

# 고로슬래그 골재를 사용한 콘크리트 특성에 대한 실험적 연구

## The Experimental study on the property of concrete which used Blast furnace slag aggregate

박 정 우\*    김 상 미\*    김 광 기\*    임 남 기\*\*    정 상 진\*\*\*  
Park, Jung Woo   Kim, Sang Mi   Kim, Kwang ki   Lim, Nam Gi   Jung, Sang Jin

### Abstract

Several studies have reported that Granulated Blast-Furnace Slag improved the properties of concrete.

The Granulated Blast-Furnace Slag could be a good alternative in the shortage of aggregate situation.

Slag shows the possibility of influential aggregate and effect of environment preservation.

This study presents that the basic properties of fresh concrete using Air-cooled Blast-furnace slag aggregate and Water-cooled Blast-furnace slag aggregate. Testing Factors of this study are concrete slump, slump loss, bleeding, and air contents. The result of this study is below.

1) In case of proportion slag and grave is 50 to 50, the biggest slump value is measured.

2) In the concrete using of air-cooled Blast-furnace slag aggregate, the bleeding capacity is a little.

In the concrete using of Water-cooled Blast-furnace slag aggregate, the bleeding capacity goes up to 50% increase.

3) As substitution rate of the granulated blast-furnace slag goes up, air content is increased.

### 1. 서 론

건축·토목 분야의 골재부족현상이 심각해짐에 따라 여러 가지 대안들이 제시되고 있는 현 실정에 서 고로슬래그는 콘크리트 성능개선 효과뿐만 아니라, 유력한 대체골재로서의 가능성을 보여왔다. 또 한 자원재활용과 환경보전 차원에서 고로슬래그의 콘크리트 자원화는 필요하다.

본 논문에서는 기존의 슬래그 모르타 실험을 바탕으로 고로슬래그 재활용 골재를 굵은 골재와 잔골 재로 사용하였을 경우, 치환에 따른 굳지않은 콘크리트의 슬럼프, 슬럼프 로스, 블리딩, 공기량을 측 정·분석함으로써 고로슬래그 콘크리트의 실제 채용가능성에의 기초자료로 제공하고자 한다.

- \* 정희원, 단국대학교 대학원 석사과정
- \*\* 정희원, 동명정보대학교 건축공학과 교수
- \*\*\* 정희원, 단국대학교 건축공학과 교수

## 2. 실험재료 및 계획

### 2.1 사용재료

#### (1) 시멘트

시멘트는 비표면적이 3,112cm<sup>2</sup>/g인 국내 S사 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 화학성분 및 물리적 성질은 표1과 같다.

표1. 시멘트의 화학성분 및 물리적성질

구분	화학성분(%)							비중
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Ig.loss	
보통 포틀랜드 시멘트	21.95	6.59	2.81	60.12	3.32	2.11	2.58	3.15

#### (2) 잔골재

골재는 춘천산 강모래를 사용하였으며, 입도조정은 KS F 2502 체가름 시험방법에 의거하였다. 잔골재의 물리적 성질은 표2와 같다.

표 2. 잔골재의 물리적 성질

구분	비중	흡수율 (%)	조립율 (F.M)	유기 불순물	단위용적중량 (kg/m <sup>3</sup> )	실적율 (%)
춘천산 강모래	2.60	1.83	3.13	양호	1,584	61.0

#### (3) 고로급냉 및 서냉슬래그 잔골재

슬래그 잔골재는 포항제철에서 슬래그 처리업체에 제공하여 잔골재로 생산된 것을 사용하였다. 특히 고로서냉슬래그 모래는 별도의 공정을 거쳐 저비중 요소에 의한 표면부화 및 저장도 현상을 제거, 탈황촉진, 그리고 흡수율을 저감시켜 만든 슬래그 잔골재를 사용하였으며, 각각의 화학·물리적 성질은 표3과 표4에 나타내었다.

표 3. 고로슬래그 잔골재의 화학·물리적 성질

구분	화학성분별 구성비(%)					
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S
서냉	43.4	32.0	13.1	7.08	1.52	0.5
급냉	38.4	36.5	12.2	7.55	1.27	1.51

표 4. 고로슬래그 잔골재의 물리적 성질

구분	절대진조 비중	흡수율 (%)	단위용적중량(kg/m <sup>3</sup> )	공극률 (%)	입형판정 실적률 (%)
서냉	2.99	2.58	1670	41	55.9
급냉	2.21	4.51	1198	46	54.2

(4) 슬래그 굵은 골재

슬래그 굵은 골재는 서냉슬래그로 생산된 것을 사용하였으며, 표 5와6에 그 화학적, 물리적 성질을 나타내었다.

