동제련 슬래그를 사용한 콘크리트의 경시별 유동특성에 관한 실험적 연구

A Study on the Flowing Characteristic of Concrete with Copper Smelting Slag

김 정 욱* 지 석 원** 이 세 현*** 전 현 규**** 유 택 동***** 서 치 호******
Kim, J. U. Ji, S. W. Lee, S. H. Jeon, H. K. Ryu, T. D. Seo, C. H.

ABSTRACT

Recently new practical use way of industry product is required. In this study, to find flowing property of slump, unit weight, the air amount, compressive strength etc. Compressive strength 240, 270kgf/㎠, slump 8±2.5(Ⅰ), 15±2.5(Ⅱ)㎝, mixing ratio of copper smelting slag decided by 0, 25, 50, 75, 100% gradually.

The result of this study was follows :

1. Unit weight increased 2.2%~4.4% according as mixing ratio of copper smelting slag increases. 2. Slump increased about 2~5% as the mixing ratio increased gradually. 3. Compressive strength was increased about 4~28% in copper smelting slag mixing ratio 25~50% and 8~20% decreased more than mixing ratio 75%.

1. 서론

현대 사회는 천연자원의 고갈로 인한 재료비의 상승, 과도한 에너지 소비 및 산업부산물의 증가 등으로 인하여 큰 문제를 맞이하고 있으며, 이에 따라 자원절약 및 환경비용의 지출저감 등을 위하여 산업부산물에 대한 새로운 활용방안이 요구되고 있다. 현재 이러한 산업부산물들 중에서 동제련 슬래그에 대한 관심이 고조되고 있으며, 골재로서의 적용성 검토에 관한 연구가 이루어졌으나 실질적인 콘크리트에의 적용에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

국내에서의 동제련 슬래그의 이용은 1990년대 후반 들어 새로운 대체 골재로서의 적용성 검토와 함께 시멘트의 가철재와 Sand Blasting재, 그리고 콘크리트 및 제품용 골재, 지반 개량재 등으로 사용되어 왔고, 현재는 KS 규격이 제정되어있다(KS F 2543 "콘크리크용 동 슬래그 골재", 2000. 11. 28 제정).동제련 슬래그의 콘크리트용 골재로서의 이용에 관한 제도적 정비가 완비됨으로서 국내에서의 동제련 슬래그의 이용에 대한 관심이 부각되어질 전망이다.

*정회원, 건국대학교 건축대학 대학원 석사과정
**정회원, 건국대학교 건축대학 대학원 박사과정
***정회원, 한국건설기술연구원 건축부 선임연구원, 공학박사
****정회원, 우석대학교 건축공학과 겸임교수, 공학박사
*****정회원, 안양과학대학 건축과 초빙교수, 공학박사
******정회원, 건국대학교 건축대학 건축공학과 교수, 공학박사

이에 본 연구에서는 동제련 슬래그의 레디믹스트콘크리트의 잔골재로서 적용을 위하여 목표강도와 슬럼프에 의거하여 배합비를 추출하고, 실제 적용시 품질의 확보와 현장까지의 운송 후 현장에서의 타설시 유동성 저하를 파악하기 위해 시간변화에 따른 슬럼프변화를 측정하였다. 또한 공기량 및 단위용적중량을 측정하고, 압축강도 등의 역학적 특성을 파악하여 실제 적용시의 활용성 극대화 방안에 대한 연구를 수행하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트 및 혼화제

시멘트는 국내 S사의 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 혼화제는 T사의 표준형 AE 감수제를 시멘트중량의 0.15% 사용하였다.

2.1.2 골재

(1) 잔골재

모래는 인천산 세척해사를 사용하였으며, 비중은 2.60이며 단위용적중량은 1.82t/㎥이다. 동제련 슬래그는 검은색 유리질의 광택이 있는 형상을 지니고 있으며, 자용로공법의 경우 1~3mm의 불규칙한 미립, 또는 괴상형태를 가지고 있고, 연속동제련 공법의 경우는 날카로운 형태의 괴상조직과 미립이 침상조직이 혼재되어 있는 형상을 가지고 있다. 본 연구에서는 연속동제련에 의한 동제련 슬래그를 사용하였으며, 물리적 성질은 표 1 과 같다.

