

동제련 슬래그 잔골재를 이용한 고강도콘크리트의 모의 시험체에 관한 기초적 연구

A Fundamental Study on the High Strength Concrete using Copper Slag Sand for mock up test

윤상혁* 김이동* 박재한* 박병근** 임남기*** 정상진****
Sang-Hyuck Yoon I-Dong Kim Jae-Han Park Beoung-Keon Park Nam-Gi Lim Sang-Jin Jung

Abstract

In the 1970's, the environmental preservation is out of public issue, caused by rapid economic growth and industrialization. When the people's living standard is grows, they aware of the environmental importance. 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. But, the study about by product reuse is just beginning in domestic.

The purpose of this study is reusing copper slag by product which produced in the copper refining process-as fine aggregate for developing high strength concrete.

Concrete mix and properties, the result of mock up test for site application are analyzed.

1. 서론

1970년대 이후 고도의 경제성장과 급속한 산업화가 진행되면서 환경에 대한 인식은 관심 밖의 문제였다. 그러나 21세기를 맞이한 현재에는 소득이 증가하고 국민의 의식수준이 전반적으로 향상됨에 따라 환경에 대한 국민적인 관심이 매우 높아지고 있다. 따라서 공해유발 산업이나 자연환경 훼손, 오염물질의 배출 등에 대한 관련 법규가 강화되고 사회적인 이슈화로 산업활동에 있어서 환경보호는 매우 중요한 사항이 되고 있으며, 환경문제에 대한 해결 없이는 산업활동을 지속하는데도 많은 어려움이 발생하게 된다. 환경 우선주의라는 지구촌 시대의 추세에 맞춰 환경오염에 대한 대책이 전세계적으로 연구되면서도 선진국에서는 오래 전부터 환경에 미치는 영향을 고려해 산업부산물의 효율적 처리에 대해 연구해왔으며, 산업부산물의 재활용에 대한 국내에서는 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서는 환경보전 및 산업폐기물의 재활용 방안으로 동제련 슬래그를 콘크리트용 잔골재를 사용하여 고강도 콘크리트를 제조하였으며, 모의 시험체를 제작하여 수화열에 의한 온도분포 및 강도분포를 검토하였고, 이를 실험실의 공시체와 비교하였다.

* 정회원, 단국대학교 건축공학과 석사과정

** 정회원, 단국대학교 건축공학과 박사과정

*** 정회원, 동명정보대학교 건축공학과 교수

**** 정회원, 단국대학교 건축공학과 교수

2. 실험재료 및 계획

2.1 사용재료

(1) 시멘트

시멘트는 KS L 5201의 규정에 적합한 비표면적이 2,900cm²/g인 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 화학적 성질은 표1과 같다.

표 1. 시멘트의 화학적 성질

성분	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Al ₂ O ₃	Ig.loss
구성 비율 (%)	21.1	2.9	62.5	3.3	2.2	6.5	2.58

표 2. 잔골재 및 굵은 골재의 물리적 성질

구분	생산지	최대 치수 (mm)	표면건 조비중	흡수율 (%)	단위용 적중량 (kg/m ³)	실적율 (%)	조립율 (F.M)
잔골재	북한강산	5.0	2.59	0.98	1,590	61.2	2.87
굵은 골재	광주 석산	25.0	2.61	0.95	1,527	57.8	7.12

(2) 사용골재

잔골재는 북한강산으로 최대골재치수 5mm 이하로 입도 조정하였으며, 굵은 골재는 경기도 광주 석산의 쇄석으로 최대치수 25mm 이하로 입도 조정하여 사용하였으며, 물리적 성질은 표2와 같다.

(3) 동제련 슬래그 골재

동제련 슬래그는 국내 L사에서 생산된 슬래그로 자용로 공법과 연속로 공법의 생산방식 중 연속로 공법을 통해 생산된 것을 사용하였고, 입도는 "KS F 2543 콘크리트용 동 슬래그 골재"에 규정된 입도 곡선을 만족시키는 것을 사용하였으며, 그 물리적 성질과 화학적 성질은 표3, 표4와 같다.

