슬래그모래를 사용한 모르터의 압축강도특성 비교에 관한 실험적 연구

A Experimental Study on the Comparison of the compression Strength Characteristics of Mortar using the Blast-Furnace Slag Sand

0김 종 락* 김 성 식** 이 복 만** 임 남 기*** 정 상 진****
Kim, Jong Rak Kim, Sueng Sik Lee, Bok Man Lim, Nam Gi Jung, Sang Jin

Abstract

This experimental study presents the strength properties of mortar using the blast-furnace slag sand. The mix disign of this study is based on the each three classes of unit water;(250, 275, 300)kg/m³ and four classes of W/C;(45, 50, 55, 60)% and substitution rate(0, 25, 50, 75, 100)%. It gives following result. As W/C ratio increase, the strength is decrease. In case of mortar using air-cooled blast-furnace slag sand, the 3-days and 7-days compression strength is increase as substitution rate is higher. But in case of the mortar using the quenched blast-furnace slag sand, the compression strength is decrease as substitution rate is higher.

키워드 : 급냉슬래그 모래, 서냉슬래그 모래, 치환율
Key Word : Quenched Blast-furnace Slag Sand, Air-cooled Blast-furnace Slag Sand, Substitution rate

1. 서 론

60년대 이후 우리 경제는 유래없는 고도성장을 이룩하였으며, 중공업에 대한 우선정책에 따라 1973년 7월 포항제철의 제1기 설비가 준공되면서 103만 톤에서 시작된 조강생산 능력의 양적 팽창은 매년 16%이상씩 증가되어 1998년 현재 6,500만톤에 달하며 세계 6위권의 조강국으로 발돋움하게 되었다. 철강생산과 동시에 생산되는 슬래그는 그 발생량이 철강생산 1톤당 고로슬래그 약 300kg, 전로슬래그 약 130kg, 합계 약 430kg이 생성되고 있으며, 그 중 94년도 고로슬래그 발생량은 약 800만톤이며, 포항제철에서 약 42%, 광양제철에서 약 58%를 발생시키고 있다.

또 슬래그의 생산량 구성비는 전체량 중 수재슬래그가 53%, 괴재슬래그가 47%를 차지하며 시멘트원료, 파쇄 골재, 노반재료, 비료등으로 74%정도가 활용되며 나머지 26%는 제철 공장 자체의 호안 공사

* 정회원, 단국대 대학원 석사과정
** 정회원, 단국대 대학원 박사과정
*** 정회원, 신성대학 건축과 교수
*** 정회원, 단국대학교 건축공학과 교수 공학박사

*본연구는 (주)동양소재의 연구비 지원으로 수행되었음.

성토용, 공유수면 매립 등에 활용되고 있다.

한편 우리나라는 석회석을 제외한 제철용 원료의 대부분을 수입하는 현실에서 자원절약, 자연보호 관점등에서 다양한 잠재가치를 가진 슬래그의 이용 개발 가치는 무한한 상황이다. 따라서 고로슬래그를 세골재로 생산사용할 때의 문제점을 도출·보완시켜 대체골재화 한다면 환경보호와 골재의 안정적 공급이라는 측면에서 지향할 방향이 될 것이다.

이에 본고에서는 고로급냉 및 서냉슬래그모래를 세골재로서 사용한 모르터에 대하여 모래의 치환율, 물시멘트비, 단위수량에 따른 압축강도특성을 비교 조사하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 사용재료

(1)시멘트

시멘트는 비표면적이 3,112㎠/g인 S사 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 화학성분 및 비중은 표1과 같다.

표1. 시멘트의 화학성분 및 비중

구분	화학성분(%)							비중
보통포틀랜드 시멘트	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Total S	
	21.9	6.59	2.81	60.1	3.32	2.11	2.58	3.15

(2)잔골재(강모래)

잔골재는 춘천산 강모래를 사용하였으며, 물리적 성질은 표2와 같다.

