

전기로슬래그 굵은골재 사용 콘크리트의 제물성

A Fundamental Study on the Properties of Concrete Using Electric Arc Furnace Slag

문 한 영* 유 정 훈** 문 재 흠*** 천 승 환***
Moon, Han-Young Yoo, Jung-Hoon Moon, Jae-Heum Cheon, Seung-Hwan

ABSTRACT

In this study, we investigate the difference of concrete 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 for the aging process. We consider the properties of the concrete made with EAF slag aggregate which are compressive strength, splitting tensile strength and modulus of elasticity.

1. 서 론

우리나라의 제철산업은 30년 정도의 짧은 기간 동안에 비약적인 발전을 하였으며, 1999년 이후에는 철강생산량이 약 5,200만톤 규모로 세계 4위의 철강강국으로 부상한다고 한다.

그런데 최근 고로방식에 의한 일관제철소 건설의 제약으로 인해 전기로 방식에 의한 전기로슬래그의 발생량이 증가하고 있는 추세이다. 전기로슬래그는 고로슬래그와 달리 실리카분이 적고 석회분과 철분이 많아 유리석회에 의한 팽창붕괴성을 나타내고 있어 콘크리트 표준시방서에 의하면 콘크리트용 골재로 사용해서는 안된다고 규정하는 등의 제약을 받고 있다.

그러나 국내에서 이미 전기로슬래그를 시멘트 2차 제품용 잔골재로 사용한 실적이 있을 뿐만 아니라, 1997년 4월 한국산업규격 KS F 2535 “도로용 철강슬래그”를 제정한 바 있으며, 대한토목학회에서는 1985년과 1997년에 각각 “製鋼슬래그를 사용한 아스팔트鋪裝 設計施工指針”과 “전기로슬래그를 사용한 도로포장설계·시공지침”을 제정하였다.

본 연구에서는 전기로슬래그 굵은골재의 에이징처리 유무에 따른 기초물성에 대하여 비교하였으며, 또한 에이징처리한 전기로슬래그 굵은골재를 부순돌과 동일한 입도로 조정된 후 보통포틀랜드시멘트와 고로슬래그시멘트를 각각 결합재로 사용하여 제조한 콘크리트의 기초적인 물성을 측정한 실험결과에 대하여 고찰하였다.

* 정회원 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 정회원 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정

*** 정회원 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정

2. 사용재료 및 배합

(1) 시멘트 : 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC로 약함) 및 고로슬래그시멘트(이하 SC로 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 (%)	강열감량 (%)	비중	비표면적 (cm ² /g)
OPC	20.3	6.2	3.2	62.4	3.0	2.0	1.9	3.14	3,265
SC	25.22	8.33	3.01	54.15	5.08	3.15	0.75	3.07	2,928

(2) 골재 : 부순돌(이하 CS라 약함)과 전기로슬래그 굵은골재(이하 EAFS 또는 전기로골재라 약함)를 굵은골재로 사용하였으며, 전기로슬래그 골재는 80±3℃ 온수에 24시간 침지시킨 후 7일간 대기 중에 방치한(축진에이징이라 함) 후 사용하였으며 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2. 굵은골재의 물리적 성질

종 류	비 중	흡수율 (%)	실적률 (%)	마모율 (%)	조립률	단위용적중량 (kg/m ³)
부순돌	2.63	0.78	65.4	28.9	6.47	1,741
전기로슬래그	3.21	1.80	62.6	27.6	6.47	2,011

(3) 콘크리트 배합 : 보통포틀랜드시멘트와 고로슬래그시멘트 2종류를 결합재로 그리고 굵은골재 최대치수 20mm, 물-시멘트비 40%, 잔골재율 40%, 단위시멘트량 160kg/m³으로 정하였다.

