

# 수제사 모르타의 强度特性에 관한 研究

## An Experimental Study on the Quality of Mortar Strength using the Quenched Blast-Furnace Slag

임 남 기\* 이 영 도\* 양 범 석\*\* 김 영 회\*\*\* 최 문 식\*\*\*\* 정 상 진\*\*\*\*  
Lim, Nam-Gi Lee Young-Do Yang, Beom-Seok Kim, Young-Hoi Choi, Moon-Sik Jung, Sang-Jin

### ABSTRACT

Strength experimental on mortar which use Quenched Blast-Furnace Slag as aggregate was carried out for a fundamental study of application possibility of Quenched Blast-Furnace Slag as aggregate. It gives the following results. The strength of mortar use Quenched Blast-Furnace Slag is decrease as substitution rate is higher. As W/C rate increase, the strength decrease, but the strength decrease of fine aggregate rate 1:3 is lower than 1:2. The relation with fine aggregate is that the amount of fine aggregate is inversely proportional to strength. The relation with age is proportional to strength and strength rate of going is lower than general mortar in 28age.the change of strength proportionately with W/C rate is that as W/C rate increases, the strength is drop ; it shows that it has same tendency as general mortar sand or crushed sand, but while W/C rate increase the strenght is as high as general mortar . The reason can be assumed that water cotent per unit needed to Quenched Blast-Furnace Slag is more than in case of sand. In addition, the relation with substitution rate is that the strength is the strongest at substitution rate 25% and 50% ; that is, sometimes it is higher than mortar which use sand 100%. In addition, long age strength of mortar which use Quenched Blast-Furnace Slag as aggregate is about to be studied in the last.

Keywords : Quenched Blast-Furnace Slag, Substitution Ratio, C/S Rate

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 목적 및 범위

최근 건축, 토목분야의 천연골재 부족현상은 시간이지남에 따라 심각해지고있어 대체 골재의 개발이 시급한 실정이다.

- 1)\* 정회원 : 단국대, 건축공학과 박사과정
- 2)\*\* 정회원 : 단국대, 건축공학과 석사과정
- 3)\*\*\* 정회원 : 인천전문대, 교수
- 4)\*\*\*\*정회원 : 단국대, 건축공학과 교수, 공학박사

따라서 해외에서 이미 수행된 고로슬래그 관련연구결과에서 나타난 효용성을 근거로 고로슬래그를 대체골재로 사용한 모르터 강도 특성에 관한 각종 데이터의 축적이 선행된다면 고로슬래그 골재채용 콘크리트의 실용화 시기는 크게 단축시킬 수 있을 것으로 사료된다.

고로냉슬래그(결정질)의 경우 이미 국내에서 연구가 진행된 바 있으나 고로급냉슬래그(유리질)의 경우 연구실적이 없고 환경적 측면이나 활용성면에서 주 공급원인 포항제철에서 그 발생량을 서냉에서 급냉으로 전환하고 있는 점을 고려하여 볼때 고로급냉슬래그의 활용에 대한 연구가 시급한 현실이다.

이에 본고에서는 고로급냉슬래그(이하 수재사라 한다.)를 세골재로 사용한 모르터에 대하여 세골재의 치환율, 물시멘트비, 잔골재율에 따른 각종 강도특성을 조사하고자 한다.

## 1.2 수재사의 생성

고로슬래그(Blast-Furance Slag)는 철광석과 코크스를 장입하고 1200~1250°C의 고온 열풍을 불어 넣어 코크스를 연소 시킴으로써 발생하는 연소열과 환원성 가스(CO gas)를 이용하여 철광석을 환원, 용해하여 철 함유율 94~95%의 선철을 제조하는 과정에서 발생하는 부산물이다.

고로슬래그는 선철의 원료가 되는 철광석과 석회석 중 철이외의 성분이 용해되어 철 위에 뜨는 광재(廣才)로서 비중의 차이를 이용하여 철과 분리해 내게 되며, 선철 1톤을 생산하는데 약 330kg의 슬래그가 생성된다.

생성된 슬래그는 그 냉각방법에 따라 여러 가지로 구분되는데 수재사는 생성된 슬래그를 급속냉각시켜 생성된 것이다.

