

고로슬래그미분말을 이용한 고유동콘크리트의 유동성에 관한 연구

A Study on the Properties of the High Flowing Concrete using Blast Furnace Slag Powder

박 유 신* 이 문 한 ** 김 승 진* 김 명 환***
Park, Yoo Shin Lee, Mun Han Kim, Seung Jin Kim, Myung Hwan

ABSTRACT

Application of Blast Furnace Slag Powder in concrete as brisk in the world, and study in it is progressing in korea at most recent.

When use Blast Furnace Slag Powder to concrete, there are profits that is minigation of hydration heat, increase late strength, increase of chemical resistancy, and superior effect on mobility because of powder single phase is over $4000\text{cm}^2/\text{g}$ blain is known to experience.

1. 서 론

건설환경의 급격한 변화와 건설시장의 개방에 따른 국내 건설분야의 경쟁력 및 기술력 강화의 필요성과 대형 부실공사의 발생 및 건설산업의 인력부족 현상 등으로 인하여 콘크리트 분야에서도 고품질·고성능·고기능성의 콘크리트가 요구되어지고 있으며, 이에 따라 품질 및 성능의 개선에 따른 콘크리트 구조물의 신뢰성 향상, 시공의 합리화, 시공환경의 변화 등에 대처하기 위한 방안의 일환으로 시공연도, 충전성 및 간극 통과성을 우수하게 개선시킨 고유동콘크리트의 시공이 요구되어지고 있는 시점이다.

일반적으로 고로슬래그미분말은 비표면적이 $4000\text{cm}^2/\text{g}$ 이상의 분말도가 높은 미분의 재료로서 잠재수경성을 갖고 있고, 그 자체의 경화성질은 미약하지만 포틀랜드시멘트와 혼합할 경우 수산화칼슘이나 황산염의 작용에 의해 경화가 촉진되어 포틀랜드시멘트 단미에서 얻을 수 없는 수화발열량의 저감, 수밀성 증대, 장기강도 증진, 화학저항성의 증대 등의 효과를 얻을 수 있으며, 또한 분말도를 크게 할수록 재료분리가 적어지고 유동성이 증진된다고 보고되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 광양제철소에서 부산물로 제조되는 고로슬래그미분말을 이용하여 유동화콘크리트에 대한 실험과 이에 대한 기존 콘크리트와의 결과 분석을 통해 고로슬래그미분말의 고유동·고강도 개념의 콘크리트 개발을 통한 실용성 제고를 목적으로 하고 있다.

* 정회원, 한국전자재시험연구원 주임연구원

** 한국전자재시험연구원 위촉연구원

*** 포항종합제철주식회사, 기술본부 부장

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험 계획

고로슬래그미분말을 사용하여 유동화콘크리트의 유동특성과 역학적 성상을 고찰하기 위해 실시된 본 연구의 실험계획은 분말도 4000, 6000, 8000cm²/g로 제조된 고로슬래그미분말을 활용하여 28일 압축강도가 400kgf/cm² 이상인 고강도 콘크리트에서의 고유동성을 규명하기 위하여 AE제, 고성능감수제 등을 60±5cm의 슬럼프플로우에 맞추어 혼입함으로써 고로슬래그미분말을 사용한 유동화콘크리트의 유동성, 분리저항성, 간극통과성, 충전성 등의 성상과 구성재료에 대한 기존의 이론연구와 실험연구를 통하여 유동화콘크리트의 역학적 특성을 규명하고자 하였다.

본 실험은 예비실험을 통해 물분체비 32, 35, 38, 41%의 고유동콘크리트를 제조하여 유동특성을 고찰한 결과, 다음 표 1.과 같이 최적배합을 설정하였으며, 물분체비를 35%로 고정시키고 단위수량은 160, 170, 180kg/m³으로, 또한 고로슬래그미분말의 치환율을 시멘트중량비 15, 25, 35, 45%로 변화시켜 가면서 실험을 실시하였다.

