

동제련 슬래그 잔골재를 치환한 고강도 콘크리트의 현장적용을 위한 실험적 연구

An Experimental Study on the High Strength Concrete which Substituted Copper Slag Sand for Application

김 용 성^{*} 김 이 동^{*} 강 병 훈^{*} 김 성 식^{**} 임 남 기^{***} 정 상 진^{****}
Kim, Yong Seong Kim, I Dong Kang, Byung Hun Kim, Sung Sik Lim, Nam Gi Jung, Sang Jin

ABSTRACT

In modern times, the environment preservation is global tendency and self social awareness is arise. Measures to the environment preservation and pollution is going on study. One measure is recycling and reuse of by product and it is already developed in some advanced country.. There is 7 hundred thousand tons of copper slag production from copper refining process in domestic.

The purpose of this study is reusing copper slag -by product which produced L cooperation in domestic-as fine aggregate for producing high strength concrete and investigating the fundamental characteristics.

1. 서론

지구촌 시대에 환경과 자원절약의 문제가 세계각국의 주요 관심사로 대두되고 있는 가운데 국내에서도 각종 부산물의 재활용과 그에 따른 관련기술 개발이 다각적으로 진행되고 있다. 최근에는 제련, 제강 등 다양한 금속 제품생산공정에서 발생하는 슬래그의 적정처리와 재활용을 통한 환경보전과 자원절약의 사회적 제도적 노력이 지속되고 있다.

금속산업 중 철강과 더불어 그 사용이 증가되고 있는 구리(Cu)는 제련과정을 통해 다량의 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 기초부 및 저층부 고강도 콘크리트를 위해 동제련 슬래그를 잔골재로 이용한 콘크리트의 물성실험을 통하여 벽체 및 기초판, 매스콘크리트에 적용가능한 적절한 배합을 제시하고자 하는데 목적이 있다.

* 정회원, 단국대 대학원 석사과정

** 정회원, 대흥 ENG 근무

*** 정회원, 동명정보대학교 건축공학과 교수

**** 정회원, 단국대 건축대학 교수

2. 실험 재료 및 계획

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

시멘트는 비표면적 $3,112\text{cm}^2/\text{g}$ 인 국내 S사 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 물리적 성질은 표1과 같다.

2.1.2 골재

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

표 1 시멘트의 물리적 성질

비중	분말도 (cm^2/g)	안정 성	응결시간(hour)		압축강도(kgf/cm^2)		
			초 결	종 결	3일	7일	28일
3.15	2,900	양호	4	6	198	272	389

표2. 잔골재와 굵은골재의 물리적 성질

	생산지	최대 치수 (mm)	표면 건조 비중	흡수율 (%)	단위용 적중량 (kg/m^3)	실적율 (%)	조립율 (%)
잔골재	북한강산	5.0	2.60	0.98	1,590	61.2	2.87
굵은골재	광주석산	20.0	2.62	0.95	1,527	57.8	7.12

2.1.3 동제련 슬래그 골재

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

표3. 동제련 슬래그의 물리적 성질

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

표4. 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

2.1.4 고성능 AE감수제

고강도 콘크리트의 유동성 확보를 위해 국내 J사의 나프탈렌계 고성능 AE감수제를 사용하였으며, 물성은 표5와 같다.

표5. 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 공기량

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

2.2.3 압축강도 시험

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

2.3 배합

본 실험은 단위수량 175kg/m³, 잔골재율 43%를 기준으로 잔골재를 동제련 슬래그로 치환하였다. 실험인자는 표6과 같다.

표6. 실험인자

구분	W/C (%)	S/A (%)	SP (%)	동제련 슬래그 잔골재 치환율(%)	비고
인자	30	43	1	0, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40	수중양생
	35, 40			0, 20, 30, 35	

2.4 시험체 제작

콘크리트 혼합은 강제혼합 믹서를 사용하였다. 비빔은 재료투입 전에 실험오차를 줄이기 위하여 동일배합의 콘크리트를 소량으로 믹서내부에 도포한 후 실시하였으며, 공시체는 $\Phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 의 원형물틀을 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 슬럼프

잔골재를 동제련 슬래그로 치환했을 경우의 슬럼프는 그림1과 같다.

