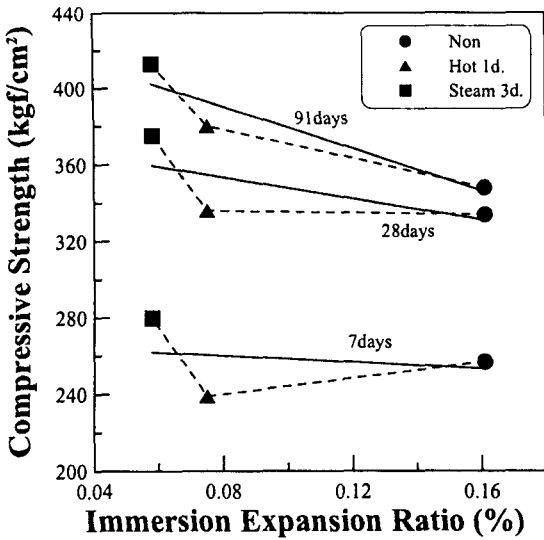


그림 3 압축강도와 수침팽창비와의 관계

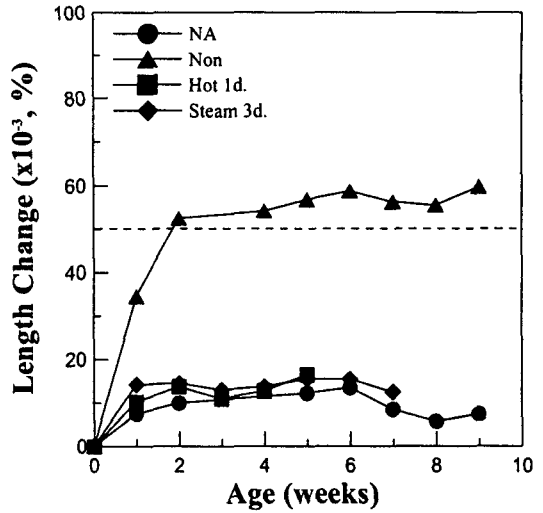


그림 4 콘크리트의 재령별 길이변화율

#### 4.5 콘크리트의 길이변화

전기로골재 및 부순돌골재 사용 콘크리트의 침지 재령별 길이변화를 측정된 것이 그림 4이다. Non 에이징 전기로골재를 사용한 콘크리트의 길이변화율은 초기재령에서부터 큰 값을 보이고 있다. 이는 전기로골재의 팽창으로 인해 콘크리트의 체적이 증가되는 것을 나타내지만 골재의 팽창이 작은 증기3일 에이징이나 온수1일 에이징 처리한 전기로골재 사용 콘크리트의 경우에는 부순돌골재 사용 콘크리트와 비교하여 큰 차이를 보이지 않았다. KS F 2526에서는 '6개월에 0.1%이상의 팽창을 유발하는 시멘트·골재배합이나 3개월에 0.05%이상의 팽창을 유발하는 배합은 대개 해로운 반응을 일으킬 잠재력이 있다'고 규정하고 있는데, 그림에서와 같이 Non 에이징 전기로골재를 사용하는 경우 그 기준값을 넘어가게 되고, 에이징 처리한 전기로골재를 사용하는 경우는 규정값을 만족하는 것을 알 수 있다.

#### 4.6 콘크리트의 길이변화와 수침팽창비와의 관계

전기로골재를 사용한 콘크리트의 길이변화와 전기로골재의 수침팽창비와의 관계를 나타낸 것이 그림 5이다. 전기로골재의 수침팽창비가 크면 클수록 이를 사용한 콘크리트의 길이변화율이 증가되는 것을 알 수 있다. 수침팽창비가 비교적 작은 증기3일이나 온수1일 에이징의 경우, 재령이 증가하여도 콘크리트의 길이변화율은 큰 차이를 보이지 않았으나, 수침팽창비가 큰 non 에이징 전기로골재 사용 콘크리트의 경우 재령이 경과할수록 콘크리트의 길이