## 2.. 실험계획 및 방법

### 2.1 사용재료

#### (1)시멘트

시멘트는 비표면적이 3,112cm<sup>2</sup>/g인 S사 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 화학성분 및 물리적 성질은 표1과 같다.

#### (2)모래

잔골재는 춘천산 강모래를 사용하였으며, 물리적 성질은 표2와 같다.

표1. 시멘트의 화학성분 및 물리적 성질

항목 시료명	화학성분(%)							비중	항목 종류	표2. 잔골재의 물리적 성질					
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Total S			비중	흡수율 (%)	조립률 (F.M.)	유기 불순물	단위용적중량 (kg/m <sup>3</sup> )	실적률 (%)
보통포틀랜드시멘트	21.9	6.59	2.81	60.12	3.32	2.11	2.58	3.15	춘천산 강모래	2.60	1.83	3.14	양호	1.584	61.0

(3) 수재사

수재사는 포항제철에서 슬래그 처리업체에 제공하여 슬래그로 생산된 것을 사용하였다.

수재사는 각각의 생성과정에 따라 약간의 성분량의 차이를 보이기도 하지만 대체적으로 수재사의 구성원소는 일반암석과 같으며, 성분은 시멘트와 유사하다. 슬래그의 화학성분 및 물리적 성질은 표3과 같다.

수재사의 치환율에 따른 조립률을 표3에 나타낸다. 체가름시험은 잔골재의 체가름시험기준(KS F 2502)에 입각하였으며, 체가름시험결과 수재사100%는 No.16번과 No.50번 표준망체에 남은량이 최대치를 약간 상회하고 있으며, 슬래그잔골재 조립률기준(KS F 2559)의 조립률범위 3.57~5.05에는 모두 포함되었다. 조립률은 치환율 0%, 100%, 50%, 25%, 75%의 순으로 조사되었다.

즉 수재사의 입도분포는 2.5mm이하에서 강사보다 많은 비율을 나타내고 있음을 알 수 있다.

(4) 물

물은 수돗물을 상온상태에서 사용하였다.

표3. 고로슬래그의 화학성분 및 제질

표4. 강사와 수재사의 치환율에 따른 조립률

성분 종류	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	S	MnO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
고로 슬래그	30 ~41	35 ~45	12 ~20	0.3 ~1.7	3 ~7	0.6 ~1.6	0.3 ~1.7	0.2 ~2.2	0.004 ~0.051
제질	철내건조비중		흡수율(%)		단위부피무게kg/ℓ				
규정값	2.5이상		3.5이하		1.45이상				

치 환 율	0% (강사100%)	25% (강사75%)	50% (강사50%)	75% (강사25%)	수재사 100%
F.M	3.14	4.16	4.02	4.18	3.71

2.2 배 합

모르터의 배합조건은 수재사 첨가량(0%, 25%, 50%, 75%, 100%), 물시멘트비(45%, 50%, 55%), 잔골재율(C:S=1:2, 1:3)을로 변화시켜 배합하였다.

모르터의 배합을 표5에 나타낸다.

표5. 모르터의 배합(W/C45%) (단위:kg/m<sup>3</sup>)

W/C	C:S	치환율 (%)	W	C	Sand	Slag	W/C	C:S	치환율 (%)	W	C	Sand	Slag	W/C	C:S	치환율 (%)	W	C	Sand	Slag	
45%	1:2	0	320	713	1177	-	50%	1:2	344	688	1136	-	55%	1:2	366	665	1098	-	1098	-	
		25			882	271						852						262		824	253
		50			588	543						568						524		549	507
		75			294	814						284						786		274	760
	100	-	1086	-	1049	-	1014														
	1:3	0	273	607	1504	-	50%	1:3	287	574	1422	-	55%	1:3	302	549	1359	-	1359	-	
		25			1128	347						1067						328		1020	313
		50			752	694						711						656		680	627
		75			376	1042						355						984		340	941
	100	-	1388	-	1312	-	1255														

### 3. 시험결과

#### 3.1 압축강도 및 휨강도

시험제작한 모르타의 강도는 KS F 2405에 의거하여 3일, 7일, 28일강도에서 표준적인 방법으로 측정하였으며 그 결과를 표6과 표7에 나타내었다.

