고로서냉슬래그 미분말 사용 모르터의 물성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Characteristics of Mortar Using the Ground Granulated Blast-Furnace Slag

박 정 우* 최 창 기* 김 우 재** 김 성 식** 임 남 기*** 정 상 진 ****
Park, Jung Woo Choi, Chang Ki Kim, Woo Jae Kim, Sung Sik Lim, Nam Gi Jung, Sang Jin

ABSTRACT

In this study, when ground granulated blast-furnace slag is intermixed to mortar, the strength test, watertightness test, resistance to chemical attack of hardened mortar are compared and analyzed according to the replacement rate of slag, w/(cc+Bs) and Ground Granulated Blast-furnace slag.

As a result, compared with ordinary portland cement, ground granulated blast-furnace slag intermixed concrete shows development of a long term strength, chemical-resistance, and excellent watertightness.

1. 서론

최근 들어 시멘트, 천연골재 등 건설자재의 부족현상이 심화되고 있는 가운데, 다양한 목적을 위해 각종 혼화재를 첨가한 콘크리트들이 개발되고 있다. 이 중 고로급냉 슬래그 미분말을 이용한 콘크리트는 저발열, 장기강도 증진, 우수한 내약품성 및 내구성 등을 지니고 있으며, 또한 시멘트 제조시의 에너지 절감효과 및 이산화탄소 발생량을 억제할 수 있어 환경보호측면에서도 유리한 재료로 실용화 단계에 접어든 실정이다. 그러나, 고로서냉 슬래그 미분말에 대한 자료는 부족한 현실이므로, 본 연구에서는 서냉슬래그 미분말 사용모르터의 압축강도, 휨강도, 수밀성, 화학적 저항성 등을 조사하여 고로서냉슬래그 미분말의 적극적 활용을 위한 기초자료로 삼고자 한다.

2. 실험재료 및 계획

2.1 사용재료

*정회원, 단국대학교 건축공학과 석사과정
**정회원, 단국대학교 건축공학과 박사과정
***정회원, 동명정보대학교 건축공학과 교수
****정회원, 단국대학교 건축공학과 교수

(1) 시멘트

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

(2) 잔골재

골재는 춘천산 강모래를 사용하였으며, 입도조정은 KS F 2502 체가름 시험방법에 의거하였다.

잔골재의 물리적 성질은 표2와 같다.

(3) 고로서냉 슬래그 미분말

서냉슬래그 미분말은 별도의 공정을 거쳐 저비중 요소에 의한 표면부화 및 저강도 현상을 제거, 탈황촉진, 고강도화, 그리고 흡수율을 저감시켜 만든 모래를 다양한 Mill을 사용하여 미분말로 생산한 것으로, 비표면적에 따라 3가지를 사용하였다. 그 비중 및 화학적 조성은 표3과 같다.

(4) 시험용 약품

고로슬래그 미분말 치환 모르터의 내화학성을 조사하기 위해 10%의 염산 수용액을 사용하였다.

표1 시멘트의 화학성분 및 물리적성질

구분	화학성분(%)							비중
보통 포틀랜드시멘트	SiO_2	$Al2O_3$	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Ig.loss	
	21.95	6.59	2.81	60.12	3.32	2.11	2.58	3.14

표2 잔골재의 물리적 성질

구분	비중	흡수율 (%)	조립율 (F.M)	유기불순물	단위용적중량 (kg/m³)	실적율 (%)
춘천산 강모래	2.60	1.83	3.13	양호	1,584	61.0

표3 서냉슬래그 미분말의 화학성분

분말도 (㎠/g)	화학성분								비중	염기도
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	S	K_2O	Na_2O		
4000	33.5	12.3	1.52	42.5	8.40	0.50	0.26	0.46	3.05	1.89
6000	32.7	12.7	1.02	42.4	8.39	0.54	0.23	0.50	2.87	1.94
8000	30.9	13.2	1.04	46.9	6.31	0.32	0.44	0.54	2.66	2.15

2.2 배합

모르터의 배합조건은 배합비(C:S) 1:2, 1:3, 물결합재비는 50, 55%, 슬래그 미분말의 분말도는 비표면적 4000, 6000, 8000㎠/g, 슬래그 미분말 시멘트 치환율은 10, 20, 30%로 배합계획하여 실험을 진행하였다.