3. 실험결과

전기로골재와 부순돌을 굵은골재로 사용하고 보통포틀랜드시멘트와 고로슬래그시멘트를 사용하여 제조한 4종류 콘크리트의 압축강도, 인장강도, 단위중량 및 탄성계수를 정리한 것이 표 3이다.

표 3. 전기로골재 및 부순돌 사용 콘크리트의 압축강도, 인장강도, 단위중량 및 탄성계수

종 류	항 목	압축강도(kg/cm ²)			인장강도 (kg/cm ²)	단위중량(t/m ³)			탄성계수 (×10 ⁹ , kg/cm ²)
		7일	28일	91일		7일	28일	91일	
	보통콘크리트*	393	539	570	43.6	2.45	2.42	2.47	3.29
	전기로골재 콘크리트**	410	525	523	34.5	2.68	2.75	2.81	2.10
	슬래그콘크리트***	238	476	578	46.2	2.42	2.41	2.43	3.02
	전기로골재 슬래그콘크리트****	301	603	703	48.7	2.77	2.70	2.76	2.74

* 부순돌 사용 보통포틀랜드시멘트 콘크리트

** 전기로슬래그 굵은골재 사용 보통포틀랜드시멘트 콘크리트

*** 부순돌 사용 고로슬래그시멘트 콘크리트

**** 전기로슬래그 굵은골재 사용 고로슬래그시멘트 콘크리트

4. 실험결과에 대한 고찰

4.1 전기로슬래그 골재의 물성

불안정한 광물상을 포함하고 있는 전기로골재의 에이징처리 유무에 따른 화학성분을 나타낸 것이 그림 1이며, 전기로골재의 물리적 성질은 표 2와 같다. 전기로골재의 비중 및 흡수율이 부순돌보다 큰

이유는 그림 1에서 알 수 있듯이 전기로골재의 주성분이 Fe_2O_3 로서 중량의 약 40% 정도를 차지하며, 또한 골재의 표면과 내부의 공극이 많은 탓으로 생각된다.

전기로골재의 수침팽창비를 측정한 것이 그림 2로써 전기로골재의 실용화에 가장 큰 문제가 되고 있는 팽창붕괴성을 안정화시키는 방법 중 축진에이징처리 후의 수침팽창비가 0.016%로서 에이징미처리 전기로골재의 약 1/10 정도에 지나지 않음을 알 수 있다.

전기로골재 자체의 흡수율이 천연골재보다 큰 점에 착안하여 에이징처리 유무에 따라 경과시간 24시간까지의 흡수율을 측정한 것이 그림 3이다. 이 그림에서 축진에이징 처리 전기로골재의 경과시간 1시간에서의 흡수율이 24시간 흡수율의 약 75% 전후로 나타나 순간흡수율이 매우 큰 점을 문제점으로 지적할 수 있겠다. 따라서 전기로슬래그를 콘크리트용 골재로 사용하기 위해서는 경량골재와 마찬가지로 pre-wetting을 실시함이 반드시 필요하다고 생각된다.

4.2 전기로슬래그 굵은골재 사용 콘크리트의 제강도

전기로골재와 부순돌을 굵은골재로 보통시멘트와 슬래그시멘트를 사용한 4종류 콘크리트의 압축강도, 인장강도 및 탄성계수를 측정하여 정리한 것이 표 3이며, 재령별 압축강도와 재령28일의 인장강도를 나타낸 것이 그림 4 및 6이다.

그림 4에서 재령 7일의 압축강도는 보통콘크리트가 슬래그콘크리트보다 월등히 크게 나타났으며, 동일 결합재에서 전기로골재 사용 콘크리트의 압축강도가 부순돌 사용 콘크리트보다 큰 값을 나타내었다. 특히, 전기로골재 슬래그콘크리트의 압축강도는 재령 7일에서 보통콘크리트보다 월등히 작았으나, 재령 28 및 91일에서는 현저하게 큰 값을 알 수 있다.