표 1 잔골재의 물성

구 분	비중	흡수율 (%)	조립율	단위용적중량 (t/㎥)	실적율 (%)
인천산해사	2.60	0.90	2.62	1.82	63.6
동제련슬래그	3.40	0.20	3.78	2.24	65.9

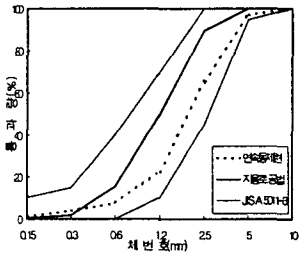


그림 1 동제련슬래그 입도분포

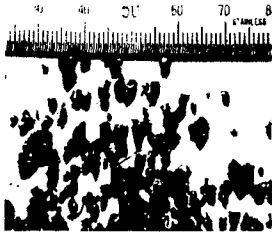


그림 2 연속동제련 공법

(3) 굵은 골재

굵은 골재는 비중 2.62, 최대치수 25mm의 쇄석을 사용하였다.

2.2 실험계획 및 배합

레미콘에 적용가능성을 평가하기 위한 배합을 도출하기 위한 배합인자는 현재 실공사에 투입되고 있는 상용 레미콘 배합을 모배합으로 하여 레미콘의 호칭강도별 240, 270kgf/㎠과 슬럼프는 8±2.5(Ⅰ), 15±2.5(Ⅱ)cm로 설정하였다. 잔골재 대체에 따른 역학적 특성의 파악과 혼입율에 따른 배합비를 유도하기 위하여 동제련 슬래그의 혼입율은 단계적으로 0, 25, 50, 75, 100%로 설정하였다.

표 2 배합인자 및 유의수준

구 분	호칭강도 (kgf/㎠)	슬럼프	동제련 슬래그 혼입율(%)
인자 및 기 호	240(A), 270(B)	8±2.5(Ⅰ), 15±2.5(Ⅱ)	0(1), 25(2), 50(3), 75(4), 100(5)
유의수준	2	2	5

2.3 실험방법

동제련 슬래그의 골재로서의 물성파악은 KS F 2543(콘크리트용 동제련 슬래그)에 의하였으며, 공시

체 제작 후 굳지 않은 콘크리트에 대하여 단위용적중량(KS F 2409 굳지 않은 콘크리트의 단위용적중량 및 공기량 시험방법), 공기량(KS F 2421 굳지 않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기함유량 시험방법) 및 슬럼프시험(KS F 2402 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험 방법)에 의거하여 실시하였으며, 시간의 경과에 따른 유동성의 변화를 파악하기 위해 0, 30, 60, 90, 120분의 슬럼프의 변화를 측정하였다. 거푸집의 탈형시기 및 후속공정에 대한 안전성을 예측하기 위해 초기재령인 3일과 7일 경화콘크리트의 단위용적중량 및 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험 방법)에 의거하여 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 공기량

공기량은 전체적으로 4.5~6.8%의 범위를 나타내었으며, 동제련 슬래그의 혼입율이 증가함에 따라 증가하는 결과를 나타내었다. 이는 동제련 슬래그의 골재 특성상 흡수율이 적고, 내부조직이 치밀하지 못하여 미세한 공극들을 많이 포함하고 있는 것에 기인하는 것으로 판단된다. 따라서 동제련 슬래그 혼입율 25~75%에서는 시공성의 증대 및 내구성에 필요한 공기량의 확보가 무혼입에 비하여 용이한 것으로 판단된다.

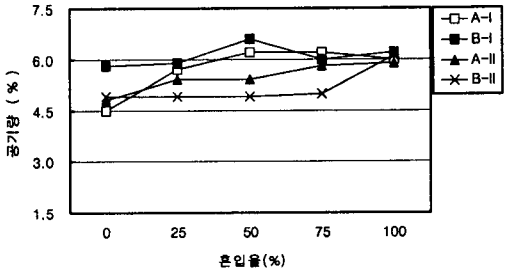


그림 3 혼입율에 따른 공기량의 변화

3.2 단위용적중량

레미콘 타설시 중요시되는 굳지않은 콘크리트의 단위용적중량을 측정한 결과 전체적으로 2.15~2.55t/m³의 범위로 나타났으며, 동제련 슬래그의 혼입율이 증가함에 따라 대체적으로 2.2%~4.4%정도 증가하는 것으로 나타났다. 이는 동제련 슬래그와 모래의 비중차에 의한 것으로 판단된다.

