

동제련 슬래그 잔골재를 이용한 고강도 콘크리트의 물성에 관한 연구

The Study on the Property of High Strength Concrete Used Copper Slag

박정우^{*} 김상미^{**} 강태경^{**} 백민수^{***} 임남기^{***} 정상진^{****}
Park, Jung Woo Kim, Sang Mi Kang, Tae Kyung Paik, Min Su Lim, Nam Gi Jung, Sang Jin

ABSTRACT

Slag product has the possibility as alternative aggregate and sand under the circumstance of natural resource shortage. Copper slag is the by-product produced in process of copper industry. Recycling the slag in construction industry could give positive effects on the environmental preservation.

This study presents that the fundamental properties of high strength concrete which used copper slag as alternative sand. Testing factors are concrete's slump, bleeding, air contents and compressive strength. The results of this study are as follows.

(1) Mixing of W/C 30%, substitution rate 25% shows the best slump. As substitution rates are going up, concrete slump is uprising and air contents are downsizing.

(2) The bleeding of concrete becomes more serious as substitution rates are going up.

(3) The best compressive strength of copper slag concrete is achieved in mixing of W/C 30%, substitution rate 25%.

1. 서론

건설산업은 천연자원의 고갈과 환경문제를 동시에 처리할 수 있는 방법으로 이미 플라이애쉬, 고로슬래그 등의 부산물의 자원화 활용을 추진해왔으며, 이를 통해 고기능, 고품질 콘크리트의 생산을 위한 기술이 진행 중인 상태이다. 특히 제강산업에 따른 슬래그 부산물은 기존 골재를 대체할 수 있는 대체골재와 시멘트에 치환해 사용하는 슬래그 미분말에 대한 연구가 많이 진행되어, 현재 고로슬래그 미분말의 경우 레미콘에 적용되는 KS규격에 대한 심의가 진행 중이다.

* 정회원, 단국대 대학원 석사과정

** 정회원, 단국대 대학원 박사과정

*** 정회원, 단국대 대학원 박사과정 수료

**** 정회원, 동명정보대 건축공학과 교수

***** 정회원, 단국대 건축학부 건축공학교수, 공학박사

금속산업 중 철강과 더불어 그 사용이 증가되고 있는 구리(Cu)는 제련과정을 통해 많은 양의 슬래그가 발생되며, 국내에서만 매년 70만톤의 동제련 슬래그가 발생되고 있다. 이 중 10만톤 정도만이 Sand Blasting재, 노반재, 매립용 골재 등으로 사용되고 있으며, 최근에서야 “KS F 2543 콘크리트 동(銅) 슬래그 골재” 규정이 제정되었다.

본 논문에서는 동제련 슬래그를 잔골재로 이용한 고강도 콘크리트 물성 실험을 통해, 동제련 슬래그의 콘크리트 자원화에 대한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 실험재료 및 계획

2.1 사용재료

(1) 시멘트

시멘트는 비표면적이 3,112cm²/g인 국내 S사 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 화학성분 및 물리적 성질은 표1과 같다.

표 1. 시멘트의 화학성분 및 물리적성질

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

표 2. 잔골재와 굵은 골재의 물리적 성질

	생산지	최대치수(mm)	표면건조비중	흡수율(%)	단위용적중량(kg/m ³)	실적율(%)	조립율(%)
잔골재	북한강산	5.0	2.59	0.98	1,590	61.2	2.87
굵은골재	광주석산	20.0	2.61	0.95	1,527	57.8	7.12

(2) 사용골재

골재는 북한강산 강모래와 광주석산 쇄석을 사용하였으며, 입도조정은 KS F 2502 체가름 시험방법에 의거하였다. 사용골재의 물리적 성질은 표2와 같다.

(3) 동제련 슬래그 잔골재

동제련 슬래그 잔골재는 L사에서 연속로 공법에 따라 생산된 것을 사용하였으며 그 물리적, 화학적 성질은 아래의 표3, 표4와 같다.