표 2. 고유동콘크리트 배합설계

공시체 번호	B (kg/m ³)	W/B (%)	S/a (%)	W (kg/m ³)	분말도 (cm ² /g)	치환율 (%)	용적배합 (ℓ / m ³)										
							C	Sg	W	S	A						
I-OPC	457.1			160	4000	0	145	0.0	160	341	314						
I-4-15							15	123	23.5	160	340	314					
I-4-25							25	108	39.1	160	339	313					
I-4-35							35	94	54.8	160	338	312					
I-4-45							45	79	70.5	160	338	311					
I-6-15							15	123	23.5	160	340	314					
I-6-25							25	108	39.1	160	339	313					
I-6-35							35	94	54.8	160	338	312					
I-6-45							45	79	70.5	160	338	311					
I-8-15							15	123	23.5	160	340	314					
I-8-25							25	108	39.1	160	339	313					
I-8-35							35	94	54.8	160	338	312					
I-8-45							45	79	70.5	160	338	311					
II-OPC							485.7	35	52	170	4000	0	154	0.0	170	331	305
II-4-15													15	131	25.1	170	330
II-4-25	25	115	41.8	170	329	304											
II-4-35	35	100	58.6	170	328	303											
II-4-45	45	85	75.4	170	327	302											
II-6-15	15	131	25.1	170	330	304											
II-6-25	25	115	41.8	170	329	304											
II-6-35	35	100	58.6	170	328	303											
II-6-45	45	85	75.4	170	327	302											
II-8-15	15	131	25.1	170	330	304											
II-8-25	25	115	41.8	170	329	304											
II-8-35	35	100	58.6	170	328	303											
II-8-45	45	85	75.4	170	327	302											
III-OPC	514.3			180	4000	0							163	0.0	180	321	296
III-4-15													15	139	26.5	180	320
III-4-25							25	122	44.2	180	319	294					
III-4-35							35	106	61.9	180	318	294					
III-4-45							45	90	79.6	180	317	293					
III-6-15							15	139	26.5	180	320	295					
III-6-25							25	122	44.2	180	319	294					
III-6-35							35	106	61.9	180	318	294					
III-6-45							45	90	79.6	180	317	293					
III-8-15							15	139	26.5	180	320	295					
III-8-25							25	122	44.2	180	319	294					
III-8-35							35	106	61.9	180	318	294					
III-8-45							45	90	79.6	180	317	293					

2.2 사용 재료

본 실험에서 사용한 시멘트는 KS L 5201의 규정에 적합한 S, D, S사의 1종 보통포틀랜드 시멘트를 각각 동일량 혼합하여 사용하였으며, 고로슬래그미분말의 특성 및 골재의 물리적 성질을 각각 표 3.과 표 4.에 나타내었다.

표 3. 사용 고로슬래그미분말의 특성

화 학 성 분 (%)							물리적 성질	
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 4. 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

고유동콘크리트의 유동성 및 역학적 특성을 고찰하기 위하여 고로슬래그미분말을 이용하여 실험한 결과, 표 6.과 같은 결과를 얻었으며, 이에 대한 분석은 다음과 같다.

3.1 슬럼프플로우 시험

본 실험에서의 슬럼프플로우값의 범위는 60~66cm를 보였다. 고로슬래그미분말을 치환한 배합이 베이스콘크리트에 비해 약간 높은 값을 보임을 알 수 있었다. 이러한 현상은 고로슬래그미분말이 시멘트입자와는 달리 단일성 분계이고 또한 분말도도 높기 때문에 콘크리트 내부에서 Ball Bearing 현상을 보여 각 재료에 대한 저항을 적게 받아서 발생된 현상이라 판단된다.

3.2 유동성 시험

3.2.1 L형 플로우 시험

L형 플로우값의 범위는 각 배합별로 커다란 차이를 보이지는 않고 있었다. 그리고 고로슬래그미분말을 시멘트중량비로 15, 25, 35, 45%로 증가시키가며 치환할수록 모든 배합설계에서 약 10%씩 플로우값이 감소하는 것을 알 수 있었다.

3.2.2 V로트 유하 시험

V로트 유하시간의 범위는 단위수량이 160, 170, 180kg/m³으로 변화함에 따라 점점 작아지는 추세를 보였으며, 고로슬래그미분말의 치환율이 증가할수록 유하시간이 줄어들고 있음을 알 수 있었다.

