

# 高爐슬래그微粉末 混入 콘크리트의 配合設計 方法에 관한 研究

## Study on the Mixing Design Method of Concrete Using Finely Ground Granulated Furnace Blast Slag

신 성 우<sup>\*</sup>                      이 한 승<sup>\*\*</sup>                      한 검 옥<sup>\*\*\*</sup>  
Shin, Sung Woo              Lee, Han Seung              Han, Geum Wook  
김 정 식<sup>\*\*\*\*</sup>                      박 귀 석<sup>\*\*\*\*\*</sup>                      강 훈<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
Kim, Jung Sik                      Park, Gui Suk                      Kang, Hoon

### ABSTRACT

This study was carried out to investigate quantitatively the relationship between the water binder ratio and the concrete strength using finely ground granulated furnace blast slag to apply f 0.5% type admixture. The experimental parameters are water-binder ratio(40,45,50,55,60%) and slag contents(0,10,20,30%). As a result, it can make that the water-binder ratio of concrete contented slag can be calculated by equation using relationship between compressive strength of concrete and water-binder ratio which is consisted of mixing strength and cement strength K.

### 1. 서 론

최근, 레미콘 업계에서는 콘크리트 구성재료인 시멘트 및 골재 등의 원재료값 상승으로 인하여 그 제조원가가 상승하고 있음에도 불구하고 실제 레미콘 납품 단가는 낮아지고 있어, 콘크리트의 제조원가 절감이 가장 큰 쟁점으로 부각되고 있다. 따라서, 콘크리트의 성능을 동일하게 하고 레미콘 원가 절감을 도모하기 위해서는 시멘트의 일부를 혼화재료(플라이애쉬, 고로슬래그 미분말 등)로 대체하는 방법, 부순모래의 사용, 감수성이 높은 혼화제를 사용함으로써 단위시멘트량을 낮추는 방법을 생각할 수 있으나 가장 경제성 효과가 크고 콘크리트의 품질 안정성을 기할수 있는 혼화재료의 적극적인 사용이 가장 바람직하다고 생각된다. 특히, 고로슬래그 미분말은 잠재 수경성을 갖고 있어 수화발열저감, 높은 화학저항성, 장기강도 증대, 내구성 향상 등의 이점을 발휘하는 것으로 알려져 있으며, 필자들도 일련의 연구를 통하여 이를 확인하고 있으며, 레미콘 공장에서 실용화 연구를 진행하고 있다.

본 연구는 실험실레벨에서 0.5% Type의 고성능 감수제를 사용하여 소요 슬럼프를 확보하면서 제조한 SB 혼입 콘크리트를 대상으로, SB 지환율, 물시멘트비가 콘크리트의 역학적 성능에 미치는 영향을 검토하여 SB 혼입 콘크리트의 배합설계시 필요한 물시멘트비와 압축강도와의 관계를 파악함으로써 고로 슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 레미콘 공장 적용을 위한 기초자료를 얻기 위하여 실시하였다.

- \*        정회원 한양대학교 공학대학 건축공학과 교수
- \*\*      정회원, 한양대학교 초대형 구조물 시스템 연구 센터 연구 조교수
- \*\*\*    정회원, 한양대학교 대학원 건축공학과 석사과정
- \*\*\*\*    정회원, 고려산업개발 주식회사 기술연구부 과장
- \*\*\*\*\* 정회원, 고려산업개발 주식회사 기술연구부 대리
- \*\*\*\*\* 정회원, 고려산업개발 주식회사 기술연구부 차장

## 2. 실험

### 2.1 실험개요

콘크리트 배합설계는 일반적으로 설계기준강도( $F_C$ )에 따라 배합강도( $F_{28}$ )를 산정하고, 배합강도를 보증하기 위한 물시멘트비를 산정하는 역학적 관점에서의 설계와 단위수량과 세골재율의 산정에 의한 워커빌리티 확보 관점에서의 설계로 이루어진다. 실험에서는 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트의 배합설계시 필요한 콘크리트의 압축강도와 물시멘트비와의 관계를 도출하기 위하여, 고로슬래그 미분말의 치환율과 물시멘트비가 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향을 검토하였다. 표 1에 콘크리트 배합표 및 물성실험 결과를 나타낸다.

