

콘크리트용 골재로서 전로슬래그의 활용

The Utilization of Converter Slag as Aggregates for Concrete

문한영*, 유정훈**, ○천승환***
 Moon Han-Young, Yu Jung-Hoon, Cheon Seung-Hwan

ABSTRACT

In this paper, we evaluated the suitability of converter slag as concrete aggregate by measuring physical and chemical characteristics of converter slag. The converter slag mainly contains SiO₂ 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. Then the compressive strength of concrete with the converter 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. 쇄석의 사용은 환경문제와 관련되어 있기 때문에 대체골재의 개발 및 적용에 대한 연구가 진행되고 있는 현실이다. 그런데 콘크리트 표준시방서나 한국산업규격에서는 고로슬래그 굵은골재를 콘크리트용 골재로 사용할 수 있도록 규정하고 있으나, 전기로나 전로슬래그 같은 제강슬래그는 고로슬래그와는 달리 유리석회에 의한 팽창 붕괴성 때문에 콘크리트용 굵은골재로 사용해서는 안된다고 규정하고 있다.

본 연구에서는 제철산업의 부산물로서 연간 약 400만톤 정도 발생하는 전로슬래그를 콘크리트용 골재로 활용하기 위한 연구의 일환으로 전로슬래그의 팽창붕괴성을 최소화하기 위한 에이징 처리방법 5종류를 활용하였다. 그래서 전로슬래그 골재의 품질을 실험을 통하여 평가하였으며, 전로슬래그 골재를 부순돌과 5단계로 대체하여 제조한 콘크리트의 기초적 물성에 대하여 고찰하였다.

2. 사용재료

(1) 시멘트 : 보통포틀랜드시멘트(OPC로 약함)의 화학성분 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	Surface Area(cm ² /g)
OPC	20.30	6.20	3.20	62.40	3.00	2.00	1.90	3.14	3,265

(2) 잔골재 : 전로슬래그 잔골재(전로잔골재로 약함)와 비중 2.60, 조립률 2.81의 바다모래를 세척하여 사용하였다.

* 정희원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수
 ** 정희원, 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정
 *** 정희원, 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정

- (3) 굵은골재 : 전로슬래그 굵은골재(전로골재라 약함) 와 최대치수 20mm인 부순돌(NA로 약함) 을 동일 입도로 조정하여 사용하였으며, 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2. 에이징에 따른 전로슬래그 굵은골재의 물리적 성질

Types of Aging	Specific Gravity	Absorption (%)	Unit Weight (kg/m ³)	Percentage of Solids (%)	Abrasion Value(%)	Remarks
-	2.66	0.78	1,741	65.4	28.9	NA
Non	3.54	1.99	1,954	57.8	16.9	
Air(1year)	3.39	1.96	1,922	55.2	16.8	
Water(25℃)	3.43	1.76	1,953	57.6	13.4	
Hotwater(80℃)	3.48	1.57	1,961	56.4	13.3	
Hotwater(100℃)	3.43	1.59	1,963	56.4	13.2	
Steam (5days)	3.40	1.49	1,955	57.5	13.0	

3. 실험방법

- (1) 에이징방법 : 증기에이징은 100℃, 1기압의 증기실에 5일 동안 넣은 후 꺼내어 대기 중에 야적 하였으며, 온수증에이징은 80℃의 수중에서 24시간 침지시킨 후 대기 중에서 7일 이상 야적하였다. 공기증에이징은 대기중에 야적방치하여 유리석회와 물과의 수화반응을 일으키게 하는 방법이며, 정수증에이징은 유리석회와 수분이 충분히 반응하도록 수조에 전로슬래그를 침지시켰다.
- (2) 수침팽창비 시험 : KS F 2535의 철강슬래그의 수침팽창시험방법에 따라 실험하였다.
- (3) pH 측정 시험 : 전로골재의 입경을 5~10mm로 조정한 후 카르멜 수소이온전극을 사용하여 pH를 측정하였다.
- (4) Ca(OH)₂ 정량 : 전로슬래그를 잔골재와 굵은골재로 분류하여 350℃에서 10분간 그리고 550℃에서 60분간 열을 가한 후 골재 무게의 차를 이용하여 Ca(OH)₂량을 측정하였다.
- (5) 안정성시험 : 황산나트륨(Na₂SO₄)의 결정압에 의한 파괴 작용에 대한 저항성을 알아보기 위하여 KS F 2507의 골재의 안정성 시험 방법에 따라 실시하였다.

4. 콘크리트 배합

설계기준강도 280kgf/cm², 물-시멘트비 50%, 슬럼프 8±2cm, 잔골재율 40% 및 공기량 2±1%를 목표로 하여 전로슬래그를 0, 25, 50, 75 및 100%로 대체한 13배합을 정하였다.