표 3. 동제련 슬래그의 물리적 성질

제조법	조립율	표건 비중	흡수율 (%)	단위용 적중량 (kg/m ³)	실적율 (%)
연속로 공법	3.51	3.46	0.2	2,238	60

표 4. 동제련 슬래그의 화학적 성질(%)

구분	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	MgO	기타
연속로 공법	33.05	5.48	4.46	39.51	7.29	0.73	9.5

(4) 혼화제

고강도 콘크리트의 유동성 확보를 위해 국내 J사의 나프탈렌계 고성능 AE감수제를 사용하였으며, 각 재료의 물리적 성질은 표5와 같다.

표 5. 고성능 AE감수제의 물리적 성질

유형	색상	주성분	pH
액상	암갈색	Naphthalene Formaldehyde	8.5±1.5

2.2 배합

기초물성 실험 결과 거의 모든 배합에서 우수한 유동성을 나타내고 있으나 강도 발현이 가장 우수한 것으로 나타난 W/C 30%, 동제련 슬래그 잔골재 치환율을 35%의 배합을 현장 모의 시험체 타설

을 위한 배합으로 결정하였으며, 그 배합표는 표6과 같다.

표 6 현장 모의시험체 적용 배합

배합기호	W/C (%)	SP제첨가율 (C×%)	S/a (%)	동슬래그잔골재 치환율 (%)	단위용적중량(kg/m ³)					
					W	C	S	G	C.S	S.P
W30-CS35	30	1.2	43	35	175	583	436	896	312	6.9

현장 타설용 콘크리트의 물성을 파악하기 위하여 현장 타설 시의 콘크리트 시료를 채취하여 슬럼프, 슬럼프 플로우, 공기량을 측정하였고, 슬럼프 및 슬럼프 플로우 측정실험 결과 배합의 목표치인 슬럼프 23cm, 슬럼프 플로우 55cm를 모두 만족하였으므로 현장적용상 무리가 없는 것으로 나타났다. 공기량 측정결과는 배합의 목표치인 4%로 나타나 현장적용이 가능한 것으로 판단된다.

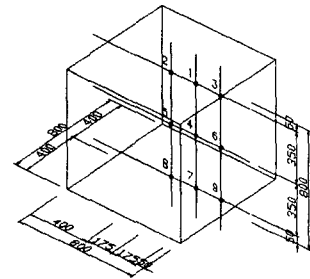


그림1. 매스 콘크리트 열전대 설치 위치(단위:mm)

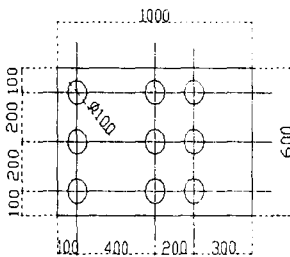
2.3 시험방법

(1) 수화열 특성 실험

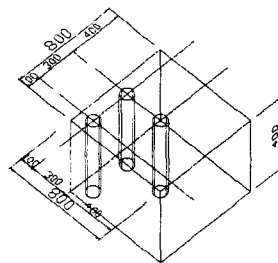
(80cm×80cm×80cm)의 매스 시험체에 수화열 측정기를 설치하여 200 시간 동안 수화열의 발생 현상을 30분 간격으로 측정하였다. 열전대의 측정 위치는 그림1에 나타내었다.

