

에이징 처리한 콘크리트용 제강슬래그 골재의 품질

The Properties of Steel Slag Aggregate Treated with Aging Process in Concrete

문한영*, 유정훈**, 천승환***, 백우열****
Moon, Han Young, Yoo, Jung Hoon, Cheon, Seung Hwan, Beak, Woo Yul

ABSTRACT

In this paper, we evaluated the suitability 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_2 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 are researched and then the strength of concrete with the steel slag aggregate is measured.

1. 서론

최근 고속철도, 신공항 및 신설고속도로 등 대형 건설공사에 사용되는 콘크리트구조물이 급속히 증가됨에 따라 콘크리트용 양질의 천연골재의 부족현상이 심각한 실정이다. 또한 부순돌의 사용으로 인한 환경문제 등으로 대체골재의 개발 및 적용에 대한 연구가 진행되고 있는 현실이다. 그러나 콘크리트 표준시방서나 한국산업규격에서는 고로슬래그 굽은골재를 콘크리트용 골재로 사용할 수 있도록 규정하고 있지만, 전기로슬래그와 전로슬래그 등의 제강슬래그는 고로슬래그와는 달리 유리석회에 의한 팽창붕괴성 때문에 콘크리트용 굽은골재로 사용해서는 안된다고 규정하고 있다.

본 연구에서는 제철산업의 부산물로서 연간 약 610만톤(전기로슬래그 약 220만톤, 전로슬래그 약 390만톤) 정도 발생하는 제강슬래그를 콘크리트용 골재로 활용하기 위한 연구의 일환으로 제강슬래그의 팽창붕괴성을 최소화하기 위해 에이징 처리방법을 활용하였다. 따라서 에이징 처리방법을 달리한 제강슬래그 골재의 기초적인 물성에 대해 실험을 통하여 정리하였으며, 에이징 처리한 제강슬래그 골재의 팽창붕괴성을 기기분석과 수침팽창비를 사용하여 평가하였다. 그리고 에이징 처리한 제강슬래그 골재의 팽창성이 콘크리트의 품질에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다.

- * 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수
- ** 정회원, 한양대학교 토목공학과 박사수료
- *** 정회원, 한양대학교 토목공학과 석사수료
- **** 정회원, 한양대학교 토목공학과 석사과정

2. 사용재료

(1) 시멘트 : 보통포틀랜드시멘트(OPC로 약함)의 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1. 시멘트의 화학성분 및 물리적 성질

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Ig. loss (%)	Specific Gravity	Surface Area(cm ² /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.

표 2. 에이징에 따른 전기로 및 전로골재의 물리적 성질

Types \ Items		Specific gravity	Absorption (%)	Unit weight (kg/m ³)	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

3. 실험방법

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

(2) 수침팽창비 시험 : KS F 2535의 철강슬래그의 수침팽창시험방법에 따라 실험하였다.

(3) Ca(OH)₂ 정량 : 전기로 및 전로골재로 분류하여 350℃에서 10분간 그리고 550℃에서 60분간 열을 가한 후 골재 무게의 차를 이용하여 Ca(OH)₂량을 측정하였다.

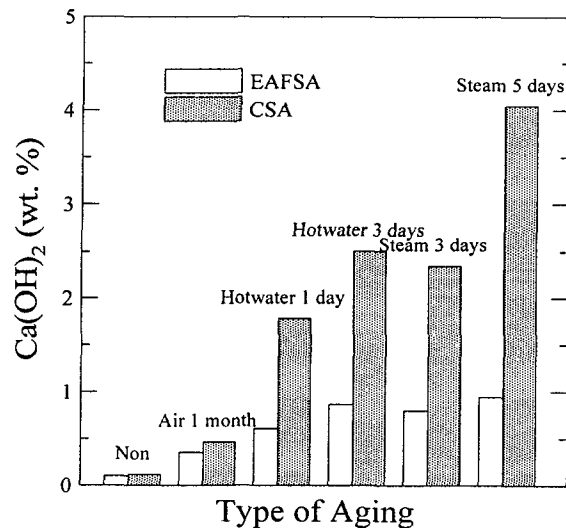


그림 1. 전로 및 전기로골재의 Ca(OH)₂ 정량(wt.%)

4. 콘크리트 배합

설계기준강도 280kgf/cm², 물-시멘트비 55%, 슬럼프 8±2cm, 잔골재율 40% 및 공기량 4±1.5%를 목표로 배합을 정하였다.