이번에는 부순돌 사용 콘크리트의 압축강도 100에 대한 전기로골재 콘크리트의 압축강도비를 시멘트 종류별로 나타낸 것이 그림 5이다. 이 그림에서 전기로골재 슬래그콘크리트는 재령에 관계없이 압축강도비가 120% 이상되는 결과를 나타내었다. 그 이유는 전기로골재의 안정화 과정에서 $Ca(OH)_2$ 가 골재 표면에 흡착되어 고로슬래그시멘트 중의 슬래그의 잠재수경성이 활성화되도록 강알칼리성을 나타내기 때문에 전기로골재와 슬래그시멘트와의 부착강도가 증진된 탓으로 생각된다.

재령 28일의 활렬인장강도를 측정한 것이 그림 6이다. 이 그림에서 콘크리트의 인장강도는 결합재와 골재의 종류에 따라 약간 상이한 결과를 나타내었으나 전기로골재 슬래그콘크리트의 인장강도가 약 $50kg/cm^2$ 정도로서 가장 큰 값을 나타내었으며, 슬래그콘크리트도 보통콘크리트보다 약간 큰 값을 알 수 있다. 전기로골재를 사용한 콘크리트의 경우 고로슬래그시멘트가 강도 향상에 유익하였다.

한편, 전기로골재 콘크리트 및 전기로골재 슬래그콘크리트의 탄성계수가 각각 2.10×10^5 및 $2.74 \times 10^5 kg/cm^2$ 정도로서 부순돌을 사용한 보통콘크리트 및 슬래그콘크리트의 탄성계수 3.29×10^5 및 $3.02 \times 10^5 kg/cm^2$ 보다 월등히 적은 값을 나타내었다.

5. 결 론

- (1) 전기로슬래그 골재를 축진에이징처리 하므로써 수침팽창비가 0.016%로서 매우 작은 값을 나타내었으나, 순간흡수율이 매우 큰 문제점이 있으므로 전기로슬래그를 콘크리트용 골재로 사용하기 위해서는 충분한 에이징처리 및 pre-wetting이 요망된다.
- (2) 전기로슬래그 굵은골재를 에이징처리 하므로써 $Ca(OH)_2$ 에 의한 강알칼리성을 나타내므로 슬래그의 잠재수경성이 활성화되어 전기로골재 슬래그콘크리트의 재령 28일 이후의 압축강도와 인장강도가 크게 향상되었으나, 탄성계수는 오히려 약간 작은 값을 나타내었다.