표2. 잔골재의 물리적 성질

구분	비중	흡수율(%)	조립률(F.M.)	유기불순물	단위용적중량(kg/m³)	실적율(%)
춘천산강모래	2.60	1.83	3.14	양호	1.584	61.0

(3)급냉 및 서냉슬래그 모래

슬래그모래는 포항제철에서 슬래그 처리업체에 제공하여 생산된 것을 사용하였다. 특히 고로서냉슬래그 모래는 별도의 공정을 거쳐 저비중 요소에 의한 표면 부화 및 저강도 현상을 제거하고, 중간 원석관리 단계에서 부원료와 STEAM을 첨가하여 탈황 촉진과 고강도화 그리고 흡수율을 급냉슬래그의 60%정도까지 저감시킨 슬래그모래를 사용하였으며, 각각의 화학·물리적 성질은 <표 3>과 같다.

표3. 급·서냉슬래그의 화학·물리적 성질

구분(급냉)	CaO	SiO_2	Al_2O_3	MgO	Fe_2O_3	
화학적구성	22.4	38.5	13.2	7.55	1.27	
물리적성질	절대건조 비중	흡수율 (%)	입형판정 실적율 (%)	단위용적중량 (kg/m³)	공극율 (%)	
측정값	2.21	4.51	54.2	1198	46	

구분(서냉)	CaO	SiO_2	Al_2O_3	MgO	Fe_2O_3	
화학적구성	20.5	26.9	13.0	7.55	1.64	
물리적성질	절대건조 비중	흡수율 (%)	입형판정 실적율 (%)	단위용적중량 (kg/m³)	공극율 (%)	
측정값	2.77	2.82	55.2	1530	45	

체가름시험은 잔골재의 체가름시험기준 (KS F 2505)에 입각하였으며, 고로급냉 및 서냉슬래그의 치환율에 따른 조립율은 <표 4>와 같다. 시험결과 고로급냉슬래그 100%만 슬래그잔골재 조립율기준

(KS F 2544)의 조립율범위 1.7~3.18을 약간 상회하여 가장 큰 값(3.30)을 나타내었고, 나머지 CASE에서는 모두 범위내의 값을 나타내었다. 한편 조립율은 급냉슬래그모래 치환율과는 비례관계를, 서냉슬래그모래 치환율과는 반비례 관계를 나타내었다. 이는 급냉슬래그가 입도조정되지 않은 상태로 반입되어 잔입자의 통과율은 유사하였으나 0.6㎜체 통과율이 25%, 50%, 75%순으로 높아졌기 때문이며, 강사 100%가 치환율25-75% 경우보다 조립율이 높은 것은 0.15㎜ 및 0.3㎜체에서의 통과율 차이 때문이며, 고로서냉슬래그 모래가 입도분포상 세립분을 많이 포함하고 있기 때문이다.<그림 1>

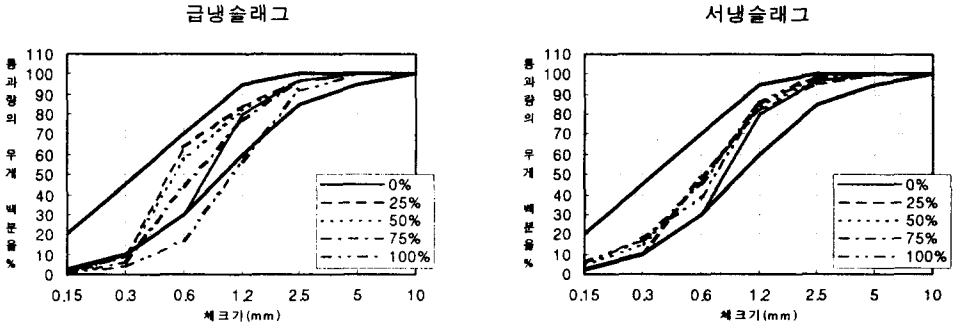
표4. 슬래그 치환률에 따른 조립율

급냉슬래그

치환율 (%)	0 (S0)	25 (S25)	50 (S50)	75 (S75)	100 (S100)
F.M	2.84	2.46	2.54	2.77	3.30

서냉슬래그

치환율 (%)	0 (S0)	25 (S25)	50 (S50)	75 (S75)	100 (S100)
F.M	2.84	2.62	2.55	2.52	2.49



<그림 1> 체가름 시험결과

(4)물

물은 수돗물을 상온상태에서 사용하였다.