표 1 콘크리트 배합표 및 물성 실험 결과

NO	치환율 (%)		$\frac{W}{(C+SB)}$ (%)	s/a (%)	결합재량	W	OPC	SB	S	G	A.D	Slump (cm)	Air (%)	$\sigma_3$	$\sigma_7$	$\sigma_{28}$	$\sigma_{38}$	$E_{38} \times 10^5$	$\sigma_{36}$														
	OPC	SB																		(kg/m <sup>3</sup> )							(kg/m <sup>3</sup> )						
1	100	0	40	47.2	287	172	287	0	877	996	1.44	15.5	6.0	264	412	497	564	3.6	571														
2			45	46.2	318	175	318	0	843	997	1.59	15.0	6.5	206	344	433	491	5.4	499														
3			50	45.2	352	176	352	0	811	993	1.76	15.5	5.7	169	297	397	460	3.3	466														
4			55	44.2	402	181	402	0	769	985	2.01	15.0	5.0	123	243	379	392	3.2	397														
5			60	43.2	468	187	468	0	721	862	2.24	15.0	4.5	98	190	255	338	3.2	350														
6	90	10	40	47.2	287	172	258	29	877	996	1.44	14.0	6.2	237	389	540	612	3.7	621														
7			45	46.2	318	175	286	32	843	997	1.59	16.5	6.0	188	318	465	527	3.7	538														
8			50	45.2	352	176	317	35	611	998	1.76	14.0	5.0	147	269	433	504	3.5	508														
9			55	44.2	402	181	362	40	769	985	2.01	14.0	5.1	102	204	335	344	2.4	352														
10			60	43.2	468	187	421	47	721	962	2.34	14.5	3.9	69	163	252	269	2.9	272														
11	80	20	40	47.2	287	172	230	57	877	998	1.44	15.5	6.0	208	332	522	573	3.7	582														
12			45	46.2	318	175	245	64	643	997	1.69	15.5	5.7	170	288	463	508	3.6	522														
13			50	45.2	352	176	282	70	811	998	1.76	15.0	4.8	115	223	390	428	3.2	439														
14			55	44.2	402	181	322	80	769	985	2.01	15.5	4.4	90	191	372	389	3.3	403														
15			60	43.2	468	187	374	94	721	962	2.34	15.5	3.6	80	160	316	331	2.9	337														
16	70	30	40	47.2	287	172	201	86	877	995	1.44	16.5	6.0	176	299	490	530	3.7	573														
17			45	46.2	318	175	223	95	843	997	1.59	13.5	5.2	91	244	434	502	3.4	514														
18			50	45.2	352	176	246	106	311	998	1.76	15.5	4.9	102	204	408	415	3.5	441														
19			55	44.2	402	181	281	121	769	985	2.01	16.0	4.2	87	171	393	415	3.5	415														
20			60	43.2	468	187	328	140	721	962	2.34	16.5	3.6	67	135	321	340	3.0	360														

## 2.2 사용재료

표 2에 시멘트 및 고로슬래그 미분말의 물성을 나타낸다. 조골재는 25mm의 쇄석을 사용하였고, 세골재는 100% 세척사(해사)를 사용하였다. 혼화제는 AE 감수제 Type으로 사용량이 0.5%로서 감수효과가 높은 혼화제를 사용하였으며, 표 3에 각각의 물성을 나타낸다.

표 2 시멘트 및 고로슬래그 미분말의 물성

종 류	기 호	분말도	비 중	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>	lg-Loss	압축강도	
											7일	28일
보통 포틀랜드 시멘트	OPC	3440	3.15	21.74	5.86	3.22	61.06	3.99	2.40	0.78	280	398
고로 슬래그 미분말	SB	4550	2.90	34.69	15.42	0.23	41.98	6.36	0.15	0.04	-	-

표 3 세골재 및 조골재의 물성

종 류	최대크기 (mm)	비 중	조 립 율	흡 수 율 (%)	단위용적질량 (질건, kg/m <sup>3</sup> )
세 골 재(세척사)	-	2.61	2.80	0.89	1623
조 골 재(쇄 석)	25	2.63	6.55	0.78	1,542