수재사를 사용한 모르타의 압축강도는 재령에 따라 증가하였으며, 물시멘트비와 압축강도는 반비례하였다. 다만 물시멘트비가 증가하면서 수재사를 사용한 모르타의 강도가 강사를 사용한 모르타의 강도를 상회하는 것으로 나타났다.

휨강도는 압축강도와 동일한 경향으로 나타났으며, 시간이 경과함에 따라 압축강도에 대한 비율이 증가하였다. 이는 수재사가 장기재령에 있어서 강도발현이 증진되기 때문이다.<sup>1)</sup>

표6. 시험체별 압축강도 측정결과

W/C	C:S	치환율 (%)	3일	7일	28일	W/C	C:S	치환율 (%)	3일	7일	28일	W/C	C:S	치환율 (%)	3일	7일	28일
45%	1:2	0	289	390	472	50%	1:2	0	249	348	449	55%	1:2	0	193	267	362
		25	276	356	436			25	203	283	367			25	225	322	410
		50	254	335	422			50	221	296	364			50	218	328	387
		75	250	316	395			75	177	256	322			75	212	283	389
	1:3	100	241	361	408		1:3	100	158	297	347		1:3	100	114	251	335
		0	259	376	476			0	229	316	428			0	189	206	333
		25	232	390	455			25	259	282	400			25	198	269	349
		50	272	323	470			50	221	293	362			50	175	245	346
		75	222	352	391			75	181	260	331			75	156	231	320
		100	183	279	362			100	153	261	334			100	117	195	294

표7. 시험체별 휨강도 측정결과

W/C	C:S	치환율 (%)	3일	7일	28일	W/C	C:S	치환율 (%)	3일	7일	28일	W/C	C:S	치환율 (%)	3일	7일	28일
45%	1:2	0	30	34	113	50%	1:2	0	16	23	87	55%	1:2	0	10	25	61
		25	17	39	59			25	13	41	52			25	5	29	84
		50	10	36	64			50	14	37	80			50	5	39	71
		75	24	37	42			75	5	34	63			75	16	25	79
	1:3	100	17	35	47		1:3	100	4	21	53		1:3	100	4	11	65
		0	17	42	70			0	11	28	54			0	14	19	47
		25	25	29	55			25	21	32	75			25	11	31	59
		50	28	31	43			50	19	26	45			50	10	20	55
		75	3	8	25			75	8	34	43			75	4	15	35
		100	12	15	30			100	8	14	34			100	4	23	38

1) 문한영 외 2명, 「高爐슬래그를 骨材로 使用한 콘크리트의 配合設計에 관한 基礎的研究」, 산업과학논문집 Vol.21, 1988

## 4. 결과의 고찰

### 4.1 잔골재율과 강도의 관계

수재사의 치환율에 따른 강도의 변화는 그림4.1과 그림4.2에 나타난 바와 같이 수재사의 치환율과 강도는 반비례하는 것으로 나타났으나 물시멘트비가 증가함에 따라 강도감소폭선이 완만하게 나타났으며, C/S비 1:3에서도 같은 경향을 보이고 있다.

또한 재령별 강도의 차이는 수재사의 치환율이 증가함에 따라 그 폭이 줄어드는 것은 강사에 비해 수재사의 특성상 장기강도는 높고 초기강도가 낮기 때문에 수재사의 양이 증가할수록 재령에 따른 강도의 폭이 줄어드는 것이다.

수재사의 치환율이 0%에서 100%로 점차 증사함에 따라 강도의 저하를 보이는 것은 그림3의 플로우 실험결과에서 알 수 있듯이 치환율에 증가하면 동일한 단위수량에서 흡수율이 강사의 2배정도인 수재사의 양이 많아지면서 모르타의 컨시스턴시에 역효과를 나타내어 결국 모르타의 경화에 영향을 미치기 때문인 것으로 사료된다.<sup>2)</sup>

그러나 치환율에 증가해도 50%와 100%에서는 강도의 감소가 다른배합보다 덜한 것으로 나타났는데 이는 수재사의 조립률이 낮을수록 높은 강도를 나타내는 특성때문에<sup>2)</sup> 표4에 나타낸바와 같이 조립률이 치환율 50%와 100%에서는 다른배합보다 낮은 조립률을 나타내 치환율의 증가에 따라 강도는 감소하지만 조립률의 영향으로 치환율50%와 100%에서는 강도의 저하율이 평균이하로 나타난 것으로 판단된다.(그림1)

