

에이징에 의한 전기로슬래그 골재의 물성에 대한 실험적 연구

An Experimental Study on the Properties of Electric Arc Furnace Slag Aggregate with Aging

문 한 영* 유 정 훈** 윤 희 경** 이 재 준**
Moon, Han-Young Yoo, Jung-Hoon Yun, Hee-Kyoung Yi, Jae-Jun

ABSTRACT

In this study, we investigate the difference between natural aggregate and electric arc furnace(EAF) slag one in order to use EAF slag aggregate as coarse aggregate in concrete. We find the physical and chemical properties of EAF slag aggregate according to the different aging processes. We consider the properties of the concrete made with EAF slag aggregate on these bases.

1. 서 론

우리나라의 제철산업은 30년이 채 안되는 짧은 기간에 비약적인 발전을 거듭하였으며, 1999년 이후에는 철강생산량이 약 5,200만톤 규모로 세계 4위의 철강강국으로 부상한다고 한다.

그런데 최근 고로방식에 의한 일관제철소 건설이 많은 제약을 받음으로써 전기로 방식에 의한 설비 확장이 주류를 이루고 있어 전기로슬래그의 발생량이 증가하는 추세이다.

그러나 전기로슬래그는 고로슬래그와 비교하여 실리카분이 적고 석회분과 철분이 많아 유리석회에 의한 팽창붕괴성을 나타내는 경향이 있어 콘크리트 표준시방서에 의하면, 콘크리트용 골재로 사용해서는 안된다고 규정하는 등의 제약을 받고 있다.

본 연구에서는 전기로슬래그를 콘크리트용 굵은골재로 사용하기 위한 연구의 일환으로 전기로슬래그를 3종류로 에이징처리 한 후 기초적인 물성을 측정하여 천연골재와 비교검토 하였다. 그리고 전기로슬래그 굵은골재를 천연골재와 4단계로 대체하여 제조한 콘크리트의 재령 91일까지의 압축강도 측정 결과에 대하여 고찰하였다.

* 정회원 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 정회원 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정

2. 실험개요

2.1 사용 재료

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

표 1. 포틀랜드시멘트의 화학성분 및 물리적 성질

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	강열감량 (%)	비중	비표면적 (cm ² /g)
20.3	6.2	3.2	62.4	3.0	2.0	1.9	3.14	3,265

(2) 골재 : 굵은골재는 한강산 강자갈과 부순돌이며, 전기로슬래그는 5mm(No.4체) 표준체로 체분 석하여 남은 것을 사용하였으며, 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2. 각종 굵은골재의 물리적 성질

항 목	종 류	한강산	부순돌	전기로슬래그			
				에이징 미처리	공기중에이징	살수에이징	촉진에이징
비 중		2.65	2.63	3.30	3.27	3.24	3.21
흡 수 율(%)		0.90	0.78	1.64	1.50	1.69	1.80
실 적 률(%)		64.7	65.4	60.8	60.8	61.9	62.6
마 모 율(%)		27.5	28.9	25.9	25.0	25.2	27.6
단위용적증량(kg/m ³)		1,734	1,741	2,006	1,988	2,004	2,011

2.2 실험방법

- (1) 골재의 비중, 흡수율, 단위용적증량 및 마모시험은 KS F 2504, 2503, 2505 및 2508에 준하였다.
- (2) 전기로슬래그의 에이징 방법은 대기중에 야적해 두는 공기중에이징과 80±3℃ 온수 중에서 24시간 침지시킨 후 7일간 방치한 촉진에이징, 1일 16kg/ton의 물을 살수한 살수에이징을 실시하였다.
- (3) 에이징별 전기로슬래그 골재의 수침팽창비 및 pH는 KS F 2535 및 KS M 0011에 준하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 전기로슬래그 골재의 물리, 화학적 성질에 대한 고찰

전기로슬래그의 에이징처리 유무에 따라 물리적 성질을 알아보기 위하여 비중, 흡수율, 단위용적증량, 실적률 및 마모시험을 실시한 결과를 천연골재와 비교하여 정리한 것이 그림 1~3이다.

그림 1에서 전기로슬래그 골재의 비중 및 흡수율은 에이징처리 유무에 관계없이 천연골재와는 달리 훨씬 큰 값을 나타내는 특성이 있다. 비중이 큰 이유는 제강과정에서의 철분이 전기로슬래그 중에 잔존한 탓이며, 흡수율이 큰 이유는 전기로슬래그의 냉각과정에서 공극이 많이 생성된 탓으로 생각된다.

그림 2의 전기로슬래그 골재의 단위용적증량은 에이징처리 유무에 관계없이 2,000kg/m³정도로써 천연골재보다 훨씬 큰 반면, 실적률은 오히려 천연골재보다 약 5% 정도 작은 값을 알 수 있다. 전기로슬래그 골재의 단위용적증량이 큰 이유는 비중이 큰 탓으로 생각되며, 실적률이 작은 이유는 과쇄시 부순돌과 마찬가지로 입도와 입형이 고르지 못한 탓으로 생각된다.