(2) 모의 시험체 제작

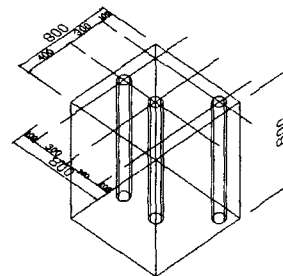
동제련 슬래그를 잔골재로 치환한 콘크리트의 현장 적용에 대한 기초 실험으로 벽체를 상정한 모의 시험체(20cm×60cm×100cm), 기초판을 상정한 모의 시험체(80cm×80cm×40cm), 매스 모의 시험체(80cm×80cm×80cm)를 건축공사 표준시방서에 준하여 콘크리트를 타설하였으며, 각 모의 시험체의 채취위치는 그림2와 같다.



벽체 코어 채취위치



기초판 코어 채취위치



매스 콘크리트 코어 채취위치

그림2. 모의 시험체 채취위치(단위:mm)

(3) 공시체 제작 및 양생

고강도 콘크리트에서는 높은 단위시멘트량으로 인하여 수화열이 높기 때문에 보통콘크리트와는 상

이한 강도 특성을 나타낸다. 따라서 현장에서 보통콘크리트와 동일한 방법으로 수중 양생한 공시체로 고강도 콘크리트의 강도를 정확히 추정할 수 없다.

이에 본 실험에서는 실험실 실험에서와 현장 모의 시험체의 콘크리트 타설 시에 강도관리용 공시체를 제작하여 표준양생, 현장대기양생, 현장수중양생, 현장밀봉양생, 단일양생등으로 구분하여 양생한 시험체에 대해 재령에서 압축강도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 수화열

그림3에 나타나는 바와 같이 매스 부재의 중심부와 하부에서는 콘크리트 타설 후 약 10시간까지는 수화에 의한 온도 상승은 없고, 후레쉬 콘크리트 자체의 20℃전후의 온도를 유지하고 있음을 알 수 있다. 상부에서는 약 14시간까지 후레쉬 콘크리트의 온도를 유지하고 있다가 약 25시간 경과 시까지 급격한 온도의 상승이 나타났다. 이때까지의 온도 상승은 3.3℃/h 정도의 속도이고, 25시간 부터 약 3시간 정도 유지하다가 그 이후 150시간 정도가 경과할 때까지 서서히 온도가 내려가서 타설 후 약 8일 경과 후에 외기 온도와 같은 온도 경향을 보이고 있다. 중심부위의 최고 온도는 75℃ 이고, 상부 측의 최고온도는 69℃, 하부 측의 최고온도는 70℃로 나타나 중심부와 각각 5℃, 6℃씩 온도 차이가 나타나는 것으로 나타났다. 각각의 부분에서는 부재의 중앙부(2,5,8)의 온도가 가장 높은 것으로 나타났고, 중간부분(1,4,7)에서 끝부분(3,6,9)쪽으로 약 1~5℃정도 온도의 차이가 나타났다.

외기의 온도 차이를 고려하여 부재 내부에 단일장치를 한 것이 외기의 영향을 적게 받아서 높은 수화열의 발열과, 중앙부와 바깥쪽의 온도차이가 적게 나타난 것으로 판단된다.

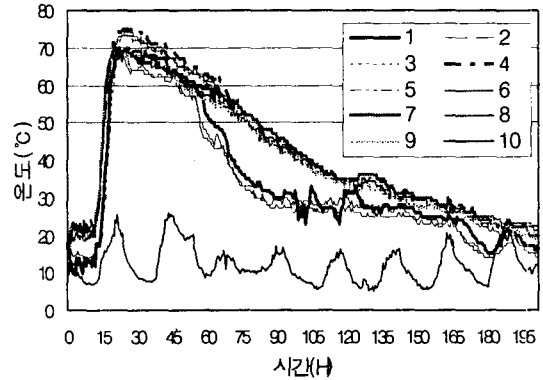


그림3. 수화열 측정결과

3.2 현장 모의 시험체의 코아 강도

현장 모의 시험체의 각 부위별 압축강도 발현을 조사하기 위하여 타설 후 재령 28일이 지난 후 코아를 채취하여 압축강도를 측정하였으며, 그림4에 나타내었다.