표 5. 고로슬래그 굵은 골재의 화학적 성질

화학적 성질	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S	염기도
구성비율 추정값 (%)	41.1	35.0	13.5	7.93	1.35	1.47	1.78

표 6. 고로슬래그 굵은 골재의 물리적 성질

물리적 성질	절대건 조 비중	흡수율 (%)	단위용적 중량(kg/m <sup>3</sup> )	실적률 (%)	조립률 (F.M.)
	2.41	3.79	1491	62	6.88

(5) AE제

소정의 유동성 및 슬럼프를 얻기 위해 AE제를 사용하였으며 그 기본물성은 아래 표 8과 같다.

표 7. AE제의 기본물성

유형	주성분	비중
액상형	폴리카르본산 에테르	1.05±0.02

2.2 시험방법

2.2.1 슬럼프 및 슬럼프 로스

슬럼프 및 슬럼프 로스 실험은 KS F 2402에 준하여 시행하였고, 1시간까지는 15분 간격으로, 그 후 2시간까지는 30분 간격으로 슬럼프를 측정하여 조사하였다.

2.2.2 블리딩

블리딩시험은 콘크리트의 블리딩시험방법(KS F 2414)에 준하여 시험하였으며, 1시간까지는 10분 간격, 그 이후부터는 30분 간격으로 측정하여 누계를 구하였다.

2.2.3 공기량

공기량 시험방법은 굳지 않은 콘크리트의 단위용적중량 및 공기량 시험방법(KS F 2409)에 의해 시험하였다.

2.3 배합

본 실험의 배합계획은 실험계획 및 배합인자는 표8과 같다.

표 8. 실험인자

구분	W/C	서냉 및 급냉 슬래그 잔골재 치환율 (%)	슬래그 굵은골재 치환율 (%)	비고
인자	50, 55	0, 50, 100	0, 50, 100	수중양생

## 2.4 시험체 제작 및 양생

콘크리트 혼합은 강제혼합 믹서를 사용하였다. 비빔은 재료투입 전에 실험오차를 줄이기 위하여 동일배합의 콘크리트를 소량으로 믹서 내부에 도포한 후 실시하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 배합별 슬럼프

굵은 골재 및 잔골재를 슬래그 골재로 치환했을 경우의 결과는 그림1과 같다.

굵은 골재의 치환에 따른 슬럼프는 슬래그 100%의 경우가 쇄석 100%보다 낮게 나타나는 동일한 결과를 나타내었다. 이는 상대적으로 슬래그 굵은 골재의 입형이 나쁘고, 단위용적중량이 일반 굵은 골재보다 작기때문인 것으로 보인다.

이에 비해 슬래그와 쇄석 1:1 배합의 경우가 가장 큰 슬럼프를 보여, 혼합된 상태의 골재로 사용 시 유동성 개선의 효과를 얻을 수 있을 것으로 보인다.

한편 잔골재 치환의 경우, 슬럼프는 강모래 사용시에 비해 슬래그 치환율이 높을수록 낮아졌다. 이는 슬래그 잔골재 입형에 따른 결과로 보인다.

또한, 물시멘트비에 따른 슬럼프에서 물시멘트비 50%는 치환에 따른 슬럼프 변화경향이 두드러졌지만, 물시멘트비 55%에서는 그 변화가 적었는데, 슬래그 골재의 큰 흡수율에 의한 것으로 판단된다.