## 2.3. 실험방법 및 측정항목

콘크리트의 비빔은 모래, 시멘트, 고로슬래그 미분말을 투입한 후 건비빔을 실시하고나서 조골재 및 물을 투입하여 실시 하였다. 또한, 콘크리트 경화전에는 슬럼프 및 공기량을 측정하였고 JIS A 1132에 따라 압축강도 공시체를 제작한 후 재령 3일, 7일, 28일, 56일에서 표준양생한 공시체의 압축강도 및 탄성계수를 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 SB 혼입 콘크리트의 압축강도 발현 성상

그림 2는 콘크리트의 응력도-변형도 관계이다. 물시멘트비가 작을수록 최대강도 및 탄성계수는 증

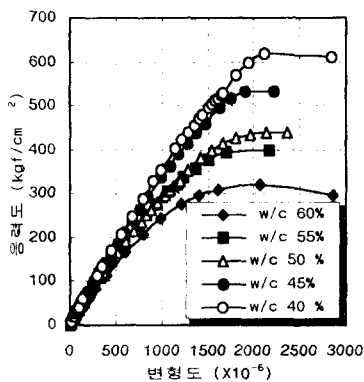


그림 2 응력도-변형도곡선

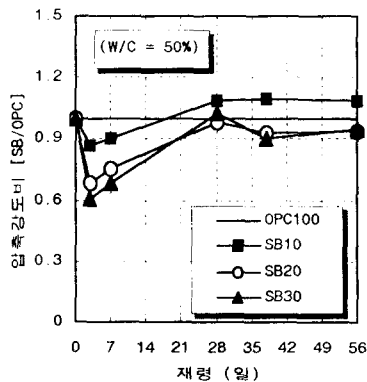


그림 3 재령에 따른 강도발현비

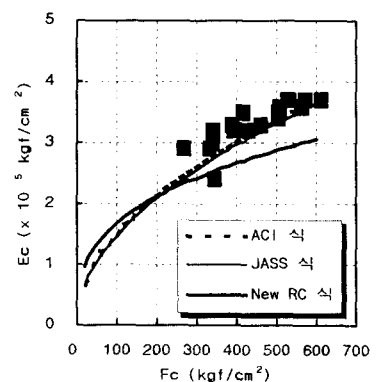


그림 4 압축강도와 탄성계수

가 하였다. 또한, 그림 3은 보통포틀랜드 시멘트만을 사용한 OPC 100의 재령별 압축강도를 1로 했을 때 SB를 혼입한 콘크리트의 압축강도비를 나타낸 것이다. 초기재령인 3일 및 7일에서는 압축강도비가 0.6~0.9로서 SB혼입에 의해 압축강도가 저하하나 28일 이후에서는 SB의 포졸란 반응으로 압축강도비가 증가하는 것을 알 수 있다. 그림 3은 압축강도와 탄성계수와와의 관계를 기존의 산정식과 비교하여 나타낸 것으로 SB를 혼입한 콘크리트도 일반 콘크리트와 동일하게 기존의 산정식을 이용하여 압축강도로부터 탄성계수를 산정하는 것이 가능함을 알 수 있다.

### 3.2 물시멘트비와 압축강도와의 관계

그림 4와 그림 5는 고로슬래그 미분말의 치환율별로 재령7일 및 28일에서 물시멘트비와 압축강도와의 관계를 나타낸 것이다. 물시멘트비가 클수록 콘크리트의 압축강도는 비례적으로 저하하는 것을 알 수 있으며, 재령7일에서는 SB 혼입율이 클수록 콘크리트의 압축강도는 작게 나타났으나, 재령 28일에서는 SB 치환율에 따른 콘크리트의 압축강도차는 적어지고 SB의 포졸란 반응효과가 나타남을 알 수 있다.

### 3.3 고로슬래그 미분말의 치환율과 압축강도와의 관계

그림 6 및 그림 7은 물시멘트비별로 재령7일 및 28일에서 SB 치환율과 압축강도와의 관계를 나타낸 것이다. 아직 포졸란 반응이 일어나지 않은 초기재령7일에서는 SB 치환율이 클수록 압축강도는 비례적으로 저하하는 경향을 나타내고 있다. 그러나, 재령28일에는 OPC만을 사용한 콘크리트와 비교하여 SB 치환율이 클수록 압축강도는 증가하고 있다. 따라서, SB를 혼입한 콘크리트의 강도발현 성상은 OPC만을 사용한 콘크리트와는 달리 그 치환율 및 재령에 따라 상이하므로 콘크리트의 강도관리재령을 명확히하여 콘크리트의 배합설계를 실시 할 필요가 있고, 장기재령에 있어 SB 치환율을 변수로 하는 콘크리트의 압축강도 추정식을 작성할 필요가 있다.

