

고로슬래그콘크리트의 초기강도 증진에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Development of Early Strength in Concrete using Blast Furnace Slag Powder

박 유 신* 조 재 우** 김 영 근*** 김 대 영****
Park, Yoo Shin Cho, Jae Woo Kim, Young-Geun Kim, Dae Young

ABSTRACT

Blast Furnace Slag Powder is potential hydration material, then that is well known to evidently inferior early strength, in fact because of feeble solidify.

So this experience is that Blast Furnace Slag Powder as 4000, 6000, 8000cm²/g of blain as 15, 35% of replacement ratio, SO₃ is mixed as 0.5, 1.0% of binder ratio for intention to increase of strength.

1. 서 론

최근 다양한 건축물의 축조에 발맞추어 고기능성의 콘크리트의 개발이 급속히 진전되어가고 있으며, 이에 따라 고로슬래그, 플라이애쉬, 실리카흙 등과 같은 콘크리트용 혼화재료의 사용이 일반화되어가고 있는 추세이다. 이 중 고로슬래그가 장기강도, 수밀성, 화학저항성 등의 성능향상이 가능한 재료로 알려지면서 많은 활용성이 검토되어지고 있는 재료이다. 그러나 고로슬래그는 잠재수경성을 갖고 있어 그 자체로는 경화성이 미약하기 때문에 초기의 수화반응 발현율이 포틀랜드시멘트에 비해 현저히 떨어진다고 보고되어지고 있다. 따라서 현장에서 적용하기에 거푸집 제거시기 및 시공공정 시기의 조절 등에서 초기강도가 문제시 되고 있어서 조강성(早強性) 확보가 무엇보다도 중요한 과제이다.

따라서 본 연구에서는 콘크리트에 고로슬래그미분말을 사용함에 있어 초기강도의 증진성을 증대하기 위해 자극제의 역할을 한다고 알려진 석고를 일정비율 첨가하여 고로슬래그콘크리트의 단점으로 알려진 초기강도 증진성을 향상시키는 것을 목적으로 하고 있다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험 계획

고로슬래그미분말을 사용한 콘크리트의 초기강도를 증진시키기 위해 실시된 본 실험에서는 표 1. 및 표 2.의 실험인자 및 수준으로 실험을 실시하였다.

* 정회원, 한국건자재시험연구원 주임연구원
** 한국건자재시험연구원, 공학박사
*** 정회원, 한국건자재시험연구원 수석연구원, 공학박사
**** 포항산업과학연구원 연구원

표 1. 실험 인자 및 수준

요 인	인 자	수 준
물분체비 (%)	50	1
단위수량 (kg/m ³)	175 185	2
잔골재율 (%)	45	1
결합재 분말도 (cm ² /g)	(OPC) 4000 6000 8000	3(1)
슬래그 치환율 (%)	(0) 15 35	2(1)
석 고 첨가율 (%)	0 0.5 1.0	3
실험 배합	-	36(6)

2.2 사용 재료

본 실험에서 사용된 시멘트는 KS L 5201의 규정에 적합한 Major 3사의 1종 보통포틀랜드 시멘트를 각각 동일량 혼합하여 사용하였으며, 그 물리적 성질은 표 3.과 같다.