2.2 배합

모르터의 배합조건은 서냉슬래그 모래의 치환률(0%, 25%, 50%, 75%, 100%), 물시멘트비(45%, 50%, 55%, 60%), 단위수량(250kg/㎥, 275kg/㎥, 300kg/㎥)을 변화시켜 배합하였다. 단위수량 275kg/㎥, 물시멘트비 45, 50%에 대한 모르터의 배합은 표5와 같다.

표5. 모르터의 배합(단위:kg/㎥)

단위수량275

급냉슬래그

W/C (%)	치환율(%)	C	Sand	Slag
45	0	611	1251	-
	25		938	265
	50		625	529
	75		313	794
	100		-	1058
50	0	550	1301	-
	25		976	275
	50		651	550
	75		325	826
	100		-	1101

서냉슬래그

W/C (%)	치환율(%)	C	Sand	Slag
45	0	611	1251	-
	25		938	337
	50		625	673
	75		313	1010
	100		-	1347
50	0	550	1301	-
	25		976	350
	50		651	701
	75		325	1051
	100		-	1401

2.3 비빔

(1) 슬래그와 모래를 혼합한 경우

잔골재의 적절한 혼합을 위하여 강모래와 고로서냉슬래그를 넣고 1분간 건비빔한 후에 시멘트를 넣고 다시 1분간 건비빔하고 물을 투입하여 3분간 비빔하였다.

(2) 슬래그와 모래를 혼합하지 않은 경우

고로서냉슬래그 100%와 강모래 100%의 경우에는 잔골재와 시멘트를 넣고 1분간 건비빔후 물을 투입하고 3분간 비빔하였다.

3. 실험결과 및 결과의 고찰

시험제작한 모르터의 압축강도를 KS F 2405에 의거하여 3일, 7일, 28일, 91일에서 표준적인 방법으로 측정하였으며 그 결과는 표6와 같다.

표6. 모르터의 압축강도-단위수량275kg/㎥

급냉슬래그 / 서냉슬래그 (kg/㎠)

시험체명	재령				시험체명	재령			
	3일	7일	28일	91일		3일	7일	28일	91일
275-W45-S0	272	353	484	580	275-W45-S0	272	353	484	580
275-W45-S25	263	350	473	568	275-W45-S25	288	356	459	544
275-W45-S50	258	343	460	554	275-W45-S50	294	359	468	550
275-W45-S75	224	334	436	528	275-W45-S75	300	360	466	563
275-W45-S100	210	330	419	513	275-W45-S100	306	366	484	563
275-W50-S0	221	301	450	550	275-W50-S0	221	301	450	550
275-W50-S25	191	325	423	531	275-W50-S25	228	301	440	544
275-W50-S50	166	299	403	508	275-W50-S50	227	304	406	519
275-W50-S75	150	250	375	478	275-W50-S75	243	306	419	531
275-W50-S100	113	233	338	450	275-W50-S100	246	315	419	538

3.1 치환율과 압축강도

치환율의 증가에 따른 압축강도의 변화는 <그림 2>와 같다. 그림에 의하면 서냉슬래그 모래의 치환율이 증가할수록 초기(3일, 7일)압축강도는 일반 모르터보다 다소 높은 경향을 나타내었으며 장기(28일, 91일) 강도는 일반모르터와 유사한 값을 나타내고 있었다. 이런 경향은 고로슬래그의 초기강도 부족에 대한 결점을 보완 하기 위하여 모래제조 공정에서 슬래그모래의 흡수율을 크게 저하시킴으로써 초기강도의 개선효과가 나타나게 된 것이며, 장기강도 증진 효과는 그리 크지 않은 것으로 나타났다. 이에 비해 급냉슬래그 모래를 사용한 모르터는 제품화되지 않고 입도조정되지 않은 상태로서 외형적 특성으로 인한 잔골재간 결합능력이 저하되어 치환율이 증가될수록 초기강도 및 장기강도 발현이 저하되는 경향을 보였다.