표 3. 동제련 슬래그의 물리적 성질

구분	조립율	표건비중	흡수율(%)	단위용적중량(kg/m ³)	실적율(%)
연속로 공법	3.51	3.46	0.2	2,238	60

표 4. 동제련 슬래그의 화학적 성질

구분	Fe	SiO ₂	Fe ₃ O ₄	Al ₂ O ₃	MgO	Cu	CaO
연속로 공법	38.13	33.46	4.17	4.74	0.98	0.91	4.67

(4) 고성능 AE감수제

콘크리트의 유동성능 등을 확보하기 위해 J사의 고성능 AE감수제를 사용하였다.

표 5. 고성능 AE감수제의 물성

유형	외관	pH	조성
액상형	암갈색	8.5±1.5	나프탈렌 포말데하이드

2.2 시험방법

2.2.1 슬럼프 측정

슬럼프 실험은 KS F 2402에 준하여 시행하였다.

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 공기량 시험방법(KS F 2409)에 의해 시험하였다.

2.2.4 압축강도 시험

압축강도 시험은 KS F 2405의 규정에 따라 실시하였으며, U.T.M (만능시험기)을 이용하여 측정하였다.

2.3 배합

본 실험은 물시멘트비 30%, 단위수량 175kg/m³, 잔골재율 43%를 기준배합으로 잔골재를 동제련 슬래그로 치환하였다. 실험계획 및 배합인자는 표6과 같다.

표 6. 실험인자

구분	W/C	S/A(%)	SP (%)	동제련 슬래그 잔골재 치환율(%)	비고
인자	30, 35, 40	43	1.2	0, 25, 50, 75, 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

잔골재를 동제련 슬래그로 치환했을 경우의 결과는 그림1과 같다.

전반적으로 슬럼프 18cm를 상회하는 우수한 유동성을 보였으며, 동제련 슬래그 잔골재 치환율이 높아짐에 따라 슬럼프값이 높아지는 경향을 보임으로써 유동성 개선의 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 이는 슬래그 자체의 둥근 입형에 따른 효과와 높은 비중의 슬래그가 페이스트에서의 고정성을 잃은 활발한 움직임을 보이면서, 동시에 슬래그의 주요성분이 금속류인데 기인한 낮은 흡수율로 인해 치환율 0%보다 많은 수량이 공급되기 때문인 것으로 판단된다. W/C 30%, 슬래그 치환율 50%에서 가장 높은 슬럼프값을 보였으며, 치환율 75%에서부터는 골재간 비중차이에 의한 재료분리가 발생하여 슬럼프가 저하하는 양상을 보였다. 특히 물시멘트비 40%인 경우, 상대적으로 단위수량이 많아지는 관

계로 치환율 50%에서부터 재료분리가 발생하는 것이 관찰되었다.

3.2 블리딩

그림 2와 같이 전체적으로 동제련 슬래그 잔골재를 사용한 경우가 강모래 100% 사용의 경우보다 블리딩이 많게 나타났다. 이는 슬래그의 표면특성상 유리질이 많아 수분의 흡착이 곤란하게 된 잉여수가 블리딩으로 표출되었기 때문으로 판단된다. 물시멘트비 35%의 경우, 치환율 25%와 50%의 콘크리트가 강모래의 경우보다 97%의 블리딩 증가가 발생했으나 치환율 25%와 50% 간의 블리딩은 큰 차이가 없었다. 물시멘트비 40%에서는 사용수량의 증가로 인한 블리딩의 증가가 있었으나, 치환율 0%와 25%간의 블리딩량은 유사하였다. 특히 W/C 30%에서는 슬래그 치환율 25%와 50%가 치환율 0%보다 블리딩이 각각 90%, 540%까지 감소하는 결과를 보였다. 이는 슬래그 간의 흡착성과 슬래그의 유리질이 일종의 막을 형성하는 것으로 추정되며 좀 더 자세한 연구가 필요할 것으로 사료된다. 전반적으로 낮은 흡수율과 높은 비중에 의해 높은 블리딩량을 보이므로 실제채용시에 레이턴스를 주의해야 할 것으로 보인다.