2.3 비빔

본 연구에서의 비빔은 모르터용 믹서를 사용하였으며, 재료 투입 전 믹서의 표면에 동일배합의 시멘트 모르터를 도포함으로써 시멘트 페이스트에 의한 실험오차를 줄일 수 있도록 하였다. 배합순서는 시멘트와 고로 슬래그 미분말을 혼합한 후 결합재와 모래를 60초간 건비빔한 후에 물을 첨가하여 3분 동안 비빔하였다

3. 실험방법

3.1 강도시험

제작된 공시체를 20±3℃의 온도를 유지하면서 표준 수중양생하여 시험체 3개를 1조로 하여 실험하였다. 이때 압축강도와 휨강도 시험은 KS F 2405에 의거하여 3, 7, 28, 91일에 측정하였다.

3.2 수밀성 시험

수밀성을 알아보기 위해 물결합재비 50%에 대해 KS F 2451에 의거하여 투수성 시험을 하였다.

3.3 내화학성 시험

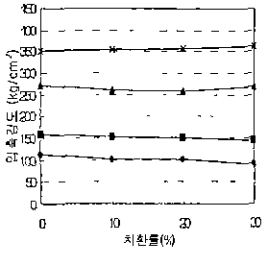
물결합재비 50%에 대해, 28일의 재령동안 표준수중양생한 공시체의 중량과 압축강도를 측정하여, 이를 시험용액 속에 침지하기 전의 시험체 기준으로 하였다. 10% 염산 수용액 속에 침지시켜 약품 침지일로부터 재령 7, 14, 28일에 측정한 중량 및 압축강도를 약품 침지 전의 중량 및 압축강도와 비교하였다.

4. 실험결과 및 고찰

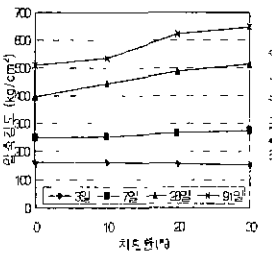
4.1 압축강도시험

배합비 1:2 배합의 경우, 초기재령에서는 치환율이 높아져도 압축강도는 거의 차이가 없거나 작아지는 경향을 나타내었고, 91일의 장기재령에서는 최고 27.3%까지 강도가 증진되었으나, 1:3배합에서는 초기재령에서는 강도저하가 크고, 장기재령에서는 강도증진이 작게 나타났다. (그림1,2)

분말도에 따른 강도변화는 비표면적 6000, 8000㎠/g 의 경우 초기강도는 큰 차이가 없으나, 재령28일부터는 치환율이 높을수록, 분말도가 높을수록 높은 강도증가율을 나타내고 있어 고로슬래그 미분말의 분말도를 높이면 장기강도 발현에 효과가 있음을 알 수 있으나, 비표면적 4000㎠/g의 경우는 치환율이 높을수록 초기강도가 낮게 되므로 주의가 필요한 것으로 나타났다. (그림3)

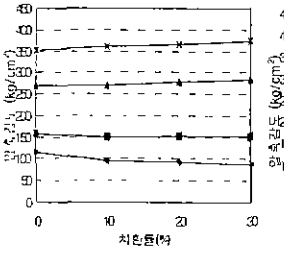


(비표면적 6000㎠/g)

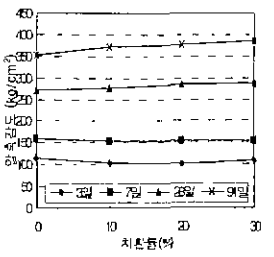


(비표면적 8000㎠/g)

그림1 치환율에 따른 압축강도 (배합비 1:2, 물결합재비 50%)

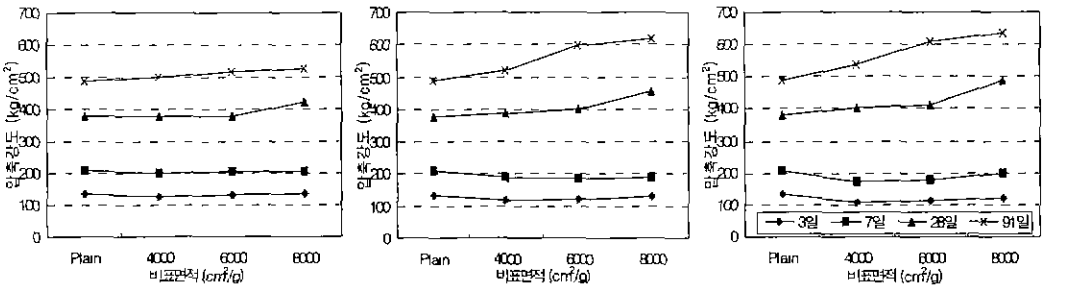


(비표면적 6000㎠/g)