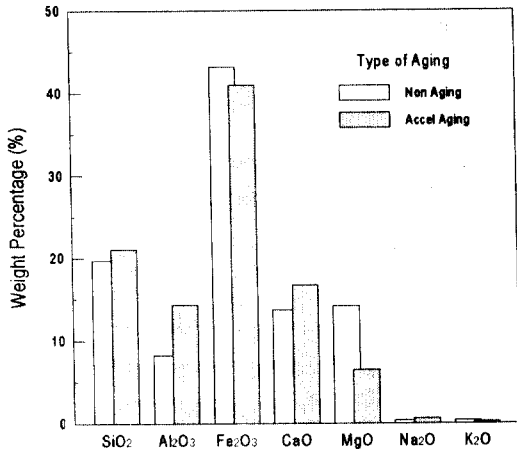


그림 1. 전기로슬래그 골재의 화학성분

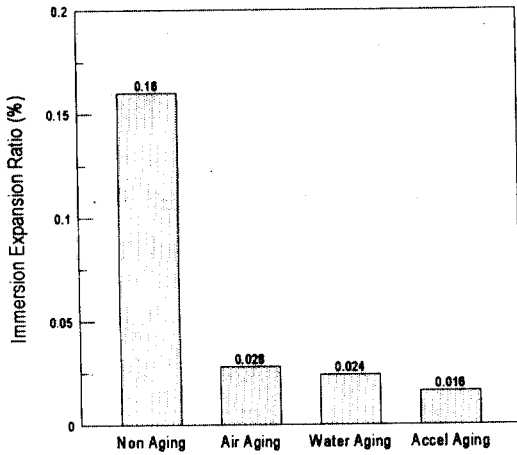


그림 2. 전기로슬래그 골재의 수침팽창비

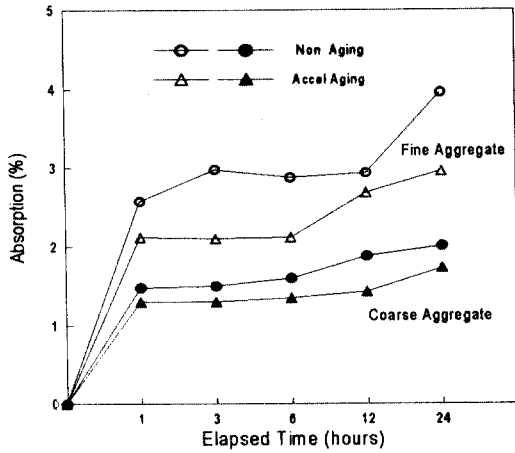


그림 3. 전기로슬래그 골재의 경과시간별 흡수율

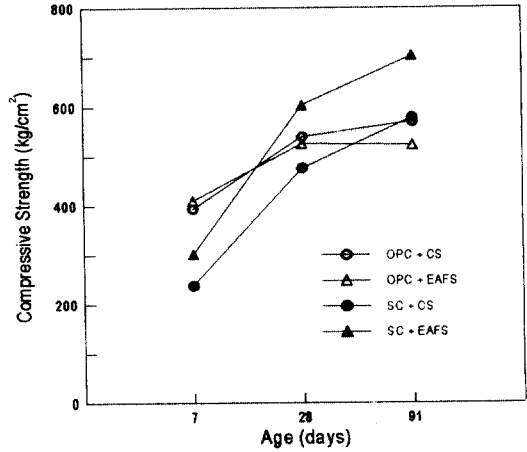


그림 4. 콘크리트의 재량별 압축강도

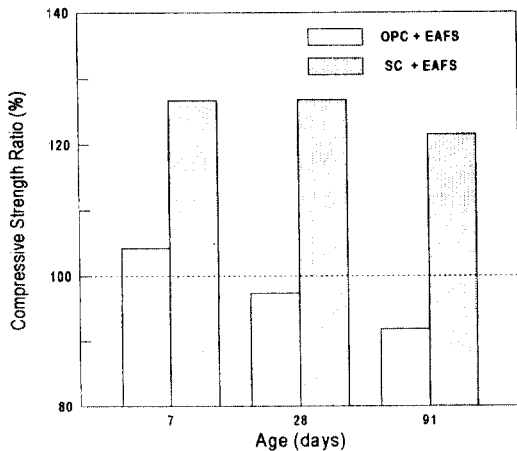


그림 5. 부순돌 콘크리트에 대한 전기로골재 콘크리트 압축강도비

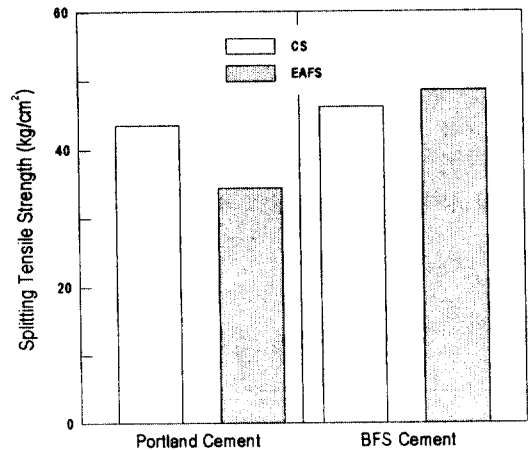


그림 6. 콘크리트의 활활인장강도(재령 28일)