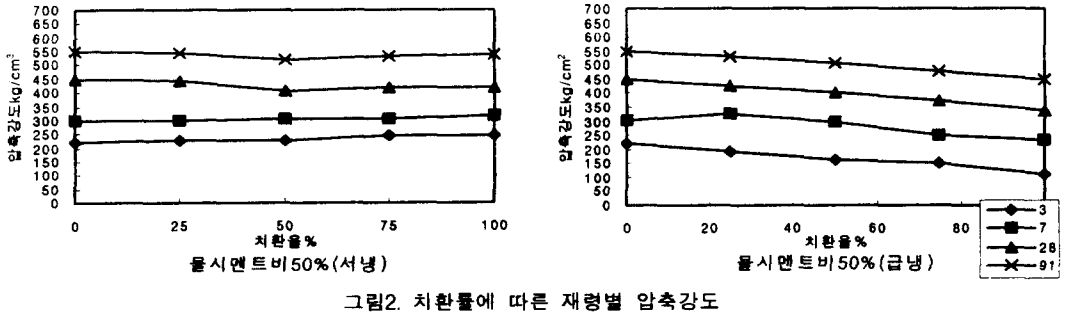
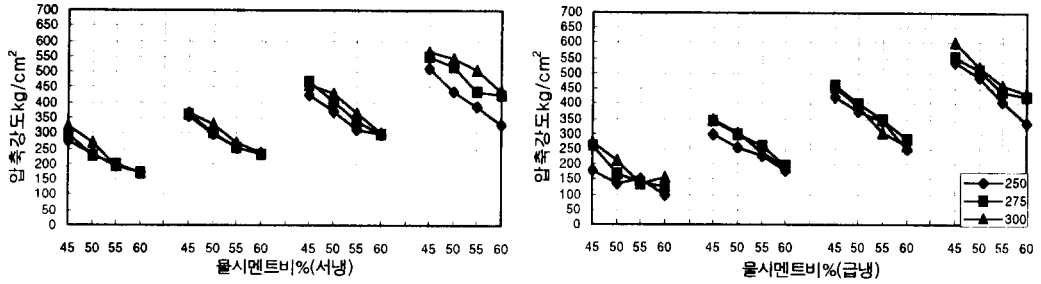


그림2. 치환률에 따른 재령별 압축강도
(단위수량 275kg/㎥)

3.2 물시멘트비와 압축강도

W/C와 압축강도 관계는 <그림 3>과 같다. 그림에 의하면 W/C가 클수록 압축강도는 저하하는 경향으로써 서냉슬래그 모르터나 급냉슬래그 모르터 모두 일반 모르터와 동일한 경향을 보이고 있어 물시멘트비에 대한 슬래그 모르터의 강도특성은 거의 없는 것으로 나타났다.



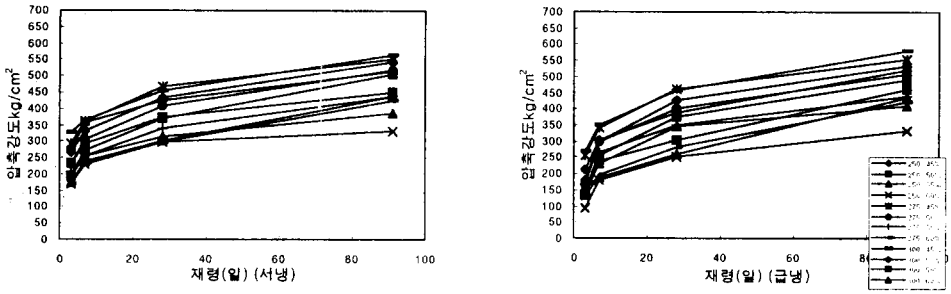
(슬래그 치환률50%)

그림3. 물시멘트비에 따른 재령별 압축강도

3.3 압축강도의 경시변화

모르터의 압축강도 경시변화는 <그림 4>와 같다.

경시변화의 경향은 일반 모르터와 유사하지만 서냉슬래그 모래 치환율이 높을수록 초기강도 발현이 크다는 것은 중요한 장점으로 주목할 만하다. 그러나 장기강도가 초기강도 증가 만큼 크지 않고, 전체적으로 일반 모르터와 유사한 강도특성을 나타냄으로써 28일 이후에는 치환율과는 다소 무관한 강도값을 나타내고 있다. 이러한 결과로부터 서냉슬래그 모래는 문헌에 따른 급냉슬래그 모르터처럼 모르터 자체의 장기강도 개선효과는 나타나지 않지만, 초기강도 개선 효과는 시공시의 거푸집의 조기탈형 등에 기여할 수 있으므로 공기단축효과를 기대할 수 있을 것이다.