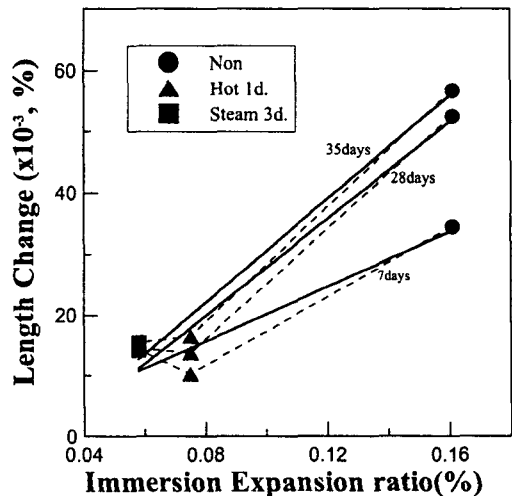


그림 5 길이변화율과 수침팽창비와의 관계

변화율이 큰 차이를 나타내고 있다. 따라서 전기로 골재의 팽창이 콘크리트의 체적변화에 많은 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

#### 4.7 콘크리트의 압축강도와 길이변화와의 관계

동일 재령에서 전기로골재 사용 콘크리트의 압축강도와 길이변화율과의 관계를 나타낸 것이 그림 6이다. 그림에서 알 수 있듯이 초기재령에서는 콘크리트의 길이변화율에 대한 압축강도비가 약간 증가하나, 재령이 증가할수록 길이변화율에 대한 압축강도는 다소 감소하는 경향이 있다. 특히, 증기3일 에이징 처리한 전기로 골재 사용 콘크리트의 경우 길이변화율이 작아 체적변화가 적고 압축강도의 발현이 크게 나타나 에이징의 효과가 가장 효과적이라 생각되었다.

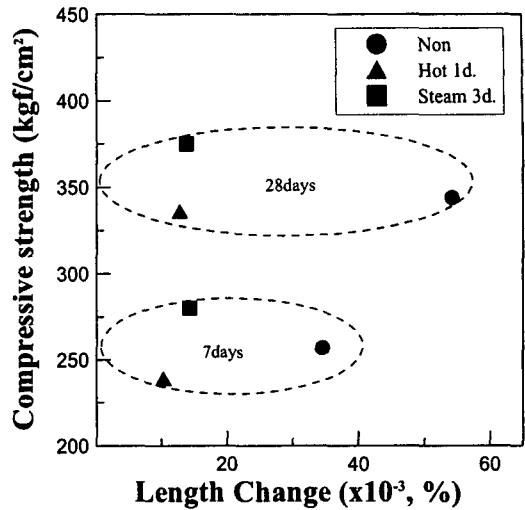


그림 6 압축강도와 길이변화율과의 관계

### 5. 결 론

- (1) 제강과정에서 잔존하는 free CaO에 의하여 팽창성이 있는 전기로슬래그골재를 증기3일 에이징 처리할 경우, 에이징 처리하지 않은 전기로슬래그 골재와 비교하여 1/3 정도의 수침팽창비를 나타내므로 팽창성을 크게 억제할 수 있었다.
- (2) 에이징 처리하지 않은 전기로슬래그 골재 사용 콘크리트의 압축강도는 재령의 증가와 더불어 압축강도 발현이 둔화되었으나, 증기3일 에이징 처리한 전기로슬래그 골재 사용 콘크리트의 압축강도는 부순돌골재 사용 콘크리트를 상회하였다.
- (3) 에이징 처리하지 않은 전기로슬래그 골재 사용 콘크리트의 길이변화율이 재령과 함께 현저하게 증가하였으나, 증기3일 및 온수1일 에이징 처리한 전기로슬래그 골재 사용 콘크리트의 길이변화는 부순돌골재 사용 콘크리트와 큰 차이가 없었다.
- (4) 2종류 에이징 처리한 전기로슬래그골재중 증기3일 에이징 처리한 경우 수침팽창비가 가장 작게 나타났으며, 이를 사용한 콘크리트의 길이변화 및 압축강도는 부순돌골재 사용 콘크리트와 큰 차이가 없음을 알 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2000-00368)비의 지원으로 수행 중에 있으며, 본 연구를 수행 할 수 있도록 지원해 주신 한국과학재단에 감사드립니다.