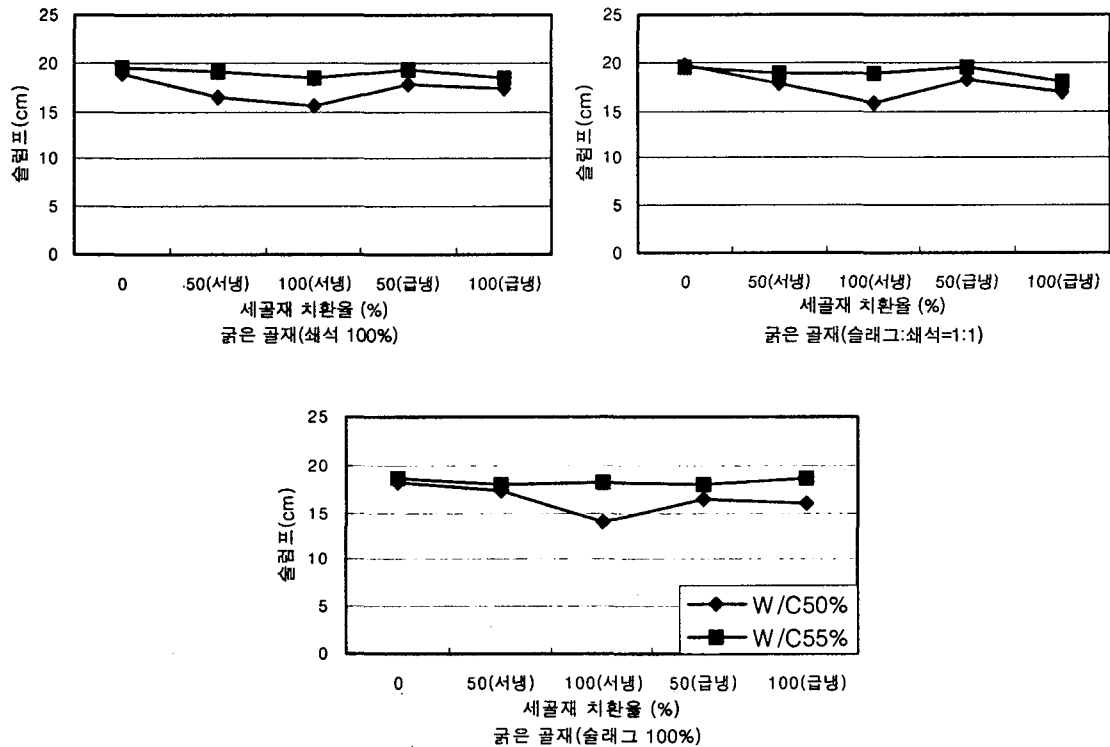


그림1. 배합별 슬럼프

### 3.2 경과시간별 슬럼프 로스

측정결과는 아래 그림 2와 같다.

잔골재별 슬럼프 로스변화는 대체로 유사한 변화를 보였다. 급냉슬래그 50% 배합의 경우가 다소 슬럼프 로스가 작게 나타났는데, 이는 슬래그 잔골재의 흡수율이 크고, 조기강도가 낮은 것과 관련된 결과로 사료된다.

### 3.3 블리딩

그림 3과 같이 전체적으로 슬래그 잔골재를 사용한 경우가 강모래 100% 사용의 경우보다 블리딩이 많게 나타났다. 이는 슬래그의 표면특성상 유리질이 많아 수분의 흡착이 곤란하게 된 과잉수가 블리딩으로 표출되었기 때문으로 사료된다.

재료별 블리딩을 살펴보면 서냉슬래그 잔골재 50% 치환의 경우에는 초기 블리딩이 작고, 120분까지의 블리딩량의 누계치는 일반 콘크리트와 유사한 경향을 나타내었다. 100% 치환의 경우 기준 시범체보다 15~20%의 블리딩 증가가 있었으나, 급냉슬래그 잔골재 50% 치환에서는 50% 정도의 블리딩 증가량이 있어 실제공사에 적용할 경우 레이턴스로 인한 문제가 발생할 것으로 보인다.

또한, 기존 모르터 실험에 바탕해 조기강도가 낮을수록 블리딩량이 많은 결과로부터 고로슬래그 골재 사용시 블리딩량과 강도가 관련이 있음을 알 수 있었다.