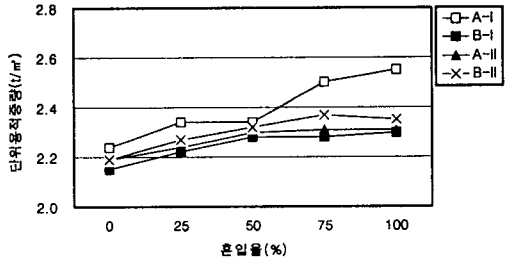


그림 4 혼입율에 따른 단위용적중량의 변화

3.3 슬럼프

(1) 혼입율에 따른 슬럼프

콘크리트의 유동성을 나타내는 대표적인 척도인 슬럼프는 잔골재의 입도 및 입형, 골재의 표면상태에 크게 영향을 받는다. 슬럼프 8cm의 배합에서는 혼입율에 따른 슬럼프의 변동이 다소 불규칙적인 추세를 보였으나 전체적으로는 동제련 슬래그의 혼입이 증가함에 따라 슬럼프가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 동제련 슬래그의 흡수율이 낮고, 혼입율에 따라 공기량의 증가로 인한 유동성의 증가에 기인하는 것으로 판단된다. 반면 혼입율 100%일 경우 슬럼프 저하현상이 나타났다. 이는 시멘트페이스트에 대하여 입형이 거칠고 비중이 큰 동제련 슬래그의 과다로 인한 내부유동성 저하에 의한 것으로 판단된다.

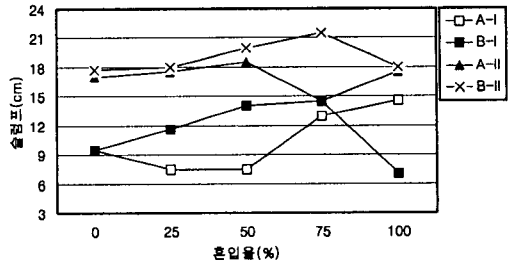
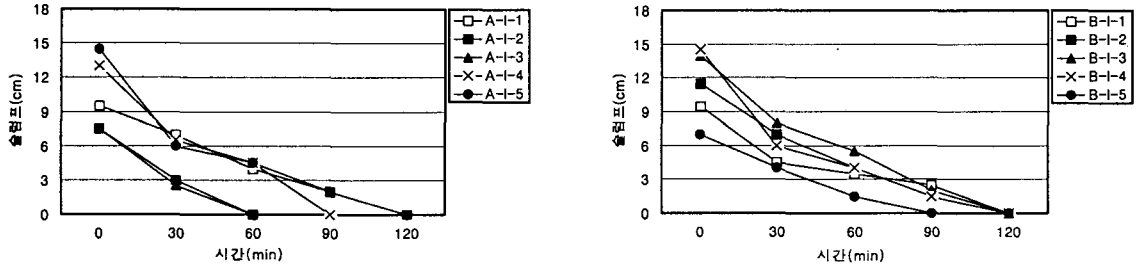


그림 5 혼입율에 따른 슬럼프의 변화

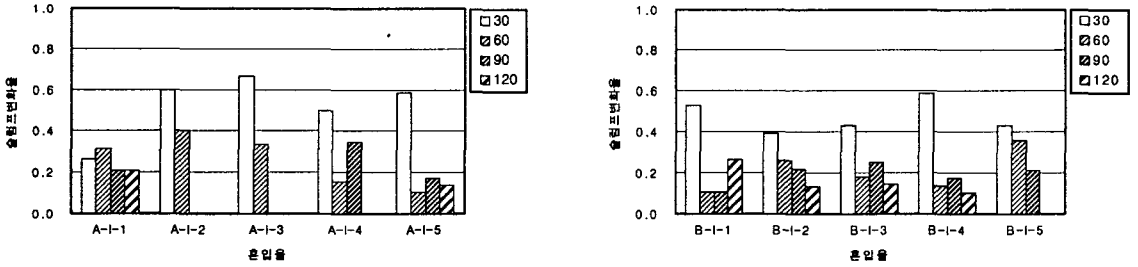
(2) 경시변화에 따른 슬럼프

현장에서의 레미콘의 타설시 가장 중요한 지표중의 하나인 유동성의 평가를 위해 시간대별 슬럼프를 측정한 결과 혼입율에 따라 초기의 슬럼프는 증가하는 경향을 보였으나, 30분 경과 후 슬럼프 8cm Type A에서는 무혼입과 비교하여 동제련 슬래그의 혼입율이 증가할수록 50~65%의 슬럼프감소가 나타났으며, Type B에서는 동제련 슬래그의 혼입율에 관계없이 40~58%의 급격한 슬럼프 저하추세를 보였다. 60분 경과 후 Type A, Type B 모두 무혼입에 비하여 혼입율 25%에서 슬럼프변화율이 8~15% 상승하여 동제련 슬래그 혼입율이 증가함에 따라 슬럼프변화율이 5~15% 감소하는 것으로 나타났다. 전체적으로 Type A의 경우 혼입율과 슬럼프변화율과의 60분까지 상관성을 보이고 있음에 비하여 Type B의 경우 혼입율과 슬럼프변화율과의 상관성이 90분 이후까지도 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 배합별 단위시멘트량의 차이에 따른 시멘트페이스트와 골재의 비에 기인하는 것으로 판단된다.