전반적으로 슬럼프는 20cm를 상회하는 우수한 유동성을 보이고 있으며, 동제련 슬래그 잔골재 치환율이 높아짐에 따라 슬럼프값이 높아지는 경향을 보이고 있으므로 유동성 개선의 효과가 있는 것으로 보여진다. 이는 슬래그 자체의 둥근 입형에 따른 효과와 높은 비중의 슬래그가 페이스트에서의 고정성을 잃은 활발한 움직임을 보였기 때문이다. 동시에 슬래그의 주요성분이 금속류인 것에 기인한 낮은 흡수율로 인해 치환율 0%보다 많은 수량이 공급된 것도 원인 중 하나로 판단된다. 물시멘트비 40%, 동제련 슬래그 치환율 35%에서 가장 높은 슬럼프값을 보였으며, 각각의 물시멘트비와 동제련 슬래그 치환율에 따른 슬럼프의 변화는 치환율이 증가함에 따라 점차 증가하는 것으로 나타났다. 또한 물시멘트비 40%에서는 상대적으로 단위수량이 많아지는 관계로 치환율이 증가함에 따라 재료분리 현상이 있을 것으로 예상되었으나, 치환율 35%까지의 실험에서는 재료분리현상은 나타나지 않았다.

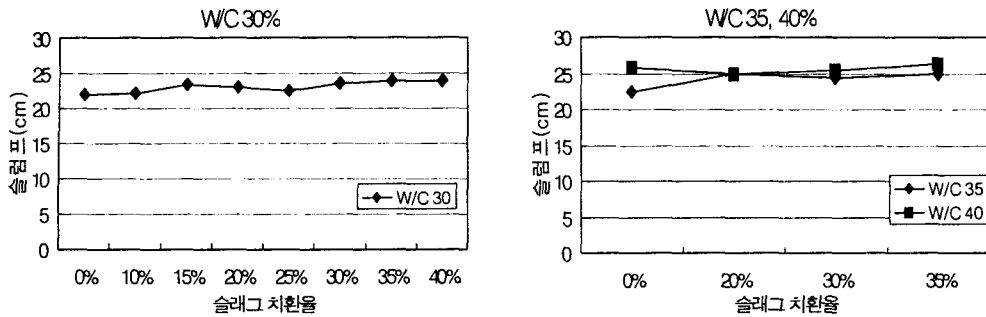


그림1. 치환율별 슬럼프값

3.2 슬럼프 플로우

슬럼프 플로우의 실험결과를 표8에 나타내었다. 슬럼프 플로우의 값은 치환율이 증가할수록 대체적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 물시멘트비 40%에서 동제련 슬래그 치환율 30%와 35%에서 가장 좋은 플로우 값을 나타내었다. 각각의 물시멘트비에서 치환율의 증가에 따른 슬럼프플로우의 변화는 점점 증가하는 양상을 나타내었다.

표7. 슬럼프 플로우 측정결과

W/C	30%								35%				40%			
	치환율(%)								치환율(%)				치환율(%)			
	0	10	15	20	25	30	35	40	0	20	30	35	0	20	30	35
슬럼프플로우(cm)	35	42	45	51	55	57	56	63	40	64	65	64	56	61	65	64

3.3 공기량

공기량 측정결과는 그림2에 나타내었다. 공기량은 물시멘트비가 높아질수록 감소하는 경향을 보였으며, 전체적으로 3.8%~2.5% 범위의 공기량을 나타냈다. 치환하지 않은 상태보다 동제련 슬래그 골재로 치환한 경우가 공기량이 낮게 나타났다. 이는 잔골재를 동제련 슬래그로 치환함으로 인해 미세기포가 존재할 공극이 감소함에 따른 영향으로 판단된다.