(비표면적 8000㎠/g)

그림2 치환율에 따른 압축강도 (배합비 1:3, 물결합재비 50%)

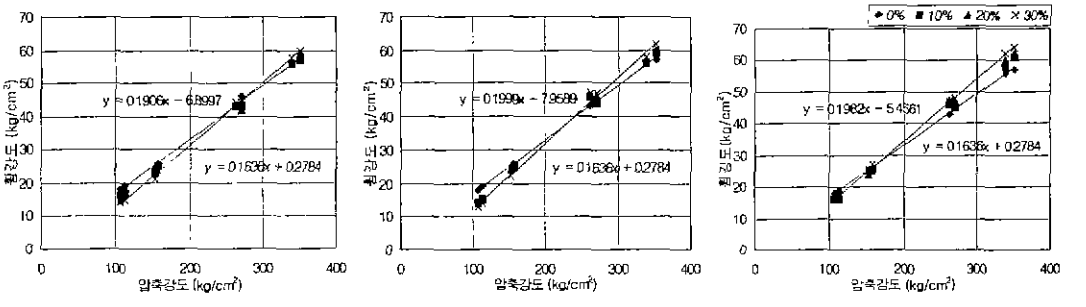


(치환율 10%) (치환율 20%) (치환율 30%)

그림3 분말도에 따른 압축강도 (배합비 1:2, 물결합재비 55%)

4.2 압축강도와 휨강도

일반적으로 압축강도에 대한 휨강도는 $F_c/5.5 \sim F_c/6.5$인데 비해 슬래그 미분말을 사용한 모르터는 그래프상에서와 같이 Plain 시험체와 미분말 대체 시험체의 강도가 역전되는 위치의 차이가 나타나고 있는데, 비표면적이 높을수록 낮은 강도에서부터 휨강도가 Plain시험체보다 높게 나타나 고로슬래그 미분말을 고미분말화하면 휨에도 유리한 것으로 나타났다.(그림4)



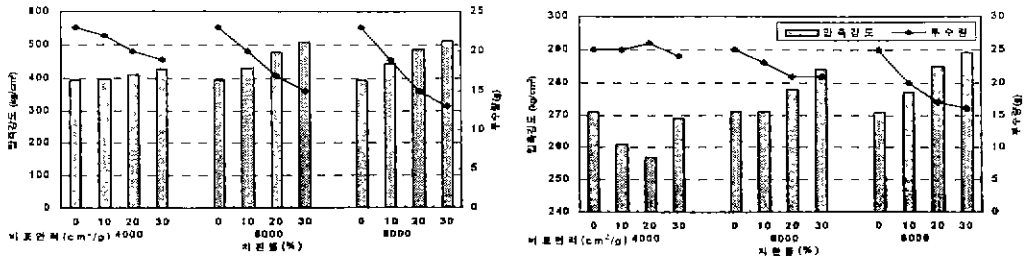
(비표면적 4000㎠/g) (비표면적 6000㎠/g) (비표면적 8000㎠/g)
(배합비 1:3)

그림4 압축강도와 휨강도의 관계

4.3 수밀성 시험

슬래그 치환율이 커질수록, 분말도가 커질수록 투수량은 감소하였으며, 슬래그 미분말 치환율 30%, 비표면적 8000㎠/g의 경우 가장 낮은 수치를 나타내었다(그림5)

이는 슬래그 미분말의 포졸란 반응으로 인해 내부조직이 Plain의 경우보다 치밀해졌기 때문으로 판단된다.



(배합비 1:2) (배합비 1:3)

그림5 압축강도와 투수량

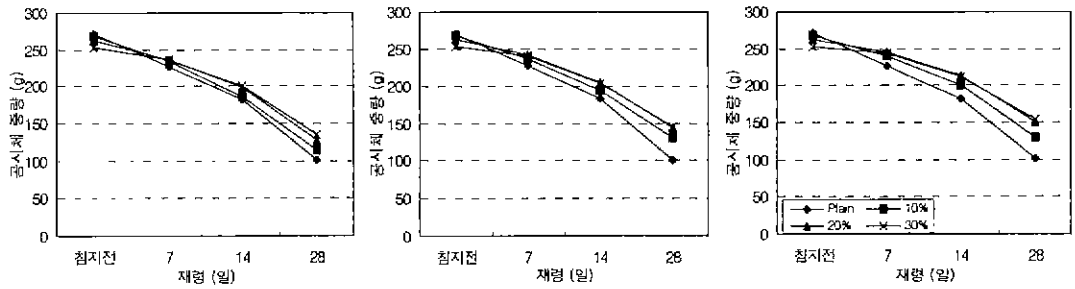
4.4 내화학성 시험

침지한 모르터는 재령이 증가할수록 중량의 감소는 낮게 나타났으며, 이런 경향은 분말도가 커질수록 더욱 분명하게 나타났다.(그림6)