(a) Type A (b) Type B

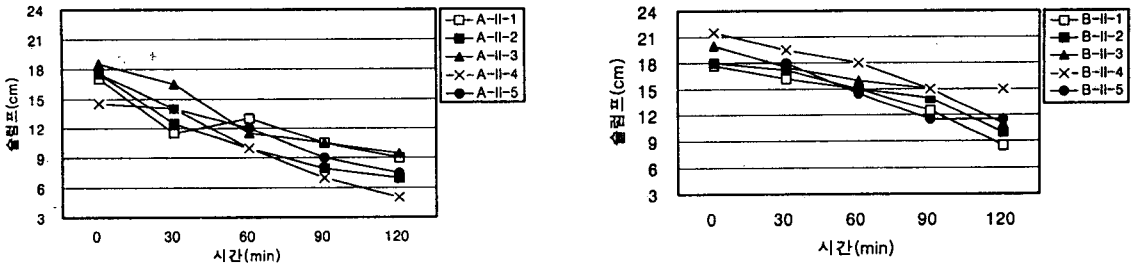
그림 5 시간변화에 따른 배합별 슬럼프변화 (I)



(a) Type A (b) Type B

그림 6 시간변화에 따른 배합별 슬럼프변화율 (I)

슬럼프 15cm에서는 슬럼프 8cm에 비하여 슬럼프변화의 폭이 적고, 변화추세가 완만한 것으로 나타났다. 30분 후의 Type A에서는 슬럼프변화율이 20~28% 전후로 나타났으며, 90분 이후의 슬럼프변화가 10~20%로 나타나 초기보다 슬럼프변화의 폭이 적고 슬럼프변화추세가 완만한 것으로 나타났다. 60분 경과후의 슬럼프변화는 혼입율 50% 이상에서, 90분 경과후 슬럼프변화는 75% 이상에서 슬럼프변화율이 10~15% 증가하였다. 반면 Type B의 경우 30분 경과 후의 슬럼프변화는 10% 전후로 나타났으나, 90분 이후의 슬럼프변화율이 15~32%로 나타나 초기보다 90분 이후의 슬럼프변화폭이 크고 변화추세가 급격한 것으로 나타났다. 전체적으로 Type A에 비하여 Type B에서의 슬럼프변화의 폭이 작은 것으로 나타났으며, 이는 단위시멘트량에 따른 시멘트페이스트의 차이에 의한 것으로 판단된다.



(a) Type A (b) Type B

그림 7 시간변화에 따른 배합별 슬럼프변화 (II)

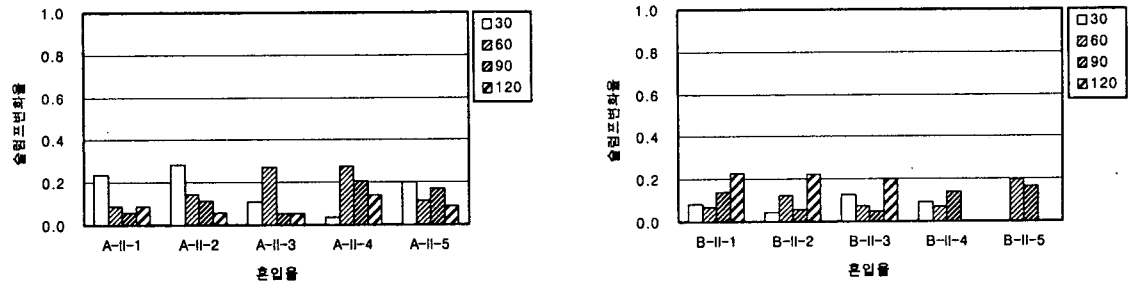
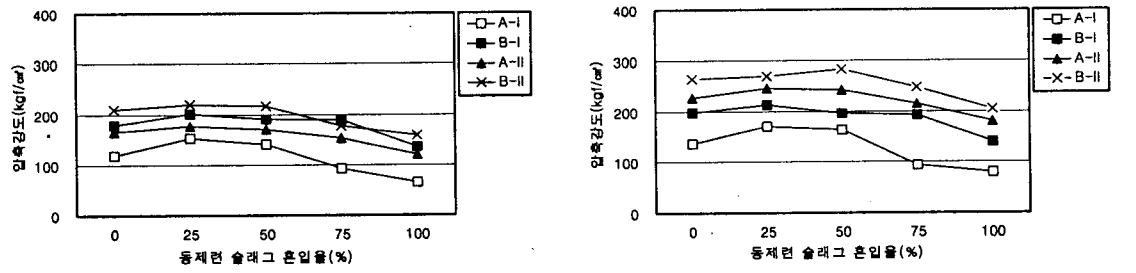


