

高爐슬래그 微粉末의 置換方法이 시멘트 모르터의 初期 壓縮強度에 미치는 影響

강 훈

〈고려산업개발(주) 기술연구부 차장〉

- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| 1. 서론 | 4.1 HPC 치환율과 압축강도 발현성상 |
| 2. SB혼입 모르터의 초기 압축강도 증진방법 | 4.2 SB 내배합 방법과 압축강도의 발현 |
| 3. 실험개요 | 4.3 SB 외배합 방법과 압축강도의 발현 |
| 3.1 실험인자 및 배합계획 | 4.4 HPC의 사용과 압축강도의 발현 |
| 3.2 사용재료 및 실험방법 | 4.5 내·외배합 방법과 압축강도의 발현 |
| 4. 실험결과 및 고찰 | 5. 결론 |

1. 서론

고로슬래그 미분말은 (이하 SB라 함) 높은 품질안정성과 잠재수경성을 갖는 포졸란 재료로서 콘크리트용 혼화재료로 사용한 경우, 수화 발열속도 저감, 염화물 이온 침투 억제 및 알칼리 실리카 반응 억제등의 잇점을 발휘한다. 또한, 산업부산물 재이용에 의한 천연자원 보호 및 레미콘 제조원가 절감을 통한 경쟁력 향상을 도모하기 위해서는 SB의 적극적인 활용이 기대된다. 그러나, 국내에서는 사용실적이나 연구가 부족한 실정이고 특히, 공사현장에서는 SB 혼입에 의한 콘크리트의 초기 압축강도 저하라는 인식이 있어 실용화에는 해결해야할 과제가 남아있다. 필자들은 JIS(일본 공업규격) 방법에 의해 SB혼입 시멘트 모르

터의 초기강도개선에 관한 연구¹⁾를 실시하여 조강시멘트의 사용, SB의 외배합 방법이 초기 강도를 개선하기 위한 방법으로 유효한 것을 실험적으로 확인하였다.

본 연구에서는, SB혼입 콘크리트의 초기 압축강도증진에 관한 기초자료를 얻기위해, SB를 혼입한 시멘트 모르터를 대상으로 KS(한국공업규격)방법에 의해 시멘트 종류, SB 치환율 및 배합설계방법이 시멘트 모르터의 초기 압축강도 발현에 미치는 영향을 실험적으로 검토하였다.

2. SB혼입 모르터의 초기 압축강도 증진방법

SB를 혼입한 시멘트 모르터의 초기 압축강

도 증진방법에는 다음과 같은 방법이 있으나, 제조원가 절감을 목표로하는 레미콘 공장에서 대량생산을 목표로 한다면 사이로의 추가 설치가 필요없는 (4)~(7) 방법이 합리적이고 생각된다.

- (1) 고로슬래그 미분말의 고분말도화
- (2) 분할 믹싱 방법의 도입
- (3) 충분한 초기 습윤 양생
- (4) 조강 시멘트의 사용
- (5) 내배합 방법의 사용