3.3 공기량

공기량은 전체적으로 물시멘트비가 증가될수록 감소하는 경향을 보였으며, 4~0.6% 범위의 공기량으로 나타났다. 치환되지 않은 상태보다 동제련 슬래그 골재를 치환한 경우의 공기량이 낮게 나타났으며, 치환율 25%와 50%는 비슷한 공기량을 보였으나, 치환율 75%이후로는 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 이런 결과로 보아 동제련 슬래그 잔골재 사용은 공기량 감소에 영향을 미치며, 동결융해 저항성 등의 콘크리트 내구성을 얻기 위해 AE제 사용 등을 통한 소요 공기량의 확보가 필요할 것으로 판단된다.

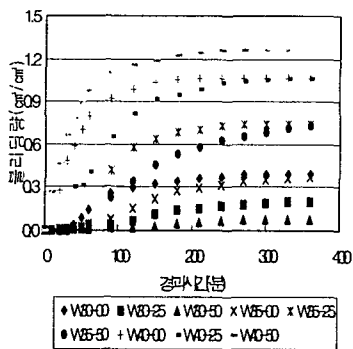


그림1 배합별·경과시간별 블리딩량

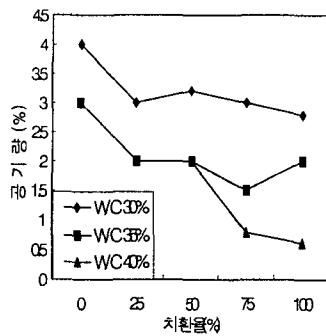


그림2 치환율에 따른 공기량

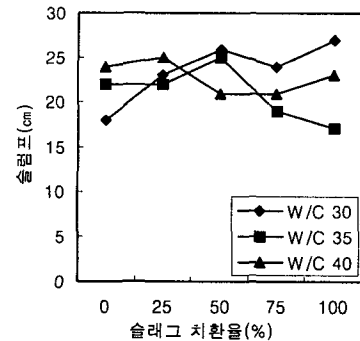


그림3 치환율에 따른 슬럼프값

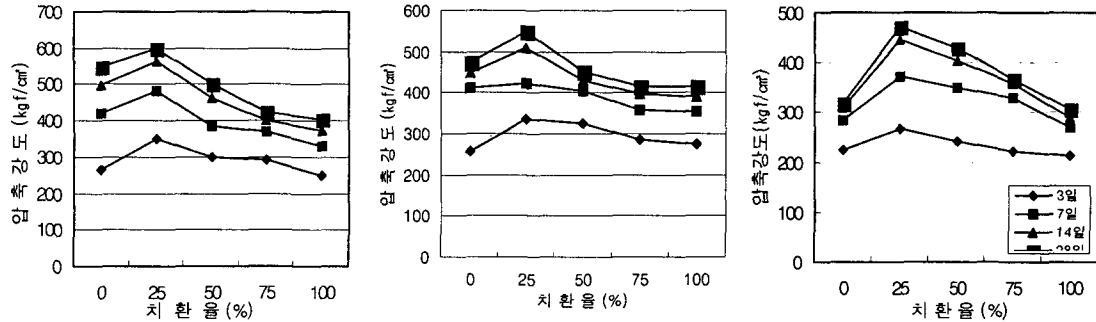
3.4 치환율과 압축강도

치환율의 증가에 따른 압축강도의 변화를 그림 4에 나타내었다.

전반적으로 동제련 슬래그 치환율 50%까지는 치환되지 않은 상태의 콘크리트와 동등하거나 더 높은 강도가 발현되는 것으로 나타났다. 그러나, 50%이상에서는 오히려 강도가 저하되는 성상을 보였다.

이는 잔골재를 대신하는 동제련 슬래그의 입자가 상대적으로 크므로 콘크리트 내 간극들이 발생하고 자골재 부족으로 굵은 골재가 부착력이 저하되기 때문으로 판단된다 모든 물시멘트비에서 치환율

25%가 가장 높은 강도를 나타내었으며, 물시멘트비 30%, 치환율 25%에서 치환되지 않은 상태보다 53 kgf/cm²의 강도가 더 증진되면서 가장 높은 강도를 나타내었다.