5. 실험결과에 대한 고찰

5.1 전로슬래그 골재의 품질

(1) 비중 및 흡수율 : 전로골재의 비중 및 흡수율은 표 2에서 알 수 있듯이 에이징 처리 유무에 관계없이 부순돌보다 훨씬 큰 값을 나타내었다. 비중이 큰 이유는 전로슬래그의 화학성분 중 산화철이 천연암석보다 많기 때문이며, 흡수율이 큰 이유는 슬래그 냉각과정에서 골재의 내·외부에 공극이 많기 생겼기 때문이라 생각된다.

(2) 단위용적중량 및 실적률 : 전로골재의 단위용적중량은 부순돌보다 큰 반면 실적률은 오히려 작은 값을 나타내었다. 단위용적중량이 천연골재보다 큰 이유는 비중이 큰 점 때문으로 생각된다.

(3) 마모율 : 전로골재의 마모율을 측정 정리한 것이 그림 1이며, 전로골재의 마모율은 에이징처리에 상관없이 부순돌보다 오히려 약 1/2 정도 작은 좋은 결과를 나타내었다.

(4) 수침팽창비 : 에이징방법에 따른 전로골재의 수침팽창비를 정리한 것이 그림 2이며, 에이징미처

리 전로골재의 경우 재령 10일의 수침팽창비는 1.58%정도으로써 “도로용 철강슬래그”의 수침팽창비 기준값 1.5%를 초과 하였으나, 4종류로 에이징처리한 경우에는 기준값 이하를 모두 만족하는 결과를 얻었다. 이때 증기에이징처리한 전로골재가 4종류에이징처리방법 중 가장 작은 좋은 결과를 나타내었다.

(5) Ca(OH)_2 량 : 전로슬래그골재의 에이징처리 유, 무에 따른 Ca(OH)_2 량을 측정하여 정리한 것이 그림 4로서, 에이징미처리 <공기중에이징(1개월) <온수중에이징(80℃) <온수중에이징(100℃) <증기에이징처리의 순으로 많이 생성되었다. 이는 증기에이징한 전로골재 내부의 free CaO가 에이징 과정에서 수분과 충분히 반응하여 Ca(OH)_2 를 생성시킨 것으로서 에이징효과가 우수함을 알 수 있었다, 특히 전로 잔골재의 경우 수분과 반응할 수 있는 표면적이 굵은골재보다 크기 때문에 Ca(OH)_2 가 많이 생성되었다고 생각된다.

(6) pH값 : 부순돌과 전로골재를 증류수에 91일간 침지하여 경과시간별 pH값을 측정한 결과가 그림 3으로서, 에이징미처리 전로골재의 pH값이 에이징처리한 전로골재보다 약 1.0정도 높은 값을 나타내었다. 이는 내부에 잔존하고 있는 CaO가 Ca(OH)_2 로 변화되어 용출하므로 재령별 pH값이 높아진 것으로 생각된다. 그러나 전로골재의 pH값이 재령 2일까지는 증가하지만 재령 7일 이후에는 감소를 나타내는 이유는 Ca(OH)_2 가 CaCO_3 로의 변화에 따른 결과로 생각된다.

(7) 안정성 : 전로골재의 안정성을 측정 정리한 것이 그림 5이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 에이징미처리 전로슬래그골재의 안정성시험결과와 한국콘크리트 표준시방서의 기준값인 12%를 약간 상회하는 결과를 나타내었으나, 에이징처리한 전로슬래그 골재의 경우에는 에이징 방법에 따라 약간의 차이는 있었으나, 시방서 기준값 1/3이하로 만족하는 좋은 결과를 나타내었을 뿐만아니라, 부순돌 보다도 오히려 작은 값을 보였다.

5.2 전로골재 사용 콘크리트의 압축강도

에이징처리한 전로골재를 부순돌과 각각 0%, 25%, 50%, 75% 및 100%로 대체하여, 물-시멘트비 50%의 콘크리트를 제조하여 재령 7 및 28일의 압축강도를 측정하여 정리한 것이 그림 6이다. 이 그림에서 공기중에이징처리한 전로골재를 사용한 콘크리트의 압축강도는 에이징미처리 전로골재를 사용하여 제조한 콘크리트의 압축강도보다 높은 값을 나타내었다.

6. 결 론

- (1) 에이징미처리 전로골재는 수침팽창비가 한국산업규격의 기준값 1.5%를 초과 하였으나, 에이징처리 전로골재는 모두 기준값 이하의 좋은 결과를 얻었다.
- (2) 에이징과정에서 생성되는 Ca(OH)_2 의 양은 증기에이징처리의 경우가 가장 큰 값을 나타내어 온수중에이징 및 공기중에이징처리보다 효과가 큼을 알 수 있었다.
- (3) 증기에이징처리한 전로골재 대체율 25%의 경우 재령에 관계없이 콘크리트의 압축강도는 가장 큰 값을 보였다.