표 2. 고유동콘크리트 배합설계

공시체 번호	B (kg/m ³)	W/B (%)	S/a (%)	W (kg/m ³)	분말도 (cm ² /g)	치환율 (%)	석고첨가 (%)	용적배합 (ℓ/m ³)					
								C	Sg	W	S	A	
I-OPC-0 I-OPC-0.5 I-OPC-1	350	50	45	175	OPC	0	0	111	0	175	303	371	
								0.5	111	0	175	303	371
								1	111	0	175	303	371
I-4-15-0 I-4-15-0.5 I-4-15-1 I-4-35-0 I-4-35-0.5 I-4-35-1	350	50	45	175	4000	15	0	94	18	175	303	370	
								0.5	94	18	175	303	370
								1	94	18	175	303	370
								0	72	42	175	302	370
								0.5	72	42	175	302	370
								1	72	42	175	302	370
I-6-15-0 I-6-15-0.5 I-6-15-1 I-6-35-0 I-6-35-0.5 I-6-35-1	350	50	45	175	6000	15	0	94	18	175	303	370	
								0.5	94	18	175	303	370
								1	94	18	175	303	370
								0	72	42	175	302	370
								0.5	72	42	175	302	370
								1	72	42	175	302	370
I-8-15-0 I-8-15-0.5 I-8-15-1 I-8-35-0 I-8-35-0.5 I-8-35-1	370	50	45	185	8000	15	0	94	18	175	303	370	
								0.5	94	18	175	303	370
								1	94	18	175	303	370
								0	72	42	175	302	370
								0.5	72	42	175	302	370
								1	72	42	175	302	370
II-OPC-0 II-OPC-0.5 II-OPC-1 II-4-15-0 II-4-15-0.5 II-4-15-1	370	50	45	185	OPC	0	0	117	0	185	296	362	
								0.5	117	0	185	296	362
								1	117	0	185	296	362
								0	100	19	185	295	361
								0.5	100	19	185	295	361
								1	100	19	185	295	361
II-4-35-0 II-4-35-0.5 II-4-35-1 II-6-15-0 II-6-15-0.5 II-6-15-1	370	50	45	185	4000	15	0	100	19	185	295	361	
								0.5	76	44	185	294	360
								1	76	44	185	294	360
								0	76	44	185	294	360
								0.5	76	44	185	294	360
								1	76	44	185	294	360
II-6-35-0 II-6-35-0.5 II-6-35-1 II-8-15-0 II-8-15-0.5 II-8-15-1	370	50	45	185	6000	15	0	100	19	185	295	361	
								0.5	100	19	185	295	361
								1	100	19	185	295	361
								0	76	45	185	294	360
								0.5	76	45	185	294	360
								1	76	45	185	294	360
II-8-35-0 II-8-35-0.5 II-8-35-1	370	50	45	185	8000	15	0	100	19	185	295	361	
								0.5	100	19	185	295	361
								1	100	19	185	295	361
								0	76	45	185	294	360
								0.5	76	45	185	294	360
								1	76	45	185	294	360

표 3. 사용 시멘트의 물리적 성질

비 중	KS 수화열		표준주도 W/C(%)	응 결		안정도 (%)
	7일 수화열	28일 수화열		초 결 (min)	종 결 (hr:min)	
3.15	80.3	96.4	26.4	235	6 : 45	0.58

그림 1.은 고로슬래그미분말에 무수석고의 첨가량 변화에 따른 수화열 측정 결과를 나타낸 것으로 무수석고량이 높을수록 초기 수화발열량이 큰 것을 알 수 있었다.

그림 1. 석고의 첨가량에 따른 수화열 측정 결과

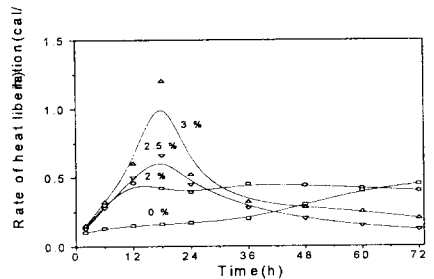


표 4. 사용 고로슬래그미분말의 특성

화 학 성 분 (%)							물 리 적 성 질	
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	I.g loss	Blain(cm ² /g)	비중
34.81	16.19	0.47	41.25	8.05	0.16	-0.85	4,000	2.92
							6,000	2.91
							8,000	2.92

표 5. 사용 골재의 물리적 성질

골 재	단위용적중량 (t/m ³)	비 중	흡수율 (%)	조립률 (F.M.)	염화물 (%)	안정성 (%)
부순돌	1.550	2.68	0.67	6.78	-	3.8
세척사	1.715	2.58	1.12	2.99	0.01	3.7

3. 실험결과 및 분석

고로슬래그미분말의 초기강도 증진을 위하여 천연무수석고를 분체비 0.5, 1.0%로 혼입하여 콘크리트의 강도 특성을 고찰한 결과, 표 6.과 같은 결과를 얻었으며, 이에 대한 분석은 다음과 같다

3.1 슬럼프 시험

단위수량 175kg/m³의 배합에서는 슬럼프값의 범위가 14.5~19.5cm로서 천연 무수석고의 첨가 유무와는 그리 큰 슬럼프값 변화가 없는 것으로 나타났으나, 일반 OPC의 슬럼프값인 14.5, 15.0cm에 비해 고로슬래그미분말을 첨가한 경우 슬럼프값이 16.0~19.5cm로 약 7~34%의 슬럼프값 증진효과를 보였다. 단위수량 185kg/m³의 슬럼프값의 범위는 19.0~21.0cm로 나타났다.