그림 8 시간변화에 따른 배합별 슬럼프변화율 (II)

3.4 압축강도

현장에서의 거푸집 탈형 및 후속공정에 대한 안전성을 평가하기 위한 초기재령(3일, 7일)에서의 압축강도 측정 결과 동제련 슬래그의 혼입율에 따라서 25%에서 약 5~28%, 50%에서는 4~18%의 강도 증진 효과가 나타났으나, 75% 이상의 혼입율에서는 8~20%의 강도저하 현상이 나타났다. 이상과 같이 동제련 슬래그 혼입율 25~50%일 때 무혼입에 비하여 초기 강도 발현율이 우수한 것으로 나타났다.



(a) 재령 3일 (b) 재령 7일

그림 9 동제련 슬래그 혼입율에 따른 압축강도

4. 결론

동제련 슬래그를 혼입한 콘크리트를 레미콘에 적용하기 위하여 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 공기량은 전체적으로 4.5~6.8%의 범위를 나타내었으며, 동제련 슬래그의 혼입율이 증가함에 따라 증가하는 결과를 나타내었다. 동제련 슬래그의 혼입율이 증가함에 따른 단위용적중량은 약 2.2%~4.4% 증가하는 것으로 나타났다.

2. 동제련 슬래그의 혼입에 따른 슬럼프의 변화는 혼입율이 단계적으로 증가할수록 약 2~5% 증가하는 것으로 나타났다. 혼입율 100%에서의 슬럼프의 감소는 시멘트페이스트에 대하여 입형이 거칠고 비중이 큰 동제련 슬래그의 과다로 인한 내부유동성 저하에 의한 것으로 판단된다.

3. 경시별 유동성의 변화를 측정한 결과 슬럼프 8cm의 배합에서는 30분 경과 후의 슬럼프는 급격한 저하추세를 보였으며, 슬럼프변화율은 동제련 슬래그의 혼입율에 따라서 급격히 증가하였다. 60분 이후부터는 완만한 슬럼프변화추세를 보였다. 반면 슬럼프 15cm의 배합에서는 슬럼프의 변화가 10~32%로 완만한 추세를 보였다. 전체적으로 호칭강도 240kgf/㎠ 배합에 비하여 호칭강도 270kgf/㎠ 배합이 경시별 슬럼프변화추세가 보다 완만한 것으로 나타났다.

4. 양생초기 압축강도는 동제련 슬래그 혼입율 25~50%에서는 약 4~28%의 강도증진효과가 있는 것으로 나타났으며, 혼입율 75% 이상에서는 8~20%의 강도감소가 나타났다.

향후 동제련 슬래그를 혼입한 레미콘에 대한 실제적인 구조물의 테스트와 장기적인 이력의 적립, 내구성에 대한 자료의 확보 등 실제 적용시 품질에 대한 보다 많은 연구가 필요하다 할 수 있다.

참 고 문 헌

1. LG-Nikko 동제련(주) 제련기술연구소, 동제련 슬래그의 물성파악 및 개선을 위한 용도개발 - 청정생산기술개발사업 진행결과, LG-Nikko 동제련(주), 1999.
2. 박조범 외, 동제련 슬래그를 혼입한 모르타르의 강도 특성연구, 콘크리트학회 학술발표대회 제12권 제 1호, 2000.
3. 지석원 외, 동제련 슬래그를 혼입한 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적연구, 대한건축학회지 제 16권 제 12호, 2000.
4. 이태용, 산업부산물 자원재활용 정책방향 (석탄재 및 슬래그를 중심으로), 한국콘크리트학회 POSCO Forum 발표집, 1999.
5. 이형우 외, 폐 Copper Slag의 시멘트 모르터 잔골재 재활용, 한국폐기물학회지 제 15권 제 6호, 1998.
6. 동제련 슬래그의 건설재료 활용 및 기준 개발, 한국건설기술연구원, 2000.
7. DIN 4301, Ferrous and Non ferrous Metallurgical Slag for Civil Engineering and Building Construction Use.
8. Hojin Ryu, Kazumasa Sugiyama and Fumio Saito, A Study on the Strength and Grindability of Granulated Copper Smelting Slag Produced by Water Quenching, 資源·素材學會誌, 107. No. 1, 1991.