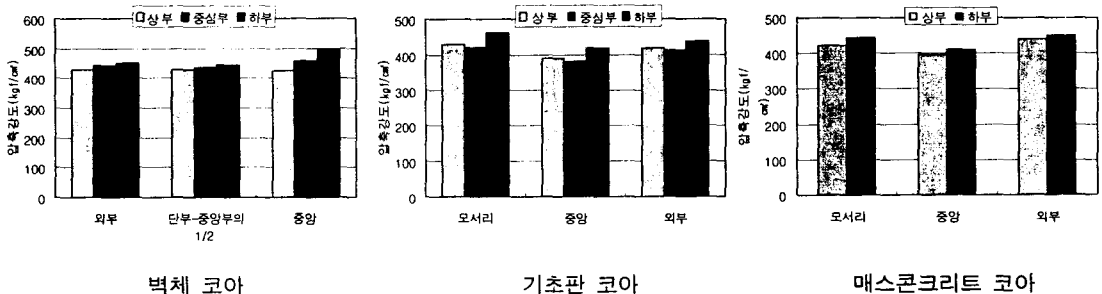


그림4. 현장 모의 시험체의 코아 강도

(1) 벽체 모의 코아 공시체 압축강도

벽체 모의 코아 공시체의 압축강도를 나타내었다. 벽체 모의 경우 강도발현의 형태가 상부 보다는 하부가 외부 보다는 중앙부의 강도가 높게 나타나고 있었다. 이는 하부의 콘크리트는 자체온도와 양생 중의 다짐에 의한 자중으로 인한 효과 때문이며, 외부보다는 내부가 다짐이나 양생조건상 유리한 것으로 판단된다.

(2) 기초판 모의 코아공시체 강도

기초판 모의 코아 공시체 압축강도는 그림에서 나타난 바와 같이 강도발현의 형태가 하부로 갈수록 높은 압축강도를 나타내는 것으로 조사되었다. 이는 강도발현에 있어서 외부 다짐이나 양생이 벽체 시험체 보다 양호한 때문이며, 하부의 경우는 콘크리트의 자중으로 인한 효과가 나타난 것이기 때문으로 판단된다.

(3) 매스 콘크리트 코아 공시체 강도

매스 콘크리트 코아 공시체의 압축강도는 그림에서 나타난 바와 같이 부재 중앙에 가까울수록 강도가 감소하는데 재령 28일 중앙부의 압축강도는 표면부 390kgf/cm²이고, 중심부가 382kgf/cm² 그리고 하부가 418kgf/cm²로 가장 중심에서의 강도발현 성상이 가장 낮게 나타났고, 모서리부분 역시 표면부 430kgf/cm², 중심부 420kgf/cm², 하부가 462kgf/cm² 로 중심부에서 가장 낮은 강도 발현을 나타냈고, 단부에서도 표면부 418kgf/cm², 중앙부 412kgf/cm², 하부에서 437kgf/cm²로 역시 중심부에서 강도가 가장 낮게 나타났다. 이는 수화열에 의한 온도 차이가 압축강도에 큰 영향을 주고 있다고 판단된다.

3.3 현장 제작 공시체의 압축강도

현장 모의 시험체의 코아 강도와 현장 제작시 양생조건별 강도발현에 대한 관계를 알아보기 위하여 현장 공시체를 제작하여, 표준수중양생, 현장수중양생, 현장대기양생, 현장밀봉양생, 현장단열양생으로 구분하여 재령별 압축강도를 측정하였다.

공시체는 재령별로 강도를 측정하였고, 그 결과는 그림5과 같다. 재령 28일의 압축강도는 표준수중양생 479kgf/cm², 현장수중양생 466kgf/cm², 현장밀봉양생 441kgf/cm², 현장대기양생 413kgf/cm², 현장단열양생 410kgf/cm²의 순으로 나타났다.