3.2 압축강도 시험

본 실험에서의 압축 강도의 범위는 3일 강도 135~190kgf/cm², 7일 강도 155~224kgf/cm², 28일 강도 232~304kgf/cm²의 범위를 보이고 있었다.

고로슬래그미분말을 사용한 콘크리트의 초기강도 증진을 위한 본 실험에서 물분체비 50%의 압축강도의 범위는 단위수량 175kg/m³의 경우, 3일에서 108~175kgf/cm², 7일에서는 144~213kgf/cm²을 보였으며 28일 강도는 226~287kgf/cm²의 범위였다.

표 6. 실험 결과표

공시체 번호	단 분 체 량 (kg/m ³)	분말도 (cm ² /g)	슬래그 혼입율 (%)	석 고 혼입율 (%)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	단위용적중량 (t/m ³)	압축강도(kgf/cm ²)					
								3일	7일	28일			
I-OPC-0 I-OPC-0.5 I-OPC-1 I-4-15-0 I-4-15-1 I-4-35-0 I-4-35-1 I-6-15-0 I-6-15-1 I-6-35-0 I-6-35-1 I-8-15-0 I-8-15-1 I-8-35-0 I-8-35-1	350	OPC	0	0	15.0	4.3	2.36	172	202	286			
					0.5	15.0	4.5	2.36	167	189	273		
					1	14.5	4.2	2.35	142	188	246		
			4000	15	0	0	16.5	5.0	2.36	155	175	245	
							0.5	17.0	5.8	2.34	153	179	252
							1	18.0	6.2	2.36	161	180	257
		35		0	0	0	19.5	5.3	2.33	120	156	233	
							0.5	19.0	5.5	2.33	126	159	232
							1	19.0	6.5	2.32	125	155	239
			6000	15	0	0	17.0	6.5	2.37	156	209	258	
							0.5	17.5	6.2	2.36	163	214	260
							1	18.0	6.6	2.36	165	205	264
	35	0		0	0	17.5	4.9	2.35	140	195	240		
						0.5	17.5	5.7	2.34	145	200	254	
						1	17.0	5.4	2.35	150	198	256	
		8000	15	0	0	18.0	6.4	2.32	158	193	277		
						0.5	17.0	5.8	2.34	165	201	281	
						1	18.0	5.3	2.33	175	213	275	
	35		0	0	0	18.5	6.6	2.30	148	179	259		
						0.5	18.0	6.1	2.33	145	180	267	
						1	18.5	6.7	2.30	169	187	275	
		II-OPC-0 II-OPC-0.5 II-OPC-1 II-4-15-0 II-4-15-1 II-4-35-0 II-4-35-1 II-6-15-0 II-6-15-1 II-6-35-0 II-6-35-1 II-8-15-0 II-8-15-1 II-8-35-0 II-8-35-1	370	OPC	0	0	19.0	5.2	2.36	190	224	290	
							0.5	19.5	5.5	2.37	183	217	287
							1	19.0	4.8	2.35	186	214	292
4000	15				0	0	19.0	5.5	2.36	154	188	284	
							0.5	19.0	5.3	2.34	158	197	283
							1	19.5	5.2	2.36	160	184	288
	35			0	0	0	20.0	6.1	2.34	137	166	266	
							0.5	19.0	5.5	2.35	146	175	270
							1	19.0	5.9	2.35	135	176	276
6000				15	0	0	20.0	4.6	2.32	162	188	279	
							0.5	19.5	5.9	2.35	165	195	288
							1	20.5	6.8	2.33	161	208	294
	35		0	0	0	21.0	6.3	2.31	141	181	284		
						0.5	20.0	5.2	2.33	140	197	288	
						1	19.0	4.9	2.31	141	203	279	
8000			15	0	0	20.5	6.2	2.30	151	206	288		
						0.5	20.0	5.7	2.31	155	218	292	
						1	20.5	6.8	2.28	158	216	299	
	35		0	0	0	20.0	5.9	2.31	148	206	284		
						0.5	21.0	6.7	2.30	144	213	297	
						1	20.5	7.0	2.29	147	204	304	