[표1] 시멘트모르터의 배합표 및 실험결과

번호	실험 방법	기호	실험 인자	OPC (%)	HPC (%)	SB (%)	OPC (g)	HPC (g)	SB (g)	Sand (g)	염기도	압축강도 (MPa)				
												3일	7일	14일	28일	
1	시리즈 1 (JIS) 방법 W/B 65%***	OPC 100	OPC 내배합 방법	100	-	-	1120	-	-	2240	3.26	16.2	25.7	-	34.4	
2		OSB 20		80	-	20	896	-	224		2.86	11.3	19.1	-	37.2	
3		OSB 40		60	-	40	672	-	448		2.53	9.7	21.0	-	41.6	
4		OSB 60		40	-	60	448	-	672		2.26	-	15.0	-	33.4	
5		HPC 100	HPC 내배합 방법	-	100	-	-	1120	-		-	3.60	21.8	31.3	-	33.1
6		HSB 20		-	80	20	-	224	896		3.13	17.7	23.1	-	31.3	
7		HSB 40		-	60	40	-	448	672		2.69	12.6	20.3	-	36.1	
8		HSB 60		-	40	60	-	672	448		2.34	-	17.5	-	35.5	
9		OS 30	OPC 외배합 방법	100	-	30*	1120	-	672		1568	2.80	25.2	39.5	-	60.1
10		OS 40		100	-	40*		-	896		1344	2.71	28.9	44.0	-	63.4
11		OS 50		100	-	50*		-	1120		1120	2.63	31.5	48.8	-	64.0
12	시리즈 2 (KS) 방법 W/B 48.5%***	OPC100-2	OPC 내배합 방법	100	-	-	760	-	-	1862	3.26	22.7	36.5	42.7	50.2	
13		OSB 10-2		90	-	10	684	-	76		3.05	20.4	31.9	42.5	50.0	
14		OSB 20-2		80	-	20	608	-	152		2.86	18.5	30.1	43.1	50.6	
15		OSB 30-2		70	-	30	532	-	228		2.68	14.6	27.5	39.5	55.3	
16		OS 10-2	OPC외배합 방법	100	-	10*	760	-	186		1676	3.07	33.3	52.5	68.9	77.5
17		OS 20-2		100	-	20*	760	-	372		1490	2.92	37.7	60.8	69.2	88.9
18		T 10-2	OPC	95	-	10**	722	-	131		1769	3.16	26.3	43.8	57.3	56.7
19		T 20-2	내·외 배합 방법	90	-	20**	684	-	262		1676	3.07	29.8	48.0	56.3	63.5
20		T 30-2	85	-	30**	646	-	393	1583		2.96	31.8	51.3	68.1	77.9	

* SB를 Sand 중량의 10%, 20%, 30%, 40%, 50% 혼입

** SB를 시멘트 중량의 5, 10, 15%의 내배합으로, Sand 중량의 5, 10, 15%의 외배합방법으로 혼입

*** W/B는 외배합에서도 결합재부분만의 시멘트와 SB를 Binder로서 산정한다.

[표 2] 시멘트 및 고로슬래그 미분말의 조성

기호	분말도 (cm ² /kg)	비 중	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	lg-Loss	염기도	압축강도(MPa)	
											7日	28日
OPC	3440	3.15	21.74	5.86	3.22	61.06	3.99	2.40	0.78	3.26	280	290
HPC	4400	3.15	19.70	5.90	3.00	62.10	3.00	1.20	1.10	3.60	370	470
SB	4550	2.90	34.69	15.42	0.23	41.98	6.36	0.15	0.04	1.84	-	-

- (6) 외배합 방법의 사용
- (7) 내·외배합 방법의 사용

3. 실험개요

3.1 실험인자 및 배합계획

[표 1]에 시멘트 모르타의 배합표 및 실험결과를 나타낸다. 실험은 2시리즈로 구성하였다. 시리즈 1에서는 JIS R 5201 「시멘트의 물리시험 방법」에 의해 HPC 사용 및 내배합, 외배합의 효과를 검토하였다. 또한 시리즈 2에서는 시리즈 1에서의 실험결과를 기초로 하여 KS L 5105 「수경성 시멘트 모르타의 압축강도 시험방법」에 의해 내·외배합 방법이 SB를 혼입한 시멘트 모르타의 초기 압축강도 발현 성상에 미치는 효과를 검토하였다.

3.2 사용재료 및 실험방법

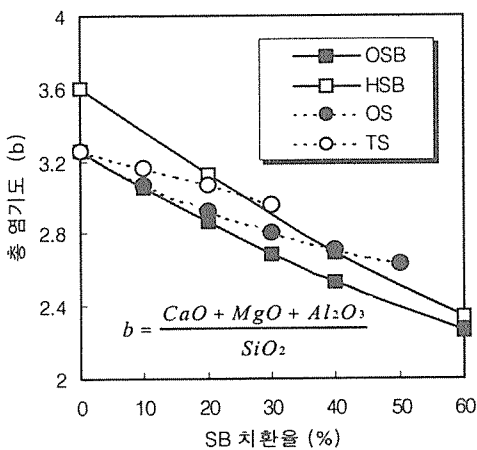
[표 2]에 결합재인 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)와 조강 포틀랜드 시멘트(HPC), 혼화재료인 고로슬래그 미분말(SB)의 화학적 조

성을 나타낸다. 또한, 시멘트 모르타에 사용한 표준사는 주문진사를 사용하였다. 시리즈 1에서는 JIS 방법에 의해 시멘트 모르타의 시험체를 제조하여 시험을 실시하였다. 시리즈 2에서는 KS방법에 의해 시멘트와 표준사를 중량비로 1:2.45의 비율로 배합하고 물결합재비를 48.5%로 하였다. 시멘트 모르타는 결합재와 혼화재료를 충분히 혼합한 후, 기계믹서를 사용하여 믹싱 하였다. 또한, 시험체는 각 재령별로 3개씩 제작하였고 재령 3일, 7일, 14일, 28일에서 표준 양생한 시험체의 압축강도를 만능시험기에 의해 측정했다.