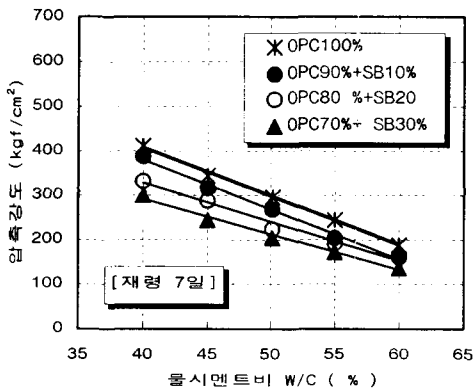


그림 4 물시멘트비 - 압축강도 (재령 7일)

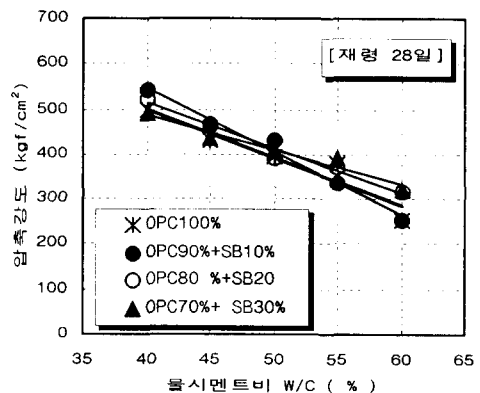


그림 5 물시멘트비 - 압축강도 (재령 28일)

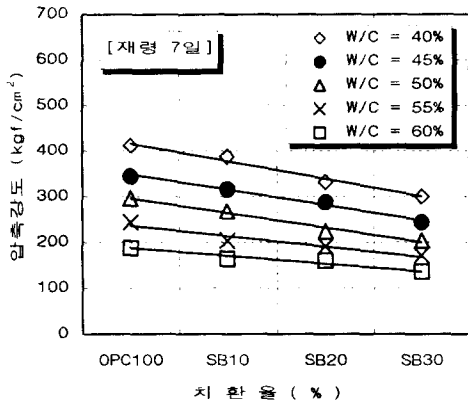


그림 5 치환율 - 압축강도 (재령 7일)

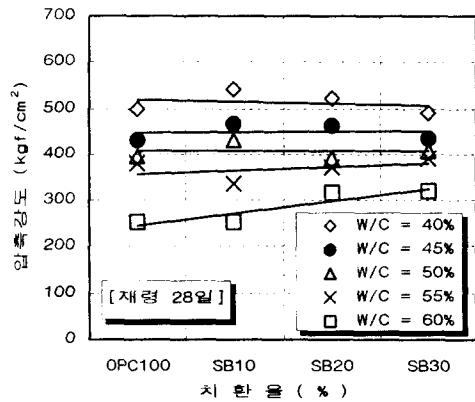


그림 6 치환율 - 압축강도 (재령 28일)

### 3.4 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 물시멘트비 산정식

표 4 및 그림 7은 시멘트강도 K 및 배합강도  $F_{28}$ 로부터 콘크리트의 물결합재비를 산정하는 방법을 나타내고 있다. SB를 중량비로 0%, 10%, 20%, 30%로 치환한 시멘트 모르타르로 시험으로부터 시멘트강도 K를 산출하고, 물결합재비 별로 SB 치환율이 동일한 콘크리트의 28일 압축강도  $F_{28}$ 를 산정한다. 결합재물비인  $(C+SB)/W$ 와  $F_{28}/K$ 와의 관계를 이용하여 직선 회귀분선을 실시한 결과 일차관계식을 이용하여 SB 치환율 별로 콘크리트의 배합강도와 물결합재비와의 관계식을 산출 할 수 있다.

