

전로슬래그 굵은골재를 콘크리트용으로 사용하기 위한 기초적 연구

A Fundamental Study on the Converter Slag Coarse Aggregate Used in Concrete

문 한 영* 유 정 훈** 정 호 섭**
Moon, Han-Young Yoo, Jung-Hoon Jung, Ho-Seop

ABSTRACT

In this paper, we carried out fundamental experiments to use the steel manufacturing slag as a concrete aggregate. Generally there are two types of slag, the blast-furnace slag and the steel manufacturing slag. The latter is classified by the difference of manufacturing method of steel into the converter slag and the electric-furnace slag.

The steel manufacturing slag mainly contains SiO_2 and CaO as the chemical composition. The reaction with water and a little of free CaO in the steel manufacturing slag makes the expansion of volume change. Therefore, we primarily investigated physical properties, expansion mechanism, pH value, aging effects and aging methods in the steel manufacturing slag. Then compressive strength of concrete with steel slag aggregate is measured.

1. 서 론

근년에 와서 양질의 강 및 하천골재의 고갈로 인하여 콘크리트용 골재로 부순돌, 부순모래, 바닷모래 및 바다자갈을 세척하여 사용하는 경우가 급증하고 있을 뿐만 아니라 산업부산물인 고로슬래그, 전기로슬래그 및 폐콘크리트 등을 콘크리트용 골재로 재활용하기 위한 연구도 진행되고 있는 현실이다.

그런데 콘크리트 표준시방서 및 한국산업규격에서는 고로슬래그 굵은골재를 콘크리트용 골재로 사용할 수 있도록 제정하고 있으나, 전기로슬래그나 전로슬래그 등 제강슬래그로 만든 굵은골재는 고로슬래그와 달리 유리석회에 의한 팽창붕괴성이 있어 콘크리트용 골재로 사용해서는 안된다고 규정하는 등의 제약을 받고 있다.

본 연구에서는 제철산업의 부산물로 연간 390만톤 정도 발생되는 전로슬래그를 콘크리트용 굵은골재로 활용하기 위한 연구의 일환으로 에이징처리 유무에 따른 전로슬래그 골재의 물성 및 부순돌과 대체하여 제조한 콘크리트의 기초적 물성에 대한 실험결과에 대하여 고찰하였다.

* 정희원 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 정희원 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정

2. 사용재료 및 실험방법

(1) 시멘트 : 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC로 약함) 및 고로슬래그시멘트(이하 SC로 약함)의 화학 성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1. 시멘트의 화학성분 및 물리적 성질

Item Type	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Ig. loss (%)	Specific Gravity	Specific area (cm ² /g)
OPC	20.30	6.20	3.20	62.40	3.00	2.00	1.90	3.14	3,265
SC	25.22	8.33	3.01	54.15	5.08	3.15	0.75	3.07	2,928

(2) 굵은골재 : 굵은골재 최대치수 20mm인 부순돌(이하 CS라 약함) 및 전로슬래그 굵은골재(이하 CSA 또는 전로골재라 약함)를 동일 입도로 조정하여 사용하였으며, 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2. 굵은골재의 물리적 성질

Item Type	Specific Gravity	Absorption (%)	F.M	Unit Weight (kg/m ³)	Percentage of Solids (%)	Abrasion Value (%)
CS	2.63	0.78	6.75	1,741	65.4	28.9
CSA	3.39	1.96	6.75	1,922	55.2	16.8

- (3) 수침팽창비 시험 : KS F 2535의 부속서 2. 철강슬래그의 수침팽창시험방법에 준하여 실험하였다.
- (4) pH 측정 시험 : 전로골재의 입경을 5~10mm로 일정하게 한 후 카르멜 수소이온전극을 사용하여 pH를 측정하였다.
- (5) 에이징 : 증기에이징은 100℃의 증기실에서 1기압으로 3, 5, 7 및 9일 동안 넣었다. 증기실에서 꺼낸 후 대기중에 야적하는 방법이며, 온수증에이징은 80±3℃의 수중에서 24시간 침지시킨 후 대기중에서 7일 이상 야적하는 방법으로 실시하였다.

3. 콘크리트 배합

설계기준강도 280kgf/cm², 물-시멘트비 55% 및 공기량 4±1%를 목표로 하여 에이징처리 유,무에 따른 전로골재의 대체율을 3단계로 변화시킨 콘크리트 배합은 표 3과 같다.