이는 포틀랜드 시멘트가 C_3A, C_3S, 및 유산염을 함유하고 있어 수화시 다량의 수산화칼슘을 방출하고, 이에 치환된 고로슬래그 미분말로부터 용출되는 실리게이트나 알루미네이트와 모세관 공극 중에서 포졸란 반응을 일으켜 그 일부가 소비되어 치밀한 조직구조를 형성함으로써 염류의 침투작용을 억제하였기 때문으로 판단된다.

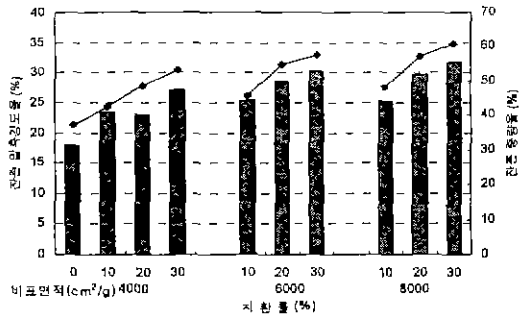
공시체의 압축강도는 약품용액 침지 후에 재령이 증가할수록 감소하나 치환율이 높을수록 강도 감소의 폭이 작음을 알 수 있으며, 이러한 경향은 배합비 1:3 보다는 배합비 1:2에서 더욱 잘 나타났다.

이는 모르터의 시멘트 첨가량 차이와 결합수의 적절성으로 인한 고로슬래그 미분말과의 반응차이 때문으로 판단된다.(그림7)

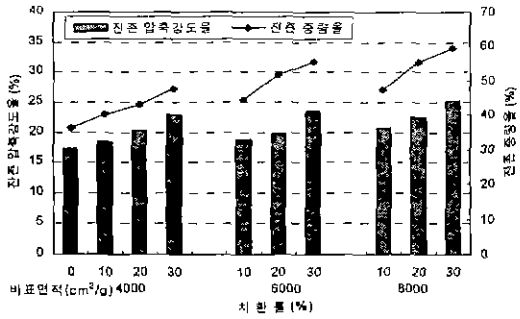


(비표면적 4000㎠/g) (비표면적 6000㎠/g) (비표면적 8000㎠/g)

그림6 재령에 따른 모르터의 중량변화 (배합비 1:2)



(배합비 1:2)



(배합비 1:2)

그림7 모르터의 잔존 중량율과 잔존 압축강도율의 관계

5. 결론

이상과 같은 실험을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 고로서냉슬래그 미분말을 사용한 모르터는 일반 모르터보다 장기강도에서 우수한 성능을 발휘하였고, 비표면적 8000㎠/g의 경우 초기강도에서도 별 차이를 보이지 않아 슬래그 사용시 발생하는 초기강도 저하현상 보완에 미분말의 고분말화가 유효한 것으로 확인되었다.

2) 분말도와 슬래그 치환율이 높을수록 투수량은 감소하였고, 우수한 수밀성을 확인할 수 있었다.

3) 화학약품 침지 후 재령이 증가할수록 압축강도는 감소하나, 치환율이 높을수록 감소폭이 작아 내화학성을 확인할 수 있었다.

4) 고분말 사용시 압축강도에 대한 높은 휨강도 발현성을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. 한국표준협회, "KS 핸드북", KS F 2563, 콘크리트용 미분말, 1997
2. 김종인외 1名, "고로슬래그 미분말을 사용한 모르타르의 역학적 성질(Ⅰ)", 대구대학교 과학기술연구집, 1997
3. 임남기, "고로슬래그의 활용성을 통한 콘크리트용 혼화재에 관한 실험적 연구", 단국대학교 대학원 건축공학과 박사학위논문, 1999
4 정상진 임남기, "고로 서냉슬래그 모르터의 강도특성에 관한 실험적 연구", 대한건축학회논문집 15권 4호,1999.
5 문한영, 최연왕, "콘크리트 혼화재로서 고로슬래그 미분말의 품질에 대한 연구", 대한토목학회 논문집 제14권, 제 4호, 1994
6. 依田彰彦, "資源の有效利用とコンクリート(高爐スラグの微分末を用いたコンクリート)", コンクリート工學 Vol 34. No.4, 1996