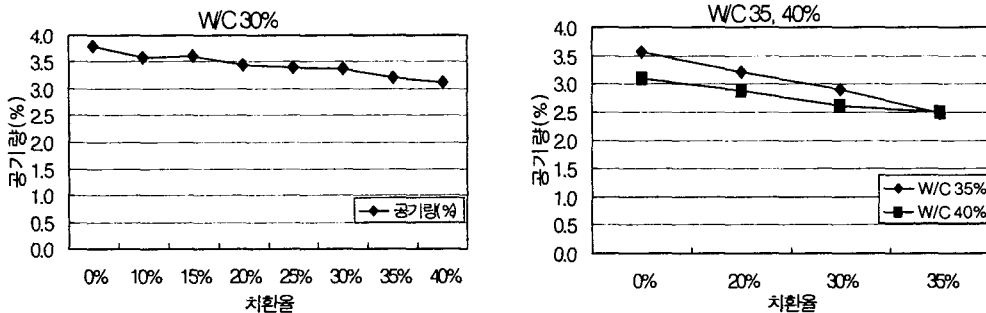


그림2. 치환율별 공기량

3.4 압축강도

3.4.1 치환율에 따른 압축강도

치환율의 증가에 따른 압축강도 측정결과를 그림3.에 나타내었다. 물시멘트비 30%에서는 치환율 35%까지 강도가 증가하다가 40%에서 저하되는 성상을 보였다.

물시멘트비 35%에서도 동제련 슬래그 치환율 증가에 따라 강도가 증가하는 현상을 보였고, 물시멘트비 40%에서는 30%까지는 증가하다가 35%에서 강도가 저하되는 결과가 나타났다.

이는 잔골재를 대신하는 동제련 슬래그의 입자가 상대적으로 크므로 콘크리트 내부에 간극들이 발생하고 잔골재 부족으로 굳은 골재간의 부착력이 저하되기 때문으로 판단된다. 물시멘트비 30%, 35%에서는 치환율 35%에서 물시멘트비 40%에서는 치환율 30%에서 가장 높은 강도를 나타내고 있다. 물시멘트비 30%, 치환율 35%에서 치환되지 않은 상태보다 117kgf/cm²의 강도증진을 나타냄으로써 가장 높은 강도를 발현하였다.

따라서 벽체, 매스 및 기초판을 타설할 콘크리트는 물시멘트비 30%, 동제련 슬래그 치환율 35%의 배합이 적절한 것으로 판단된다.

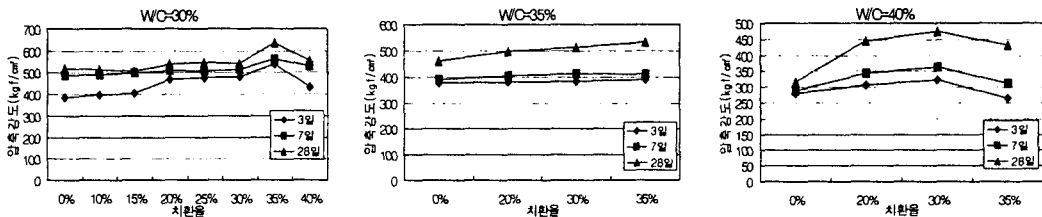


그림3. 물시멘트별 압축강도

3.4.2 재령에 따른 압축강도

각각의 물시멘트비별 재령에 따른 압축강도의 결과를 그림 4에 나타내었다. 물시멘트비 40%를 제외한 모든 배합에서 재령 7일 이후의 강도는 400kgf/cm² 이상으로 발현되었고, 재령 28일강도는 460kgf/cm²~633kgf/cm²의 강도를 발현하였다.

동제련 슬래그의 치환율이 증가할수록 강도가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 물시멘트비 30%에서는 동제련 슬래그 치환율 35%에서 633kgf/cm²의 강도로 최고로 나타났고, 물시멘트비 35%에서도 치환율 35%에서 533kgf/cm²로 치환율중 가장 높은 강도를 보이고 있다. 동제련 슬래그의 치환율 40%에서는 강도가 저하되는 것으로 나타났다. 물시멘트비 40%에서는 동제련 슬래그 치환율30%가 최고로 나타났고 35%부터는 강도가 저하되는 것으로 나타났다.