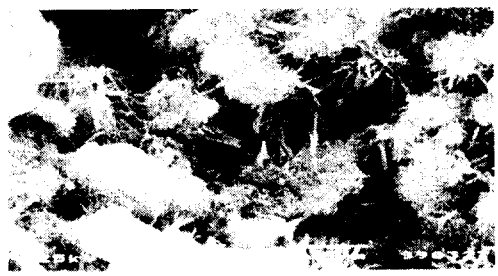


(단위수량275kg/m³)

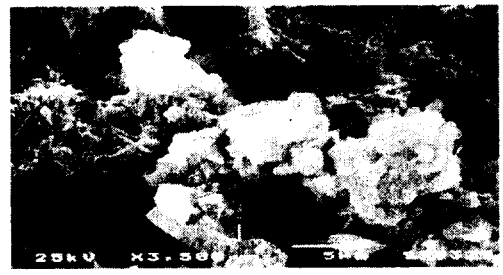
그림4. 서냉슬래그모래를 사용한 모르터의 경시변화

3.4 SEM(Scanning Electron Microscope)

경화 모르터의 내부조직을 관찰하기위해 재령 28일의 압축강도 시험후 공시체에서 시료를 채취하여 주사전자현미경(SEM)으로 관찰하였고 그 결과는 그림6과 같다. 그림에 따르면 서냉슬래그 모르터의 경우 수화작용으로 인한 에트링자이트 및 Gel 생성을 확인할 수 있으며 급냉슬래그 모르터보다는 내부조직이 치밀하고 수화작용이 많이 진행됨을 알수 있다.



서냉슬래그 모르터(치환율50%)



급냉슬래그 모르터(치환율50%)

그림5. 시험체 내부조직 사진(3500배)

4. 결 론

IMF사태로 인한 건설경기가 위축됨으로써 폐기물의 일종인 고로슬래그의 적치량이 급증되고있어 이에 대한 적극적인 활용방안을 모색하기 위한 기초과정으로서 슬래그의 치환율, 단위수량, W/C비를 변화시켜 시험제작한 모르터에 대한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 고로급냉 및 서냉슬래그의 치환율에 따른 조립율시험결과 고로급냉슬래그는 입도조정되지않은 상태로 반입되어 치환율 100%에서 슬래그잔골재 조립율 범위인 1.7~3.18을 약간 상회하였고, 서냉슬래그의 경우 입도분포상 세립분을 많이 포함하고 있는 관계로 강모래(2.15~3.38)보다 다소 낮은 값을 나타내었다.
(2) 서냉슬래그 모래사용 모르터의 압축강도 특성은 일반모르터와 유사한 경향을 나타내고 있으나 특히 치환율이 증가할수록 조기강도가 높게 나타나고 있는 바 현장적용시 거푸집 탈형시기가 짧아질 수 있으므로 공기단축효과가 기대된다.
(3) 슬래그사용 모르터의 내부조직 촬영(SEM)결과 서냉슬래그를 사용한 경우가 급냉슬래그의 경우에 비해 수화반응 및 밀실성이 우수한 것으로 나타났으며 이는 압축강도 결과에서도 나타나고 있다.
이상의 결과로부터 서냉슬래그 모래를 사용한 모르터는 급냉슬래그 모래를 사용한 모르터보다 우수한 성능을 나타내었을뿐 아니라 일반 모르터와 거의 유사한 강도특성을 나타내고 있어 사용상 문제점은 없는 것으로 나타났으며, 오히려 조기강도가 높아 공기단축이라는 유효특성이 있어 적극 활용 가능한 재료로 판단된다.

참고 문헌

1. 정상진외 10名, 『건축재료학』, 1986, 보성각, p132~135
2. 정상진외 5名, 『수재사 모르터의 Flow 특성에 관한 연구』 한국 콘크리트학회 학술발표논문집 제17권 제2호
3. 문한영외 2名, 『고로슬래그를 골재로 사용한 콘크리트의 배합설계에 관한 기초적 연구』, 산업과학논문집,한양대학교산업과학연구소, Vol.21, 1985
4. 『골재관련 KS규격 및 시방서비교 검토 정비』 국립기술품질원,1996. 11
5. 『콘크리트용 고로슬래그 골재 설계시공지침』 사단법인 대한토목학회
6. 한국콘크리트학회. 『최신콘크리트공학』, 기문당, 서울, p84, p213