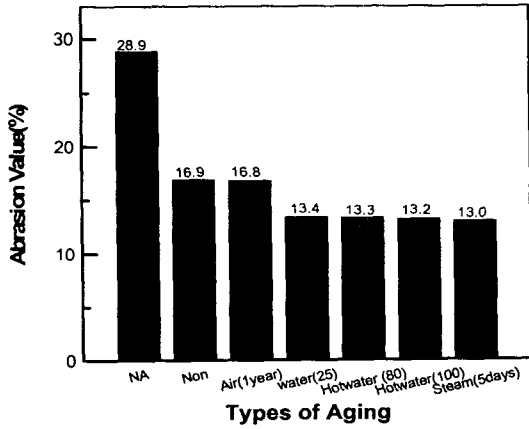


그림 1. 전로골재의 마모율

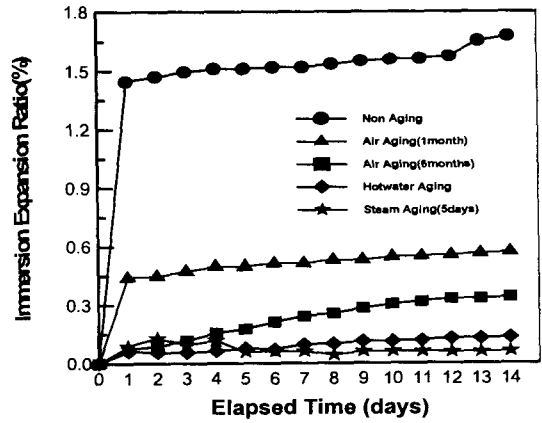


그림 2. 전로골재의 수침팽창비

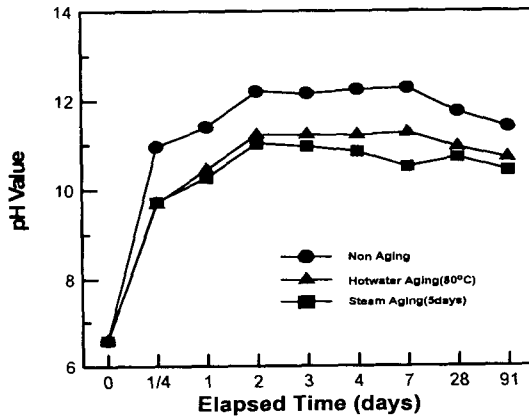


그림 3. 전로골재를 침지한 수용액의 pH

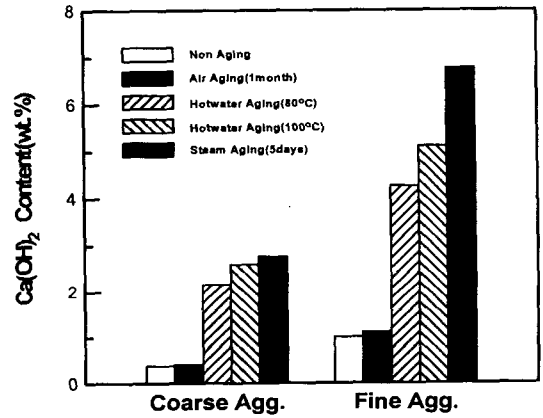


그림 4. 전로골재의 Ca(OH)₂ 정량

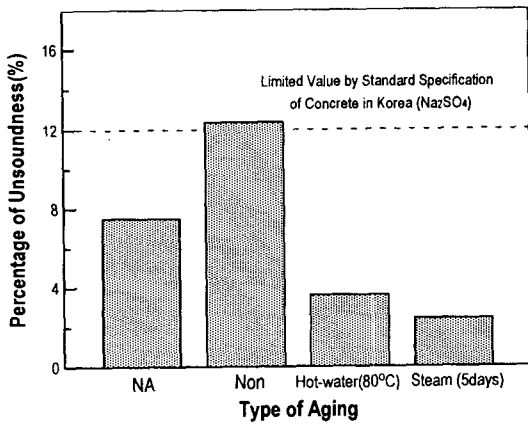


그림 5. 전로골재의 안정성

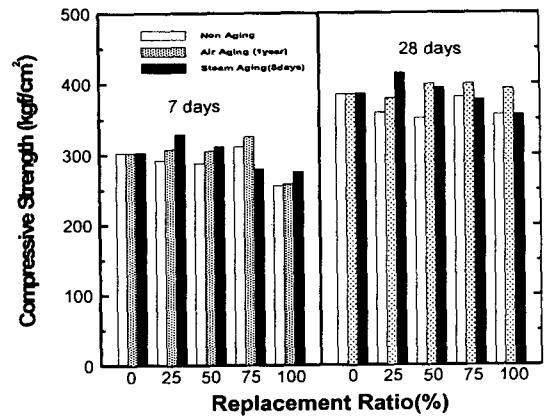


그림 6. 전로골재를 사용한 콘크리트의 압축강도