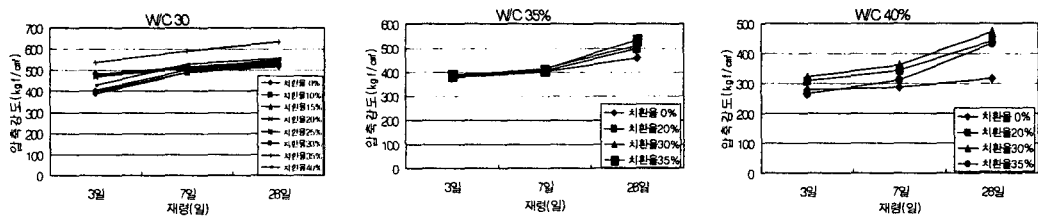


그림4. 재령별 압축강도

4. 결론

본 연구는 환경보전 및 산업폐기물의 재활용 방안으로 동제련 공정에서 발생하는 동제련 슬래그를 콘크리트용 잔골재로 활용하는데 있어, 고강도 콘크리트에 적용하기 위한 배합 및 물성을 확인하였다. 동제련 슬래그 잔골재 치환 고강도 콘크리트에 대하여 실험·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 슬럼프 및 슬럼프 플로우 실험을 통한 유동성 측정결과, 치환율이 증가할수록 대체적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 각각의 물시멘트비에서 치환율의 증가에 따른 슬럼프플로우의 변화는 점점 증가하는 양상을 나타내었다. 이는 낮은 치환율로 인해 동제련 슬래그의 낮은 흡수율이나 잉여수, 높은 비중의 슬래그등의 재료분리를 유발할수 있는 인자들의 영향이 미치지 않은 것으로 판단된다.

(2) 공기량은 물시멘트비가 높아질수록 감소하는 경향을 보였으며, 전체적으로 3.8%~2.5% 범위의 공기량을 나타냈다. 치환하지 않은 상태보다 동제련 슬래그 골재로 치환한 경우가 공기량이 낮게 나타났다. 이는 잔골재를 동제련 슬래그로 치환함으로 인해 미세기포가 존재할 공극이 감소함에 따른 영향으로 판단된다. 따라서 콘크리트의 내구성 확보를 위해 배합설계시 소요 공기량 확보를 위한 혼화제 사용 등의 대책이 요구된다.

(3) 동제련 슬래그 치환에 따른 높은 압축강도 증진이 있었으며, 물시멘트비 30%, 동제련 슬래그 치환율 35%가벽체, 매스 및 기초판을 타설할 콘크리트는 물시멘트비 30%, 동제련 슬래그 치환율 35%의 배합이 적절한 것으로 판단된다.

향후 물시멘트비 30%, 동제련 슬래그 치환율 35%의 배합으로 벽체, 매스 및 기초판 타설실험을 실시하여 현장적용에 대한 가능성과 콘크리트의 내구성을 시험할 예정이다.

참고문헌

1. 정상진 외 10인, 건축재료학, 보성각, 1999.
2. 21세기 콘크리트 위원회, "21세기 콘크리트 기술의 발전방향," 한국 콘크리트학회, 2000.
3. Antonio M. Arino and Barzin Mobasher, "Effect of Ground Copper Slag on Strength and Toughness of Cementitious Mixes," ACI Materials Journal January-February, 1999.
4. 정상진 외, "고강도 매스콘크리트의 강도성상에 관한 실험적 연구," 대한 건축학회 논문집 10권 3호 통권 65호, 1994.3.
5. 정상진 외, "동제련 슬래그 잔골재를 치환한 고강도 콘크리트의 성상에 관한 기초적 연구," 대한건축학회 2001년도 추계학술발표대회 논문.
6. 한국기술연구원, 동제련 슬래그의 건설재료 활용 및 기준 개발, 2000.
7. 한국표준협회, KS F 2543 콘크리트용 동(銅)슬래그 골재, 2000.