4. 결 론

고로슬래그미분말을 사용하고, 초기강도 증진을 위해 알칼리 자극제인 천연무수석고를 혼입하여 제조한 콘크리트의 역학적 특성을 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 단위수량 $175\text{kg}/\text{m}^3$ 의 배합에서는 슬럼프값의 범위가 $14.5\sim 19.5\text{cm}$ 로서 천연 무수석고의 첨가 유무와는 그리 큰 슬럼프값 변화가 없는 것으로 나타났으나, 일반 OPC에 비해 고로슬래그미분말을 첨가한 경우 약 7~34%의 슬럼프값 증진효과를 보였다. 단위수량 $185\text{kg}/\text{m}^3$ 의 슬럼프값의 범위는 $19.0\sim 21.5\text{cm}$ 로 나타났다.

(2) 압축강도의 범위는 단위수량 $175\text{kg}/\text{m}^3$ 의 경우, 3일에서 $108\sim 175\text{kgf}/\text{cm}^2$, 7일에서는 $144\sim 213\text{kgf}/\text{cm}^2$ 을 보였으며 28일 강도는 $226\sim 287\text{kgf}/\text{cm}^2$ 의 범위였다. 실험 결과 석고를 0.5, 1%씩 혼입한 배합이 베이스콘크리트 배합에 대해서 3, 7, 28일 강도 공히 약 1~5% 정도의 강도증진 효과가 있는 것으로 나타났다. 고로슬래그미분말의 분말도가 $4000, 6000, 8000\text{cm}^2/\text{g}$ 으로 증가함에 따라 약 10%씩 강도값의 증진효과를 나타내고 있었으며, 분말도 $8000\text{cm}^2/\text{g}$ 의 경우에는 일반 베이스콘크리트와 비슷한 강도값을 보이고 있음을 알 수 있었다.

단위수량 $185\text{kg}/\text{m}^3$ 의 경우에는, 3일에서 $114\sim 190\text{kgf}/\text{cm}^2$, 7일에서는 $150\sim 224\text{kgf}/\text{cm}^2$ 을 보였으며 28일 강도는 $245\sim 304\text{kgf}/\text{cm}^2$ 의 범위를 보였으며, 단위수량 $175\text{kg}/\text{m}^3$ 에 비해 약 3~7% 가량 강도가 높은 것으로 나타났다.

(3) 고로슬래그미분말의 치환율을 시멘트중량비에 15, 35%씩 변화시켜 가면서 실험을 실시한 경우에 압축강도의 결과값은 고로슬래그미분말의 치환율이 증가함에 따라 15%를 기준으로 약 20~40%의 강도 감소를 보여 치환율이 15%를 넘어서는 배합에서는 기준강도를 기대하기 어려울 것으로 판단되었다.

이상의 결과에서 고로슬래그미분말을 사용할 경우 현장적용시의 공기지연 및 거푸집 제거시기에 대한 불확실성 등의 문제로 초기강도의 증진방안은 계속 검토되어야 하리라 판단되어지며, 본 실험에서 알칼리 자극제로 선정하였던 천연무수석고 이외의 알칼리 자극제를 사용한 실험을 연계하여 고로슬래그미분말이 콘크리트 분야에서 활용성을 극대화시키기 위한 노력이 계속되어야 할 것이다.

〈 참 고 문 헌 〉

1. 대한건축학회(편), 고로슬래그시멘트를 사용한 콘크리트의 표준시방서(안), 대한건축학회, 1995. 12.
2. 대한토목학회(편), 고로슬래그 시멘트 및 고로슬래그미분말을 사용한 콘크리트의 설계·시공지침(안), 대한토목학회, 1995. 8.
3. 前田悦孝, 高爐水碎スラグの化學成分が高爐セメントの強さに及ぼす影響, セメント・コンクリート論文集, No. 44, 1990.
4. 日本建築學會(編), 高爐セメントを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, 1989.
5. 日本建築學會(編), 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. 日本土木學會(編), 高爐スラグ骨材コンクリート施工指針, 日本土木學會, 1993.
7. 日本建築學會(編), 高爐スラグ微粉末を使用するコンクリートの調合設計・施工指針(案)・同解説, 日本建築學會, 1996.
8. 日本土木學會(編), 高爐スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針, 日本土木學會, 1997.