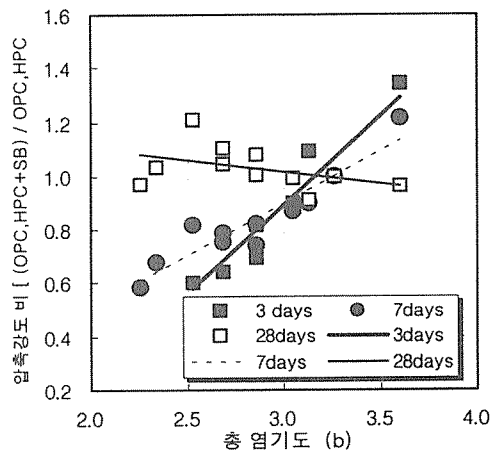
4. 실험결과 및 고찰

4.1 HPC의 치환율과 압축강도 발현 성상

고로슬래그 미분말(SB)의 반응성은 염기도 $[= (CaO + MgO + Al_2O_3) / SiO_2]$ 와 유리질화율(%) $[= (1 - 결정화율) \times 100]$ 이 커지면 증가하는 경향이 있다²⁾. 따라서, 결합재의 염기도를 총 염기도로서 산정하면 [그림 1]와 같이 SB 치환율이 증가함에 따라 총 염기도는 작게



[그림 1] SB 치환율에 따른 총 염기도의 변화



[그림 2] 결합재의 총 염기도와 압축강도와의 관계

된다. 그러나, [그림 2]과 같이 총 염기도가 증가하면 재령 3일 및 7일에서는 결합재의 종류(OPC, HPC)에 관계없이 초기 압축강도비가 증가하나 재령 28일에서의 압축강도비는 거의 변화가 없다.

따라서, 시멘트 모르타의 총 염기도를 증가시키는 것은 SB의 포졸란 반응을 활성화시켜 시멘트 모르타의 초기 압축강도를 증진시키는데 효과적이라고 생각된다.

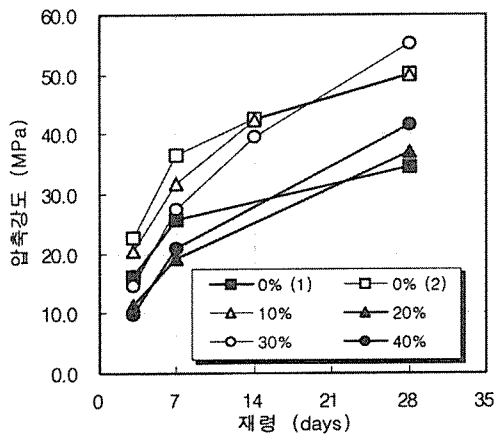
4.2 SB 내배합 방법과 압축강도의 발현

[그림 3]는 내배합 방법의 경우, SB 치환율에 따른 시멘트 모르타의 압축강도 발현성상을 나타낸 것이다. 또한, [그림 4]는 재령에 따른 SB 치환율과 시멘트 모르타의 압축강도와의 관계를 나타낸 것이다. 시리즈 1과 시리즈 2의 시멘트 강도에는 물결합재비와 시험방법 차에 의해 시멘트 강도가 다르게 나타나고 있어 시멘트 압축강도 시험방법에 관한 국제적인 공통시험방법이 요망된다. 한편, OPC 만을 사용한 OPC 100 및 OPC 100-2 시험체의 재령별 압축강도를 1로한 경우, SB 혼입