5. 실험결과에 대한 고찰

5.1 전기로 및 전로골재의 물리적 성질

전기로 및 전로골재의 비중은 표 2에서 알 수 있듯이 에이징 처리 유무에 관계없이 제강과정 중 유입된 철분에 의해 부순돌보다 훨씬 큰 값을 나타내었다. 또한 슬래그 냉각과정에서 골재의 내·외부에 공극이 많이 생겼기 때문에 흡수율도 커진 것으로 생각된다.

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

5.2 전기로 및 전로골재의 팽창특성

(1) Ca(OH)₂량

전기로 및 전로골재의 에이징처리 유, 무에 따른 Ca(OH)₂량을 측정하여 정리한 것이 그림 1로서, 에이징미처리<공기중에이징(1개월)<온수중에이징1일<증기에이징 3일<온수중에이징 3일<증기에이징처리의 순으로 Ca(OH)₂가 많이 생성되었다. 이는 에이징한 전기로골재 내부의 free CaO가 에이징 과정에서 수분과 충분히 반응하여 Ca(OH)₂를 생성시킨 것으로서 Ca(OH)₂가 많이 생성될수록 에이징효과가 우수함을 나타내는 것으로 생각된다.

또한 동일 에이징 방법을 사용하더라도 전로골재에 비해 전기로골재의 Ca(OH)₂가 적게 생성되는 것을 알 수 있는데 이는 제강과정에서 유입되는 CaO의 양이 전로에서 많게 되기 때문에 잔류되는 free CaO도 많아지기 때문으로 생각된다.

(2) 수침팽창비

에이징방법에 따른 전기로 및 전로골재의 수

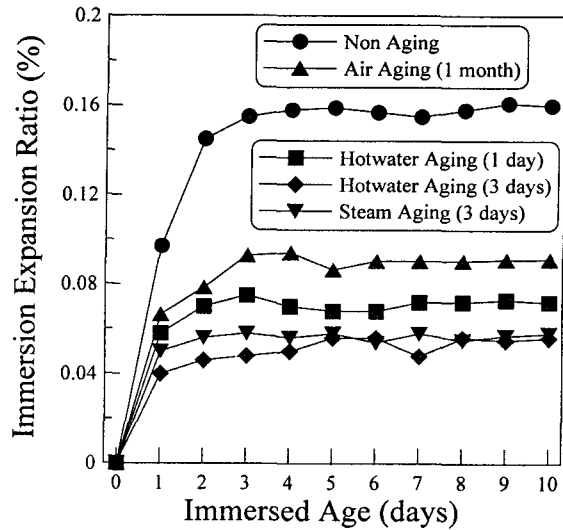


그림 2. 전기로골재의 수침팽창비

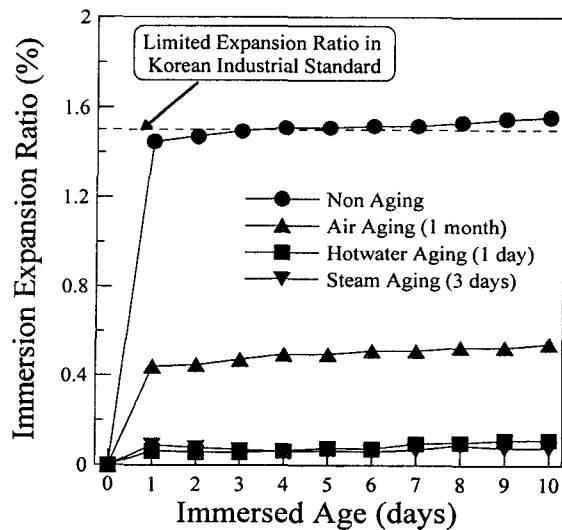


그림 3. 전로골재의 수침팽창비

침팽창비를 정리한 것이 그림 2 및 그림 3이다.