표 4 시멘트강도 K 및 배합강도  $F_{28}$ 을 이용한 콘크리트의 물시멘트비 산정식

W/(C+SB)	(C+SB)/W	고로슬래그 치환율 (%)	시멘트강도 K	콘크리트강도 $F_{28}$	$F_{28}/K$
40%	2.50	0	415	497	1.198
		10	436	540	1.239
		20	434	522	1.203
		30	458	490	1.069
45%	2.22	0	415	433	1.044
		10	436	465	1.067
		20	434	463	1.067
		30	458	434	0.948
50%	2.00	0	415	397	0.957
		10	436	433	0.993
		20	434	390	0.899
		30	458	408	0.891
55%	1.82	0	415	379	0.913
		10	436	335	0.768
		20	434	372	0.857
		30	458	393	0.858
60%	1.67	0	415	255	0.694
		10	436	252	0.578
		20	434	316	0.728
		30	458	321	0.801

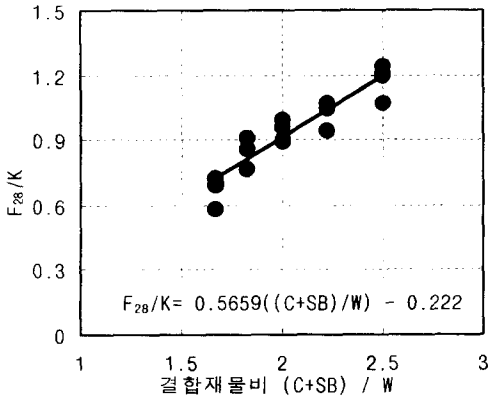


그림 7 결합재물비와  $F_{28}/K$ 와의 관계

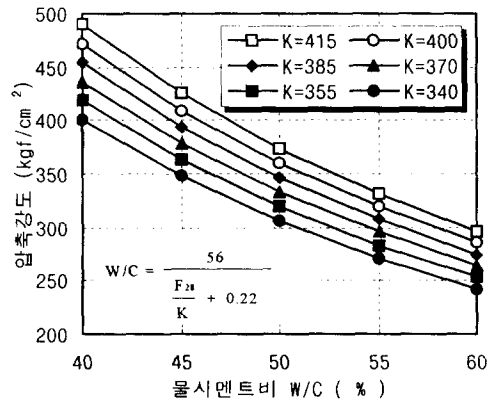


그림 8 SB 혼입 콘크리트의 물시멘트비와 압축강도 관계

또한, 그림 8은 SB혼입 콘크리트의 물시멘트비와 압축강도와의 관계를 시멘트 강도 K별로 나타낸 것으로서 SB 혼입 콘크리트의 배합설계시 필요한 물시멘트비는 시멘트 강도 K를 산정 한다면 배합강도 별로 산정할 수 있다.

## 5. 결 론

실험실 레벨에서 0.5% Type의 고성능 감수제를 사용하여 소요 슬럼프를 확보하면서 제조한 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 SB 치환율 및 물시멘트비가 콘크리트의 역학적 성능에 미치는 영향을 검토한 결과, 고로슬래그 미분말의 치환율 및 물시멘트비를 변수로 하는 SB 혼입 콘크리트의 압축강도와 SB를 혼입한 시멘트 모르타르의 K강도를 이용하여 고로슬래그 미분말을 혼입 콘크리트의 물시멘트비 산정식을 정량적으로 도출할 수 있었다. 또한, SB 혼입 콘크리트의 배합설계시 소요 배합강도를 얻기위한 물시멘트비는 SB를 치환한 시멘트 K강도를 산정하는 것의에 의해 구할 수 있다.

## 감사의 글

본 논문은 한양대학교와 고려산업개발 주식회사가 수행하고 있는 공동연구의 일부분이며, 한양대학교 STRESS의 지원에 의해 수행된 것으로 관계자 여러분께 깊은 감사의 말씀을 올립니다.

## 참고문헌

1. 日本建築學會, “高爐セメント使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説”, 日本建築學會, 1990.1
2. 日本土木學會, “高爐スラグ微粉末用いたコンクリートの設計施工指針”, 콘크리트 라이브러리 第63號, 1988.1
3. 日本建築學會, “高爐スラグ微粉末を用いたコンクリートの技術の現状”, 日本建築學會, 1992.6
4. 김창범 외 4인, “시멘트 혼합재 첨가에 따른 콘크리트 내구특성”, 한국 콘크리트학회 1998년도 봄 학술 발표대회, pp.687-692, 1998.5
5. 依田彰彦, “高爐スラグ微粉末を用いたコンクリート”, 콘크리트工学, Vol.34, No. 4, pp.72-82, 1996.4
6. シーエムシ, “新・コンクリート用混和材料-高爐スラグ微粉末”, pp.180-198, 1988.6