물시멘트비 30%

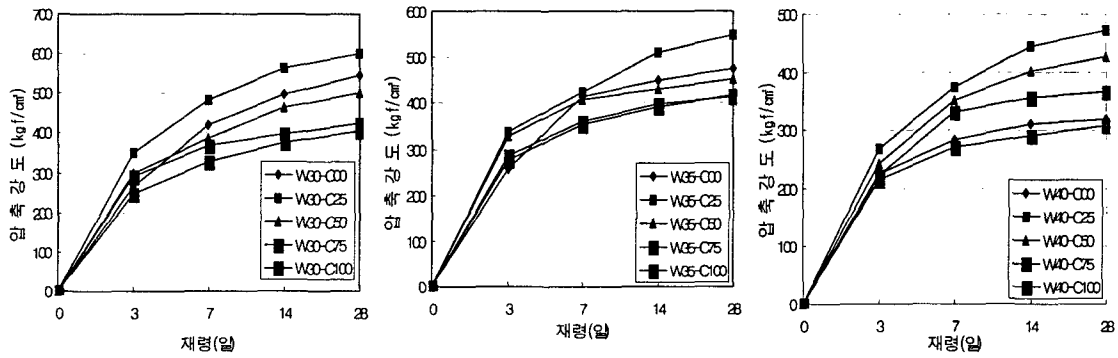
물시멘트비 35%

물시멘트비 40%

그림 4 치환율에 따른 압축강도

3.5 재령에 따른 압축강도

각 재령에 따른 강도의 변화는 그림 5와 같다. 물시멘트비 40%를 제외한 모든 배합에서 재령 7일 이후의 강도는 300kgf/cm² 이상으로 발현되었고, 재령 28일 강도에서는 400~600kgf/cm² 정도의 고강도로 나타났다. 동제련 슬래그 치환율에 따라 미소한 증가 혹은 감소경향을 보이고 재령에 따른 특별한 경향은 없는 것으로 판단된다.



물시멘트비 30%

물시멘트비 35%

물시멘트비 40%

그림 5. 재령에 따른 압축강도

4. 결론

산업부산물인 동제련 슬래그를 콘크리트 재료로써의 활용하기 위한 기초실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 물시멘트비 30%, 동제련 슬래그 치환율 50%에서 가장 높은 슬럼프를 보였으며, 치환율 75%까지는 치환율이 높아질수록 슬럼프가 증가하는 경향을 보였다.
- (2) 동제련 슬래그 치환율이 높아질수록 공기량은 저하하는 경향을 보였다.
- (3) 동제련 슬래그 자체물성에 의해 치환율이 높아질수록 불리당이 증가하므로 현장채용 시 주의하여야 할 것으로 판단된다.
- (4) 압축강도는 슬래그 치환율 50%까지는 치환율이 높아질수록 증가하였으나, 그 이후로는 강도가 저하하는 결과를 보였다. 이는 과도한 치환이 콘크리트 내 간극을 형성하고 잔골재 부족으로 인한 부착력 저하를 초래하기 때문으로 사료된다.

참고문헌

1. 정상진외 10인, “건축재료학”, 보성각, 1999.
2. Antonio M. Arino and Barzin Mobasher, “Effect of Ground Copper Slag on Strength and Toughness of Cementitious Mixes”, ACI Materials Journal January-February, 1999.
3. 박조범, “동제련 슬래그를 혼입한 모르타의 강도특성에 관한 연구”, 석사학위논문, 건국대학교 대학원, 2000.
4. 한국건설기술연구원, 동제련 슬래그의 건설재료 활용 및 기준개발, 2000.
5. 河原正泰, “非鐵スラグの有効利用”, 資源と素材, Vol 113, No 12. 1997.
6. R.Tixer외 2인, “The Effect of Copper Slag on the Hydration and Mechanical Properties of Cementitious Mixtures”, Cement and Concrete Research, Vol 27. No 10, 1997, Elsevier Science Ltd.
7. 한국표준협회, KS F 2543 콘크리트용 동(銅)슬래그 골재, 2000.