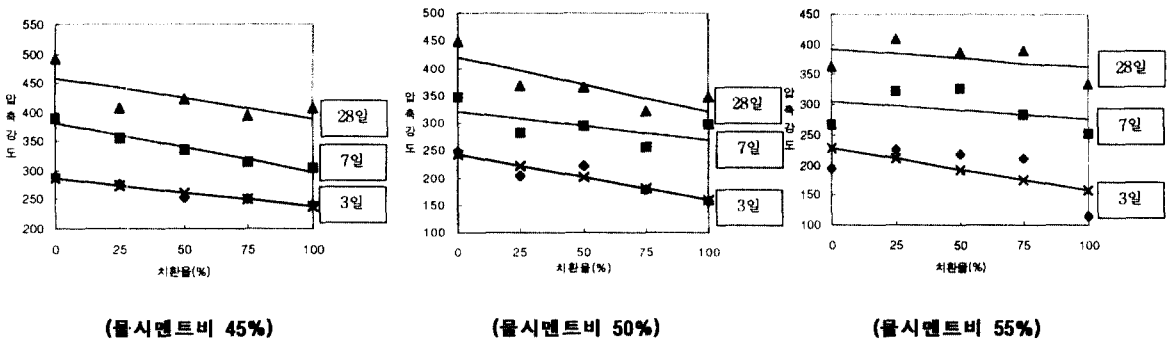
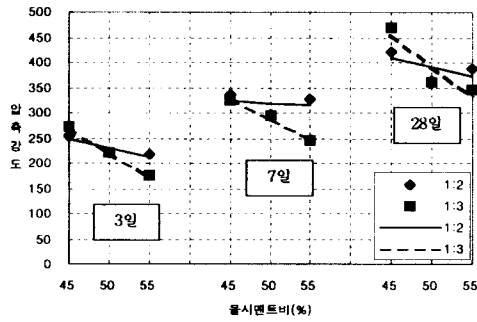


그림1. 치환율에 따른 재령별 압축강도(C:S=1:2)

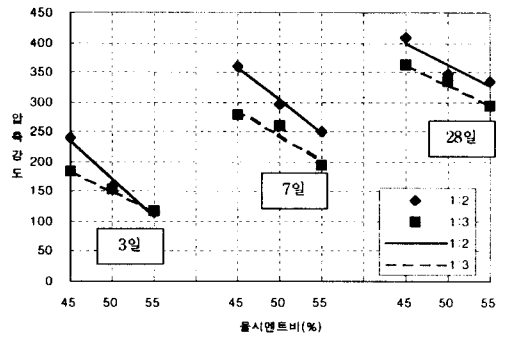
### 4.2 물시멘트비와 압축강도

물시멘트비가 증가함에 따라 강도는 저하되는 경향을 보이고 있으나, 물시멘트비 50%, 55%에서 특히 잔골재율 1:3이 1:2보다 물시멘트비 증가에 따른 강도의 감소가 더 작게 나타내는데 이는 수재사가 일반 강사를 사용한 모르타보다 배합시에 더 많은 물량을 필요로 한다는 것을 증명해주고 있다. 따라서 수재사의 치환율이 증가하면 물시멘트비가 증가해도 단위시멘트량이 줄어드는 대신 수재사가 필요로 하는 배합수를 많이 확보함에 따라 단위시멘트량의 감소에 따른 강도의 저하를 수재사가 보완하는 특성을 나타내고 있다.(그림2)

2) 地濃茂雄 「織高爐水砕のコンクリート用細骨材としての性質とそれを用いたモルタル・コンクリートの作業性ならびに強度性状に関する實驗」 昭和50年



(치환율50%)

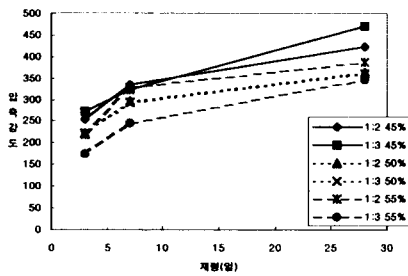


(치환율100%)