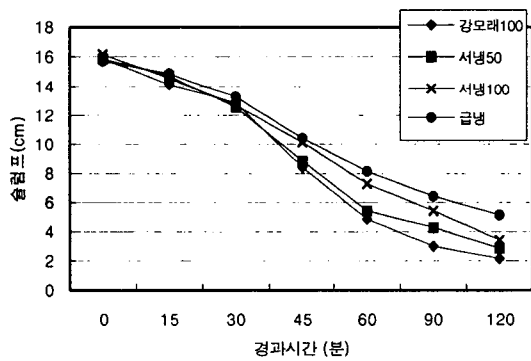


그림 2. 경과시간에 따른 슬럼프 로스

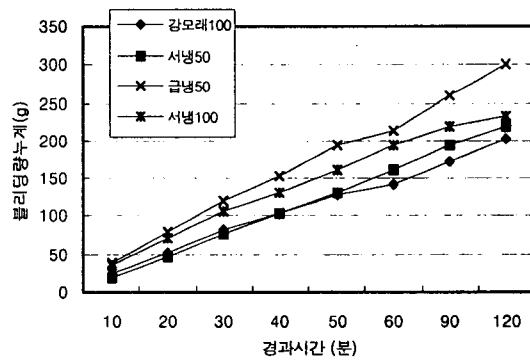
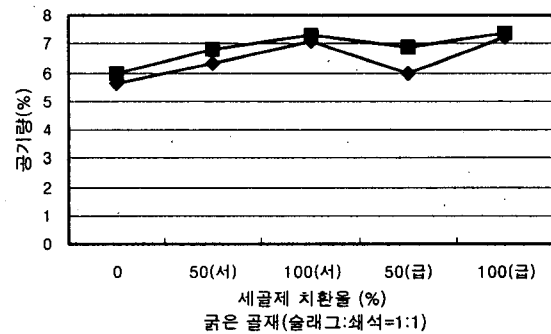
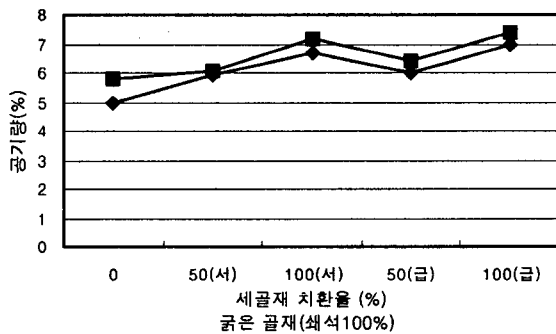
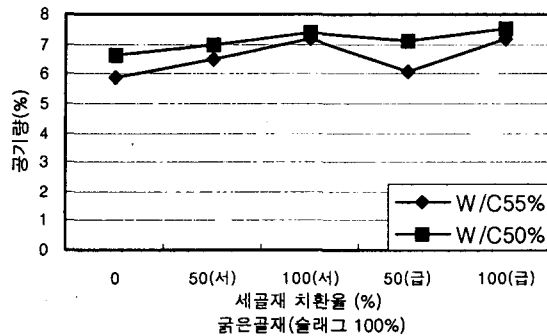


그림 3. 배합별 · 경과시간별 블리딩량

### 3.4 공기량





굵은 골재별 공기량은 쇠석보다 슬래그 굵은 골재가 다소 큰 값을 나타내었고, 잔골재별 공기량은 강모래보다 슬래그 치환율이 높을수록 공기량이 많아지는 것으로 나타났다. 이는 슬래그 골재의 입형이 거칠고, 갇힌 공기가 많으며 슬래그 자체에 미세공기포를 함유하고 있기 때문으로 사료된다.

#### 4. 결 론

1. 배합별 슬럼프는 굵은 골재에 대해서는 슬래그와 쇠석비 1:1인 경우가, 잔골재에 대해서는 강모래 100%인 경우가 가장 큰 값을 나타내었다.  
물시멘트비 50%에 비해 55%에서 그 특성은 미소하였는데 이는 슬래그 골재의 큰 흡수율에 따른 적정수량 공급 필요성의 결과로 사료된다.
2. 경과시간별 슬럼프 로스의 큰 차이는 보이지 않았다.
3. 서냉슬래그 잔골재 사용시의 블리딩은 그다지 크지 않았으나 급냉슬래그 잔골재 50% 치환에서는 블리딩이 50%까지 증가하였는데, 이것은 골재 흡수율과 관련된 문제로 보이며 사용에 문제를 초래할 것으로 판단된다.
4. 공기량은 슬래그 골재 치환율이 높을수록, 특히 급냉 슬래그 잔골재 사용시에 크게 나타났다.

#### 참고문헌

1. 정상진의 10인, "건축재료학", 보성각, 1999
2. 정상진의 4인, "고로 급냉슬래그를 잔골재로 사용한 모르타의 강도특성에 관한 실험적 연구", 대한건축학회논문집 14권 3호, 1998. 3,
3. 대한토목학회, "고로슬래그 굵은골재를 이용한 콘크리트에 관한 연구", 동서개발주식회사, 1985. 10
4. 한국건설자재 시험연구원, "골재관련 KS규격 및 시방서 비교 검토 정비", 국립기술품질원, 1996
5. 윤재환, 백광섭, "고로시멘트를 사용한 콘크리트의 배합설계에 관한 연구", 대한건축학회논문집 12권 4호, 19966
6. ACI Committee Report, ACI 226, 1R-87, "Granulated Blast-Furnace Slag as a Cementitious Constituent in Concrete", ACI Materials Journal, Vol.84, No.4, 1987
7. 依田彰彦, "高爐スラグを骨材としていコンクリートの性質", 1983