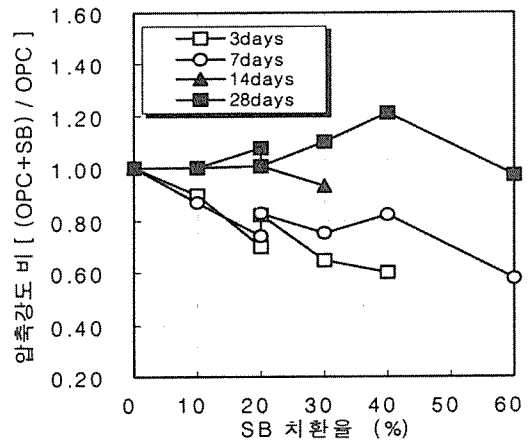
시험체의 압축강도비는 SB 치환율이 증가하면 재령 3일 및 7일의 초기강도에서는 저하 하지만 재령 14일 부터는 SB의 포졸란 반응에 의해 압축강도의 증가가 나타나기 시작하며 재령 28일에서는 SB를 혼입하지 않은 OPC 100 및 OPC 100-2 시험체의 압축강도보다 크게 나타났다.

4.3 SB 외배합 방법과 압축강도의 발현

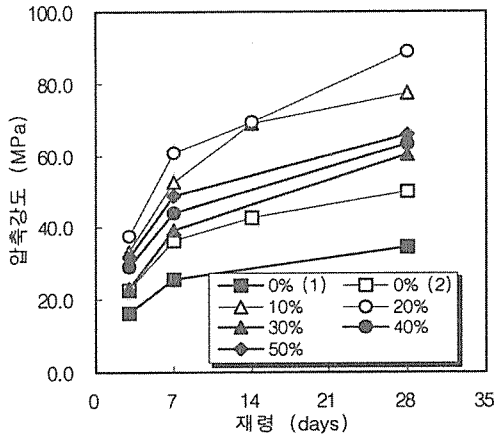
[그림 5]에 SB 외배합의 경우, 압축강도의 발현성상을, [그림 6]에 SB 치환율과 압축강도비와의 관계를 나타낸다. SB 외배합 방법은 SB 내배합방법보다 초기강도 뿐만 아니라 장기강도도 증진시키는데 유효하고, SB 치환율이 증가하면 압축강도비는 크게된다. 따라서, SB 혼입 시멘트 모르타의 초기 압축강도의 증진 면에서는 포졸란 효과를 충분히 기대할 수 있는 외배합 방법이 바람직하다고 생각된다. 그러나, 콘크리트의 강도면에서는 SB 치환율의 증가에 의한 유동성의 저하, 제조원가의 상승 및 경화후의 물성변화등의 파악이 필요하다고 판단된다.



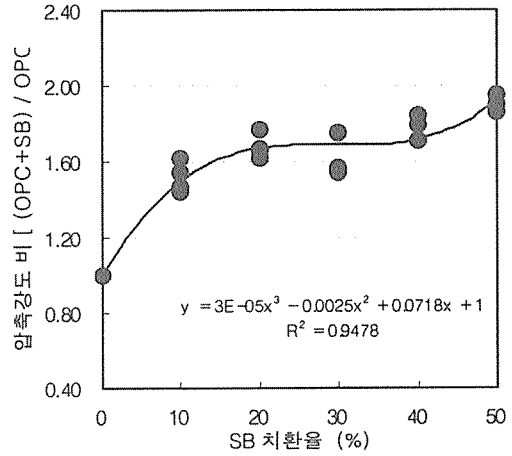
(그림 3) 재령에 따른 압축강도의 발현 (내배합)



(그림 4) SB 치환율과 압축강도비와의 관계(내배합)



(그림 5) 재령에 따른 압축강도의 발현(외배합)

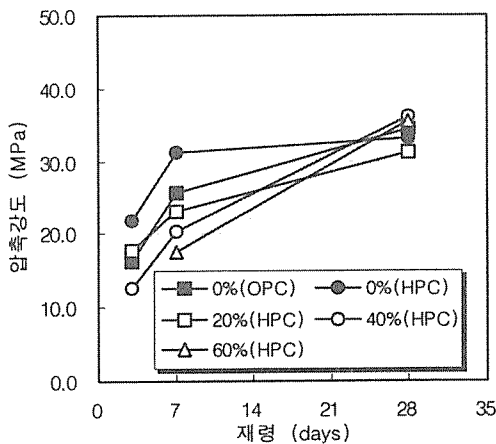


(그림 6) SB 치환율과 압축강도비와의 관계(외배합)