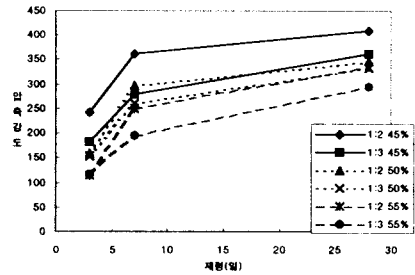
그림 2. 물시멘트비에 따른 강도변화(C:S=1:2)

### 4.3 수재사 모르타의 경시변화

수재사를 사용한 모르타는 강사를 사용한 모르타와 같은 경향으로 시간이지남에 따라 강도가 증가하는 경향으로 재령과 강도는 비례관계를 나타내었다. 다만, 강사를 사용한 모르타에 비해 강도는 조금 낮게 나타났다.(그림 3)



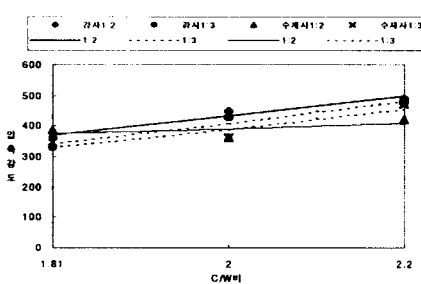
(수재사치환율50%)



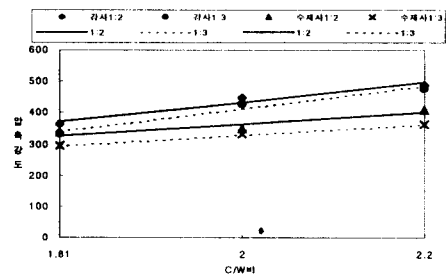
(수재사치환율100%)

그림 3. 수재사를 사용한 모르타의 경시변화

### 4.4 시멘트물비와 압축강도



(수재사치환율50%)



(수재사치환율100%)

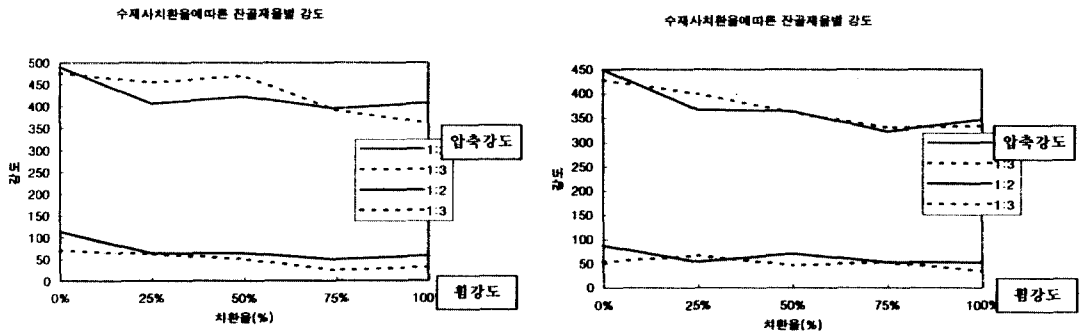
그림 4. 시멘트물비와 압축강도

시멘트물비와 압축강도의 관계는 강사를 사용한 모르터와 같은 경향으로 시멘트물비 계수가 증가됨에 따라 압축강도역시 증가되는 비례관계를 나타냈다.

수재사 치환율 0%, 50%, 100%에 있어서 C/W비와 강도와의 관계를 그림4에 나타내었다.