이는 현장 보다 표준수중양생이 양생고건상 유리하였기 때문으로 판단된다. 그러나 매스 콘크리트 내부 코아 강도는 현장단열양생의 강도와 유사한 값을 보이고 있으며, 이와 같은 현상은 현장단열양생한 공시체의 온도와 부재 모델의 양생온도가 거의 일치한 것에 기인한 때문으로 해석할 수 있다. 그러므로 정확한 강도를 관리하기 위해서는 초기 온도 이력과 일치시킨 공시체로 강도를 관리해야 할 것으로 판단된다.

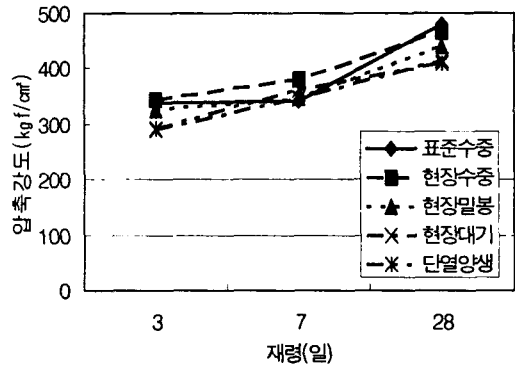


그림5. 현장 제작 공시체의 압축강도

4. 결론

(1) 수화열 측정결과 매스 콘크리트 부재는 수화반역에 의한 온도반역이 강도발현에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러므로 콘크리트를 타설한 후 수화열에 의한 영향을 영향력을 최소화하기 위해서는

부재에 단열 장치를 하는 등 외부와 접촉부위에 대한 관리를 해야 할 것으로 판단된다.

(2) 벽체를 상정한 모의 시험체 코아 공시체의 압축강도발현의 형태가 하부로 갈수록 많은 압축강도의 발현이 있는 것으로 나타났다. 이는 강도발현에 있어서 하부, 중심부, 상부의 압축강도가 콘크리트의 자중으로 인한 강도 차이만 나타난 것으로 판단된다.

(3) 기초판을 상정한 모의 시험체 코아 공시체의 압축강도발현의 형태가 하부로 갈수록 많은 압축강도의 발현이 있는 것으로 나타났다. 이는 강도발현에 있어서 하부의 중심부, 상부의 압축강도가 콘크리트의 자중으로 인한 강도 차이만 나타난 것으로 판단된다.

(4) 매스 콘크리트의 경우 부재 내부 중심에 가까울수록 강도가 감소하는데 재령 28일 중앙부와 모서리부분, 외부에서의 압축강도는 중심에서의 강도발현 성상이 가장 낮게 나타났다. 이는 수화열에 의한 온도 차이가 압축강도에 큰 영향을 주고 있다고 판단된다.

(5) 현장 공시체를 제작하여, 재령별 압축강도를 측정된 결과 표준수중양생이 가장 좋은 압축강도를 보이고 있다. 이는 현장 양생보다 양생 조건이 좋음을 나타내고 있는 것이다. 매스 콘크리트 내부 코아 강도는 현장단열양생의 강도와 유사한 값을 보이고 있으며, 이와 같은 현상은 현장단열양생한 공시체의 온도와 부재 모델의 양생온도가 거의 일치한 것에 기인한 때문으로 해석할 수 있다.

향후 동제련 슬래그 사용에 따른 콘크리트의 장기적인 인체 유해성에 관한 연구와 동제련 슬래그 골재 사용시의 철근 부식문제, 중성화 문제 등에 관한 연구가 지속되어야 현장적용이 가능해질 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 정상진 외, 고강도 매스콘크리트의 강도성상에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집 10권 3호 통권 65호, 1994.3.
2. 정상진 외, 건축재료실험, 형설출판사, 1995.2.
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. 이세현, 동제련 슬래그 2종의 콘크리트용 골재활용, 한국건설기술정보, 2001.