그림 3은 골재의 마모율을 비교한 것2으로서 전기로슬래그 골재의 에이징처리 유무에 관계없이 마모율이 25~27% 범위로서 천연골재보다 작을 뿐만 아니라 콘크리트표준시방서의 마모율 35% 이하였다. 전기로슬래그를 공기중 및 촉진에이징처리 한 후 재령 21일까지의 pH값을 측정한 결과를 정리한 것

이 그림 4이다. 공기중에이징처리 한 전기로슬래그의 pH값이 축진에이징처리 한 경우보다 초기에는 낮았으나 1일 이후 큰 이유는 축진에이징처리 한 시료보다 공기중에이징처리 한 시료에 잔존한 free CaO량이 많아 Ca(OH)₂로 생성되는 양이 많기 때문으로 생각되며, 축진에이징처리 한 전기로슬래그의 pH값이 작은 점은 에이징처리의 효과가 공기중에이징처리보다 유효함을 나타내는 결과로 생각된다.

3.2 전기로슬래그 골재의 수침팽창비에 대한 고찰

전기로슬래그 골재의 에이징 유무에 따른 수침팽창비를 나타낸 것이 그림 5이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 3종류의 에이징처리 한 시료의 수침팽창비 0.02~0.025는 에이징미처리 시료의 약 1/6의 훨씬 작은 값을 나타내었으며, 3종류의 에이징처리 방법 중 축진에이징처리 한 전기로슬래그 골재의 수침팽창비가 가장 작게 나타났다. 그러므로 에이징 미처리 전기로슬래그를 골재로 사용할 경우 골재의 팽창으로 인한 콘크리트의 품질저하가 크게 우려되므로 전기로슬래그를 콘크리트용 골재로 사용하기 위해서는 충분한 에이징처리가 필요불가결하다고 생각된다.

3.3 전기로슬래그 골재 사용 콘크리트의 압축강도에 대한 고찰

전기로슬래그를 공기중(AR) 및 축진에이징(IA)처리하여 천연 굵은골재와 각각 4단계로 대체한 콘크리트의 재령 7, 28 및 91일 압축강도를 측정하여 정리한 것이 그림 6이다. 이 그림에서 축진에이징한 전기로슬래그 골재를 사용한 콘크리트의 압축강도는 재령91일을 제외하고 보통 콘크리트보다 크게 나타났으며, 전기로슬래그 골재의 대체율 25%에서 가장 큰 압축강도를 발현하였다. 한편, 공기중에이징처리 한 전기로슬래그 골재를 사용한 콘크리트는 재령이 증가할수록 축진에이징처리 한 전기로슬래그 골재 콘크리트와는 달리 강도가 반전되는 문제점이 있음을 알 수 있다. 그 이유는 전기로슬래그를 공기중에이징처리 함으로써 에이징이 충분하지 못한 탓으로 시간이 경과할수록 전기로슬래그의 잠재팽창성이 작용하여 콘크리트의 팽창을 유도한 원인으로 생각된다. 이상의 결과를 종합해 볼 때 축진에이징처리 한 전기로슬래그 골재의 적절한 대체율은 25%정도로 생각되었으며, 재령 91일 이후의 장기강도에 대한 검토가 반드시 요망되었다.

4. 결 론

- (1) 전기로슬래그 골재의 비중, 흡수율 및 단위용적 중량이 천연골재 보다 훨씬 큰 값을 나타내었으나, 실적률과 마모율은 오히려 약간 작은 값을 나타내었다. 한편 에이징처리 한 전기로슬래그의 pH값은 축진에이징처리 시료가 공기중 에이징처리 시료보다 작아 축진에이징의 효과가 인정되었다.
- (2) 전기로슬래그 골재를 에이징처리 한 시료의 수침팽창비는 0.02 ~ 0.025 범위로서 에이징 미처리 시료의 약 1/6정도의 작은 값을 나타내었다. 그러므로 전기로슬래그를 콘크리트용 골재로 사용하기 위해서는 충분한 에이징처리가 필수적이라 생각되었다.
- (3) 전기로슬래그 골재를 축진에이징처리한 시료로 제조한 콘크리트의 압축강도가 보통콘크리트 보다 컸으며, 대체율 25%에서 가장 큰 값을 나타내었다. 그러나 공기중 에이징처리 한 전기로슬래그골재 콘크리트의 압축강도는 재령이 증가할수록 강도가 저하되는 문제점이 있었다.