#### 4.5 압축강도와 휨강도

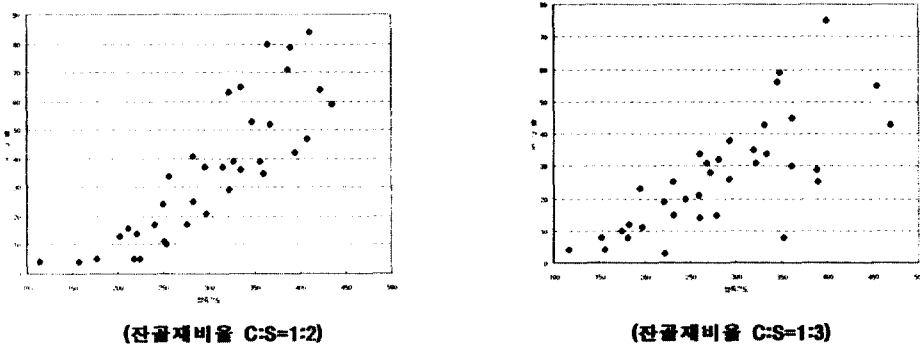
휨강도는 전체적으로 수재사의 치환율이 높아짐에 따라 강도는 낮아지는 경향을 나타내어 압축강도와 비례하는 것으로 나타났다. 수재사로 치환한 모르터는 강사를 사용한 모르터보다 치환율에 따라 강도가 점차적으로 낮아졌고, 치환율 25%, 50%에서는 일반모르터에 비해 강도는 그다지 떨어지지 않았으며, 물시멘트비가 증가되면 치환율 25%, 50%의 경우 강사를 사용한 모르터보다 높은 강도를 나타내었다. 휨강도는 재령 3일에서 압축강도의 4.4%수준에서 재령 28에는 11%수준까지 상승되어 재령이 증가함에 따라 휨강도의 발현성이 증대되어 압축강도역시 장기재령에 있어서 더욱 증가될 것으로 사료되며, 휨강도의 증가는 C/S비 1:2에서 더 크게 나타났다. 압축강도와 휨강도의 관계를 그림9와 그림10에 나타낸다.



(물시멘트비45%, 28일강도)

(물시멘트비50%, 28일강도)

그림 5. 치환율에 따른 압축강도와 휨강도



(잔골재비율 C:S=1:2)

(잔골재비율 C:S=1:3)

그림 6. 압축강도와 휨강도

## 5. 결 론

수재사의 건축용 골재로서의 활용성을 알아보기 위하여 수재사의 치환율, 잔골재율, 물시멘트비를 변화시켜 시험제작한 모르터에 대한 결과는 다음과 같다.

- (1) 수재사를 사용한 모르터의 압축강도는 수재사의 치환율이 커질수록 낮아진다.
- (2) 물시멘트비와 강도는 반비례하지만 잔골재율 1:3은 1:2보다 강도의 저하가 낮게 나타났다.
- (3) 재령에 따른 강도는 점차 증가하지만 28일재령까지는 일반모르터에 비해 낮다.
- (4) W/C에 따른 강도의 변화는 강모래를 사용한 모르터와 비슷한 경향을 나타내고 있었지만 W/C가 증가해도 강도의 차이는 강사와 비교하여 큰 차이를 보이고있지 않아 일반모르터보다 배합수를 많이 조정하는 것이 강도발현에 기여할 수 있는 것을 알 수 있다.
- (5) 잔골재의 조립률이 낮으면 동일배합의 높은 조립률보다 높은 강도를 나타낸다.
- (6) 모르터의 휨강도는 치환율에 따라 압축강도와 비슷한 경향의 강도특성을 나타내었고, 재령3일에서 압축강도의 4.4%, 재령7일에서 7.2%, 재령28일에서 압축강도의 11% 수준까지 증가하여 장기재령에 대한 장기재령을 기대할 수 있다.

이상과 같은 결과로 수재사를 사용한 모르터의 배합에는 단위수량을 일반모르터보다 많이 필요로 하며, 결과적으로는 강도는 일반모르터에 비해 그다지 낮지 않으므로 경제적인 배합이 될 수 있을 것으로 사료된다. 또한 수재사를 사용한 모르터의 장기강도에 대한 추가의 실험연구가 진행중이므로 본고에서 언급되지 않은 장기재령에 있어서의 강도특성에 대해서는 추후 논문에 발표예정이다.

## 참고 문헌

1. 한국콘크리트학회, 『최신콘크리트공학』, 기문당, 서울, p84, p213.
2. 문한영의 2名, 「고로슬래그를 골재로 사용한 콘크리트의 배합설계에 관한 기초적 연구」, 산업과학논문집, 한양대학교 산업과학연구소, Vol.21, 1985
3. 정상진 외10名, 「건축재료학」, 보성각, 1996.
4. 「콘크리트용 고로슬래그 골재 설계시공지침」 사단법인 대한토목학회
5. 依田彰彦, 『産業副産物高爐スラグのコンクリート用セメント、混和材、骨材への有効利用に関する實驗研究』
6. 任入豊和, 外1名, 「高爐水碎のコンクリート用細骨材としての性質とそれを用いたモルタル コンクリートの作業性ならびに強度性状に関する實驗, 昭和50年.