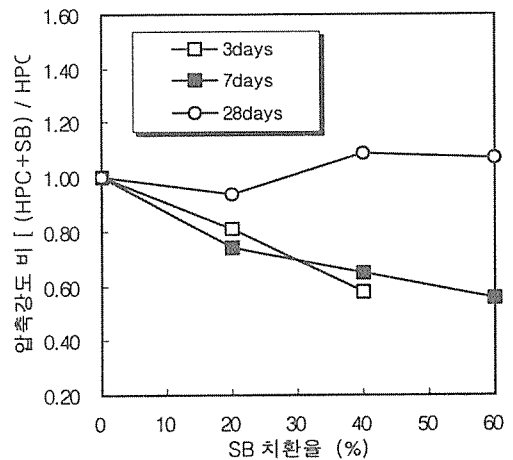
4.4 HPC의 사용과 압축강도의 발현

[그림 7]에 조강 포틀랜드 시멘트(HPC)에 SB를 혼입한 경우의 압축강도 발현성상을 나타낸다. 재령 3일에서의 OPC 100 시험체의 압축강도 발현율은 재령 28일에서 47%, 재령 7일에서 75%를 나타내나 재령 3일에서의 HPC 100 시험체의 압축강도 발현율은 재령 28일의 66%, 재령 7일에서는 94%로

조강성이 있고, SB를 혼입한 시멘트 모르타의 초기 압축강도를 증진시키는데 HPC의 사용은 효과가 있었다. 또한, HPC를 결합재로서 사용한 경우, SB 치환율 20%인 시험체의 재령 3일에서의 압축강도는 OPC 100 시험체의 압축강도보다 크고, 초기재령에 있어서 압축강도 증진에 HPC의 효과가 나타나고 있다. 그러나, 재령 28일에서는 SB 혼입에 의한 압축강도의 증진은 상대적으로 적게 나타났



(그림 7) 재령에 따른 압축강도의 발현(HPC 사용)



(그림 8) SB 치환율과 압축강도비와의 관계(HPC 사용)

다. 한편, [그림 8]와 같이 SB 치환율이 증가하게 되면 초기재령에서의 압축강도비는 저하하나 장기재령에서는 SB의 포졸란 반응에 의해 압축강도비가 OPC만을 사용한 경우와 비슷한 경향을 보이고 있다. 따라서, HPC의 사용은 SB혼입 시멘트 모르터의 초기 압축강도를 증가시키는데 효과가 있는 것이 확인되었다.

4.5 내·외배합 방법과 압축강도의 발현

[그림 9]에 SB를 시멘트 중량의 10%, 20%, 30% 치환하는 경우, SB를 시멘트 내 배합으로 반을 혼입하고, 나머지 반은 모래의 일부 혼입하는 외배합방법으로 혼입한 내·외배합 방법 시험체의 압축강도 발현성상을 나타낸다. OPC만을 사용한 OPC 100-2 시험체와 비교하여 내·외배합을 사용한 시험체의 압축강도는 재령 28일의 장기 압축강도 뿐만 아니라 재령 3일 및 7일의 초기 압축강도도 크게 나타났다. 또한, [그림 10]과 같이 SB 치환율이 증가하게 되면 각 재령의 압축강도비는 증가하고 초기재령에서도 압축강도 저하

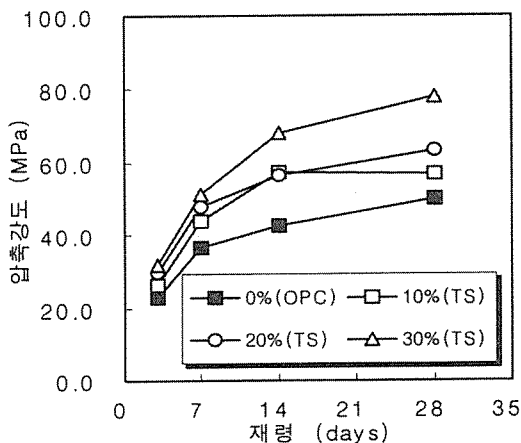
가 없었다. 따라서, SB를 내·외배합 방법은 시멘트 모르터의 초기 압축강도를 증가시키는데 매우 효과가 있다고 판단되며, 초기 강도뿐만 아니라 시멘트의 일부분을 SB로 혼입하는 것으로 경제성 면에서도 효과가 있다고 판단된다.