본 연구를 수행할 수 있도록 물심양면으로 지원해 주신 한국철강협회와 제강업계 관계자 여러분께 이 지면은 빌어 진심으로 감사의 인사를 드립니다.

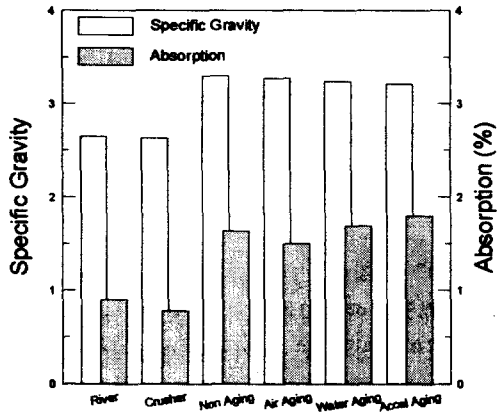


그림 1. 전기로슬래그 골재의 비중 및 흡수율

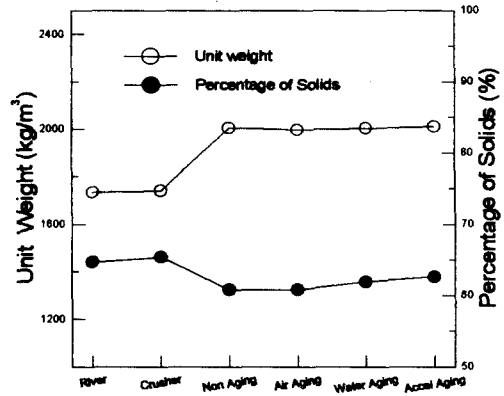


그림 2. 전기로슬래그 골재의 단위용적중량 및 실적률

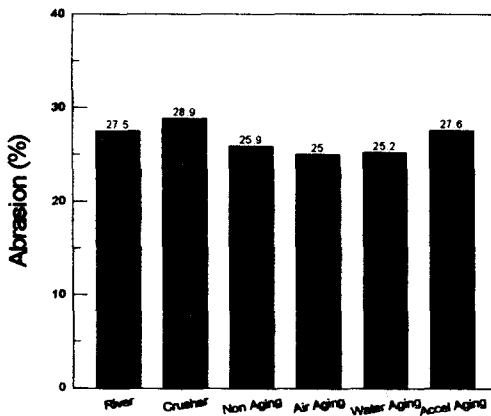


그림 3. 전기로슬래그 골재의 마모율

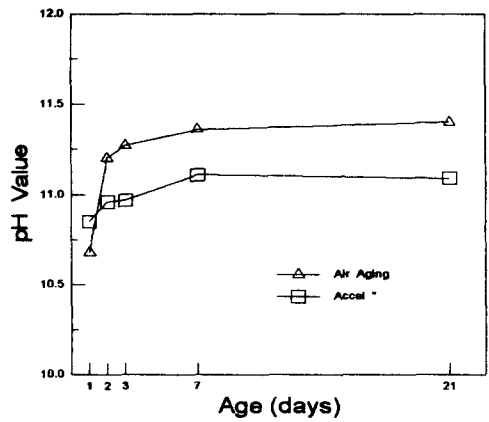


그림 4. 에이징 후 경과시간에 따른 pH

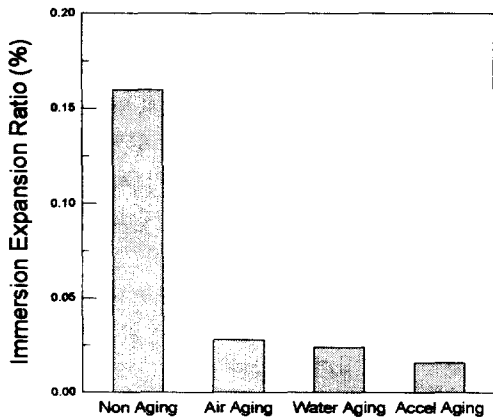


그림 5. 전기로슬래그 골재의 수침팽창비

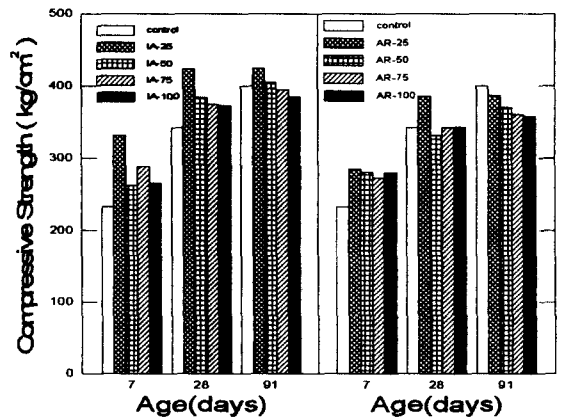


그림 6. 전기로슬래그 골재 콘크리트의 재령별 압축강도