표 3. 콘크리트의 배합표

Type of Aggregate	Type of Cement	Aging	Replacement with slag (%)	G _{max} (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m ³)				
									W	C	S	G	CS
CS	OPC	-	0	20	8	4	55	40	193	350	680	1,067	0
CSA	OPC	Non	50	20	8	4	55	40	193	350	680	533.4	687
CSA	OPC	Non	100	20	8	4	55	40	193	350	680	0	1374
CSA	OPC	Steam	50	20	8	4	55	40	193	350	680	533.4	684
CSA	OPC	Steam	100	20	8	4	55	40	193	350	680	0	1368
CS	SC	-	0	20	8	4	55	40	193	350	677	1,063	0
CSA	SC	Non	50	20	8	4	55	40	193	350	677	531.3	684
CSA	SC	Non	100	20	8	4	55	40	193	350	677	0	1,368
CSA	SC	Steam	50	20	8	4	55	40	193	350	677	531.3	681
CSA	SC	Steam	100	20	8	4	55	40	193	350	677	0	1,363

표 4. 에이징에 따른 전로골재의 물리적 성질

Type of Aggregate	Aging	Specific Gravity	Absorption (%)	Unit Weight (kg/m ³)	Percentage of Solids (%)	Abrasion Value (%)
CS	-	2.63	0.78	1,741	65.4	28.9
CSA	Non	3.39	1.96	1,922	55.2	16.8
CSA	Hotwater	3.48	1.57	1,961	56.4	13.3
CSA	Steam 3days	3.40	1.69	1,969	58.0	13.1
CSA	Steam 5days	3.40	1.49	1,955	57.5	13.0
CSA	Steam 7days	3.42	1.45	1,967	57.5	13.3
CSA	Steam 9days	3.40	1.78	2,013	59.3	13.2

4. 실험결과 및 고찰

4.1 전로슬래그 굽은골재의 에이징 효과

전로골재의 에이징처리 전, 후의 물리적 성질을 측정하여 정리한 것이 표 4 및 그림 1이다.

그림 1에서 알 수 있듯이 전로골재의 비중 및 흡수율은 다같이 부순돌보다 훨씬 큰 값을 나타내었으며, 전로골재의 마모율은 부순돌보다 약 1/2 정도로 작은 값을 나타냈다.

4.2 전로슬래그 굽은골재의 수침팽창비 및 pH값

에이징미처리 및 온수중에이징처리한 전로골재의 수침팽창비를 정리한 것이 그림 2이다.

이 그림에서 온수중에이징처리한 전로골재의 수침팽창비는 재령이 증가함에도 불구하고 재령 9일까지는 거의 변화가 없었으나, 에이징미처리 전로골재의 경우 재령과 더불어서 크게 증가하여 재령 9일의 수침팽창비는 재령 1일의 약 6배 정도에 달함

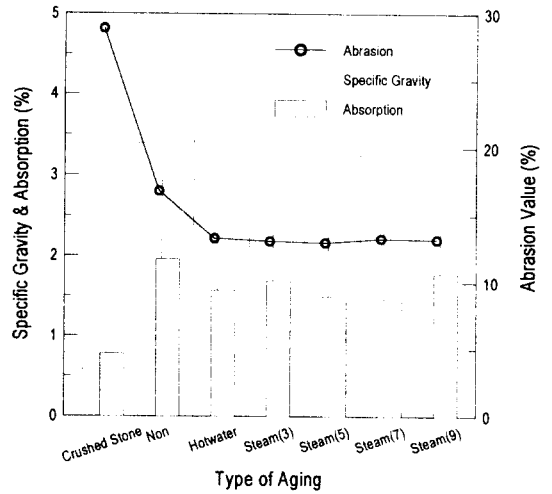


그림 1. 전로골재의 비중, 흡수율 및 마모율

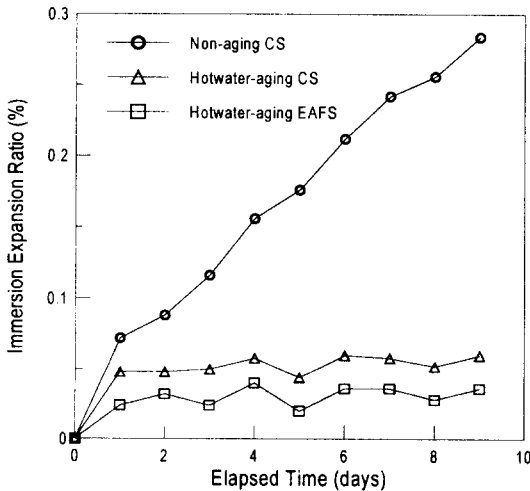


그림 2. 전로골재의 수침팽창비

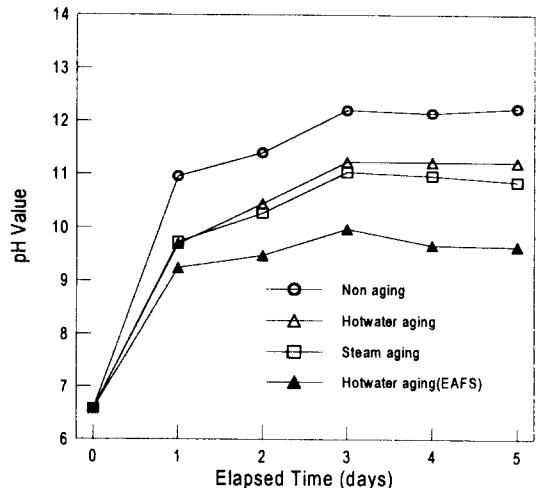


그림 3. 전로골재의 pH값

알 수 있었다. 따라서 전로골재의 경우, 온수중에이징처리함으로써 팽창성을 크게 억제시켜 안정화되었음을 알 수 있다.