5. 결론

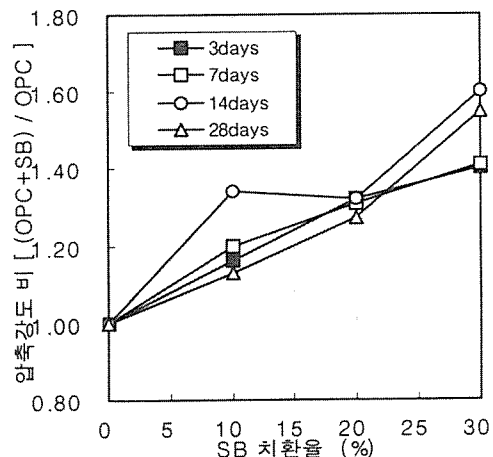
고로슬래그 미분말(SB) 혼입 콘크리트의 초기 압축강도 증진을 위한 기초자료를 얻기 위해, SB를 혼입한 시멘트 모르터를 대상으로 시멘트의 종류, SB의 치환율 및 배합방법이 시멘트 모르터의 초기 압축강도발현에 미치는 영향을 실험적으로 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 시멘트 모르터의 총 염기도를 증가시키는 것은 고로슬래그 미분말(SB)의 포졸란 반응을 활성화시켜 시멘트 모르터의 초기 압축강도를 증진시키는데 효과가 있다.

2) 시멘트량을 일정하게 하고 모래의 일부분을 SB로 치환하는 SB 외배합의 경우, 압축강도는 재령에 관계없이 시멘트만을 사용



[그림 9] 재령에 따른 압축강도의 발현(내·외배합)



[그림 10] SB 치환율과 압축강도비와의 관계 (내·외배합)

한 시험체의 압축강도 보다 크게되고 SB 외 배합 방법은 SB 혼입 시멘트 모르타의 초기 압축강도 증진에 매우 효과가 있는 것을 확인하였다.

3) 재령 초기의 압축강도 발현율이 높은 HPC를 결합재로서 사용한 경우, OPC만을 사용한 경우보다 재령 3일의 초기재령 압축강도는 증가한다. 따라서, HPC의 사용은 SB를 혼화재료로서 사용한 시멘트 모르타의 초기 압축강도를 증진 시키는데 효과가 있다.

4) OPC만을 사용한 시험체와 비교하여 내·외배합 방법을 사용한 시험체의 압축강도는 재령 28일의 압축강도 뿐만아니라 재령3일 및 7일의 초기 압축강도가 크게 나타나, SB 내·외배합 방법은 SB 혼입 시멘트 모르타의 초기 압축강도를 증가시키는데 매우 효과가 있다.

5) 금후, SB를 혼입한 시멘트 모르타의 압축강도 뿐만아니라 Fresh 상태의 유동성, 포졸란 반응의 화학적 정량 분석 및 콘크리트에의 적용에 관한 연구를 진행할 예정이다.

참고 문헌

1. 이한승외 5인, “高爐슬래그 微粉末을 混入한 시멘트 모르타의 初期 壓縮強度 增進에 관한 研究”, 대한 건축학회 학술발표논문집, 제18권 제2호, pp.623-628, 1998.10
2. 依田彰彦, “高爐슬래그 微粉末을 用いた 콘크리트”, 콘크리트 工學, Vol.34, No. 4, pp.72-82, 1996.4
3. 牧角龍憲 外 2人, “高爐슬래그 微粉末을 混入したセメント의 初期強度 增進のための 練り混ぜ 方法에 關する 研究”, 第43回 技術大會講演集, pp 116-119, 1989
4. 김창범외 4인, “시멘트 혼합재 첨가에 따른 콘크리트 내구특성”, 한국 콘크리트학회 1998년도 봄 학술 발표대회, pp.687-692, 1998.5
5. 日本建築學會, “高爐슬래그 微粉末을 用いた 콘크리트의 技術의 現狀”, 日本建築學會, 1992.6
6. シーエムシ, “新· 콘크리트 用 混和材料-高爐슬래그 微粉末”, pp.180-198, 1988.6
7. 日本建築學會, “高爐슬래그 微粉末을 用いた 콘크리트의 技術의 現狀”, 1992