에이징미처리 전로골재의 경우 재령 10일의 수침팽창비는 1.58%정도로써 “도로용 철강슬래그”의 수침팽창비 기준값 1.5%를 초과 하였으나, 에이징처리한 경우에는 기준값 이하를 모두 만족하는 결과를 얻었다. 또한 증기에이징처리한 전로골재가 가장 작은 결과를 나타내었다.

전기로골재는 전로골재와는 달리 수침팽창비가 그다지 크지 않음을 알 수 있으며 이는 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 양에서 알 수 있듯이 전기로골재 내부의 불안정한 성분이 전로골재에 비해 작기 때문으로 생각된다.

5.3 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 초기 재령에서부터 압축강도 저하를 보이고 있다.

6. 결 론

- (1) 에이징과정에서 생성되는 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 양은 전로골재의 경우가 전기로골재보다 큰 값을 나타내어 반드시 에이징처리에 의해 CaO 양을 줄여야 한다.
- (2) 에이징미처리 전로골재는 수침팽창비가 한국산업규격의 기준값 1.5%를 초과 하였으나, 에이징처리 전로골재 및 전기로골재는 모두 기준값 이하의 결과를 얻었다.
- (3) 충분한 에이징을 실시하지 않아 팽창이 큰 전기로 및 전로골재를 사용한 경우 재령이 증가함에 따라 압축강도 감소가 현저하게 나타나므로 전기로 및 전로골재는 반드시 안정화 후 사용해야 한다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2000-00368)지원으로 수행 중에 있습니다.

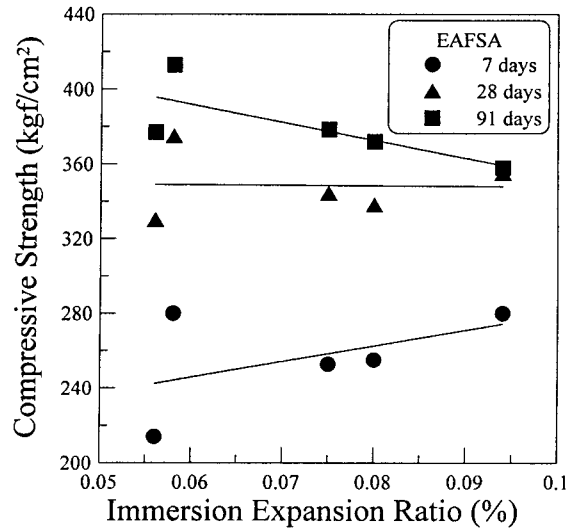


그림 4. 전기로골재의 수침팽창비와 압축강도의 관계

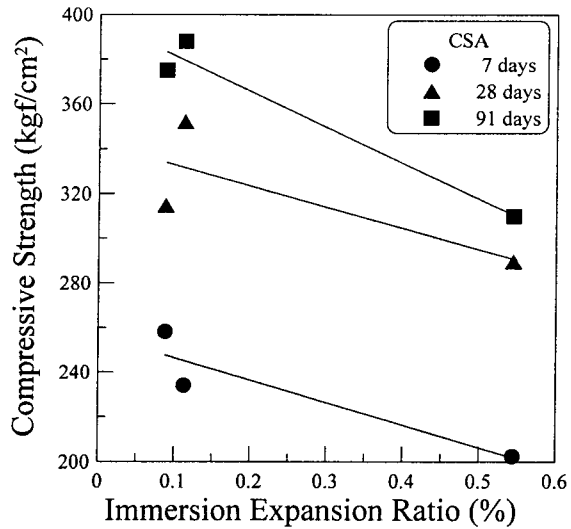


그림 5. 전로골재의 수침팽창비와 압축강도의 관계