한편, 전로골재의 pH값을 나타낸 것이 그림 3으로서 전로골재를 증류수에 침지하기 전의 pH가 6.6 정도인데 비하여 에이징미처리 전로골재의 경우 재령 3일 이후 pH가 12 이상의 고알칼리성을 나타내었다. 그러나 온수중에이징 및 증기에이징처리한 전로골재의 경우에는 재령 1일 이후 pH가 9 정도의 값을 나타내었으며 에이징방법에 관계없이 pH값이 거의 유사함을 알 수 있었다.

4.3 전로슬래그 굵은골재를 사용한 콘크리트의 강도

에이징처리 유,무 및 시멘트 2종류를 사용하여 제조한 전로골재 콘크리트의 압축강도를 나타낸 것이 그림 4이며, 재령 28일에서 전로골재의 에이징처리 유,무에 따른 콘크리트의 인장강도를 정리한 것이 그림 5이다. 그림 4에서 알 수 있듯이 에이징처리 유,무 및 재령에 관계없이 전로골재를 사용한 콘크리트의 압축강도는 부순돌을 사용한 보통콘크리트에 못 미치는 강도상의 문제점을 나타내었다. 그러나 인장강도의 경우에는 시멘트의 종류에 따라 약간 상이한 결과를 나타냈으며 고로슬래그시멘트를 사용한 전로골재 콘크리트의 경우 부순돌을 사용한 콘크리트보다 약간 큰 좋은 결과를 나타내었다.

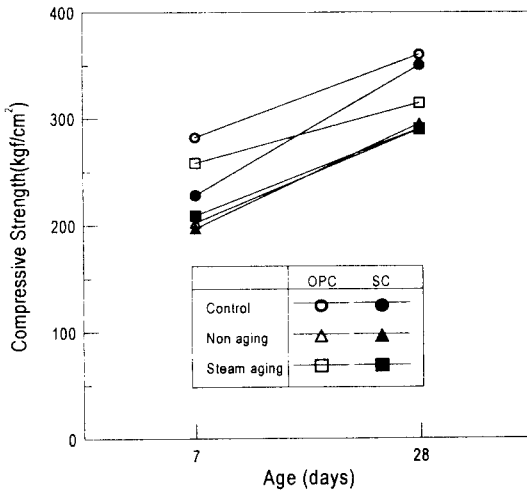


그림 4. 전로골재 사용 콘크리트의 압축강도

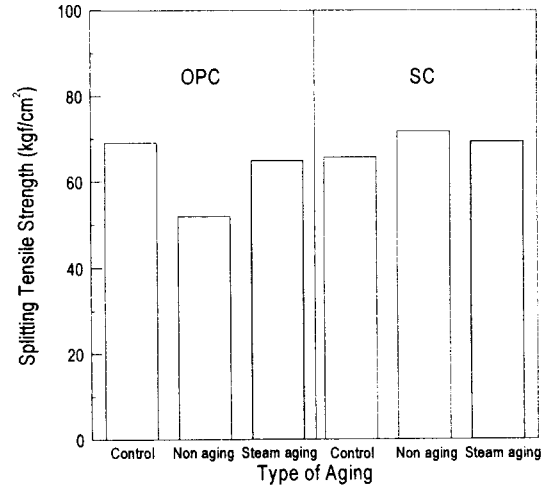


그림 5. 전로골재 사용 콘크리트의 인장강도

5. 결론

- (1) 전로슬래그 굵은골재의 비중 및 흡수율은 다같이 부순돌보다 훨씬 큰 값을 나타내었으며, 마모율은 부순돌보다 약 1/2 정도로 작은 좋은 결과를 나타내었다.
- (2) 에이징미처리 전로슬래그 굵은골재는 수침팽창비 및 pH값이 재령과 더불어서 크게 증가했으나 에이징처리한 전로슬래그 굵은골재의 수침팽창비는 에이징미처리한 경우보다 약 1/6 정도로서 팽창성을 억제하여 안정화되었음을 알 수 있었다.
- (3) 에이징처리 유,무 및 재령에 관계없이 전로슬래그 굵은골재를 사용한 콘크리트의 재령 28일의 압축강도는 부순돌 사용 보통콘크리트에 못 미쳤으나 인장강도는 고로슬래그시멘트를 사용한 전로골재 콘크리트가 보통콘크리트보다 약간 큰 결과를 나타내었다.

본 연구는 1999년도 포항제철종합주식회사의 연구비 지원으로 수행 중임을 밝혀둡니다.