표 6. 실험 결과표

공시체 번호	단위 분체량 (kg/m ³)	분말도 (cm ² /g)	슬래그 치환율 (%)	슬럼프 플로우 (cm)	공기량 (%)	단위용적 중량 (t/m ³)	유동성 시험				압축강도(kgf/cm ²)							
							L형(sec)		V-로트 (sec)	U형 (cm)	3일	7일	28일					
							30cm	60cm										
I-OPC	457	OPC	0	60	5.2	2.48	3	17	27	45	283	341	475					
I-4-15							4000	15	61	5.1	2.45	3.5	13	22	40	253	304	463
I-4-25								25	63	5.5	2.44	2.5	12	18	39	269	294	481
I-4-35		35	62	5.7	2.45	3		10	19	35	215	310	441					
I-4-45		45	64	5.5	2.43	2	8	17	31	31	194	297	403					
I-6-15		6000	15	61	5.6	2.46	2	9	14	41	291	381	501					
I-6-25			25	62	5.3	2.44	2	7	16	30	274	365	514					
I-6-35			35	63	5.4	2.41	2.5	7	15	27	264	370	512					
I-6-45		45	63	5.9	2.43	2	8	23	29	230	347	465						
I-8-15		8000	15	63	5.0	2.44	2	10	17	31	294	376	564					
I-8-25			25	65	5.6	2.41	2	9	14	22	294	379	571					
I-8-35			35	64	5.2	2.43	1.5	7	11	25	280	364	564					
I-8-45	45	64	5.7	2.43	1.5	6	10	20	261	341	503							
II-OPC	486	OPC	0	62	5.6	2.50	2.5	13	23	35	301	351	512					
II-4-15							4000	15	64	5.6	2.46	2	15	19	30	270	370	524
II-4-25								25	64	5.8	2.43	2.5	15	19	27	282	384	541
II-4-35		35	65	6.0	2.45	2		11	17	25	232	354	470					
II-4-45		45	62	5.5	2.44	1.5	8	16	26	211	304	435						
II-6-15		6000	15	64	5.3	2.44	1.5	6	14	31	284	383	543					
II-6-25			25	63	5.9	2.44	2.5	10	18	27	260	365	570					
II-6-35			35	62	6.0	2.45	2	10	17	22	235	375	543					
II-6-45		45	62	5.5	2.43	2	7	15	18	220	340	510						
II-8-15		8000	15	63	5.7	2.46	2	5.5	17	13	289	437	640					
II-8-25			25	61	5.3	2.42	2	8	20	18	280	420	651					
II-8-35			35	60	5.2	2.43	1.5	5	18	17	279	410	650					
II-8-45	45	64	5.6	2.41	1.5	5	10	12	243	403	601							
III-OPC	514	OPC	0	63	4.6	2.42	2	5	18	23	310	378	570					
III-4-15							4000	15	65	5.3	2.41	1.5	5	14	17	260	363	594
III-4-25								25	64	5.4	2.41	1.5	7	16	10	251	360	601
III-4-35		35	63	4.8	2.40	1		2.5	12	13	230	308	508					
III-4-45		45	63	5.0	2.39	1	4	17	19	192	276	465						
III-6-15		6000	15	65	5.6	2.44	1	3	14	15	300	397	644					
III-6-25			25	65	5.3	2.43	1	3	13	11	270	431	630					
III-6-35			35	64	4.9	2.44	1	3	13	18	282	433	613					
III-6-45		45	65	5.5	2.42	1	2.5	14	15	230	371	584						
III-8-15		8000	15	66	5.3	2.41	1	3	18	21	298	402	675					
III-8-25			25	64	5.9	2.41	1	3	15	14	290	445	694					
III-8-35			35	64	5.7	2.44	1	2.5	13	21	296	431	685					
III-8-45	45	64	5.4	2.43	0.5	2	10	7	245	391	664							

3.2.3 U형 충전성 시험

본 실험에서의 U형 충전높이의 범위는 7~45cm를 보였으며, U형 충전성 시험도 다른 유동화 시험 방법과 마찬가지로 고로슬래그미분말을 치환한 콘크리트가 베이스콘크리트에 비해 유동성이 우수한 것으로 나타났다.

3.3 압축강도 시험

본 실험에서의 압축 강도의 범위는 3일 강도 192~310kgf/cm², 7일 강도 276~445kgf/cm², 28일 강도 403~694kgf/cm²의 범위를 보이고 있었으며, 그림 3. 및 그림 4.에서와 같이 콘크리트의 압축강도가 고로슬래그미분말의 치환율보다는 분말도에 더욱 영향이 크다는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

고로슬래그미분말을 사용한 고유동콘크리트의 유동성 및 역학적 특성을 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 본 실험에서 슬럼프플로우값의 범위는 60~66cm로 나타났으며, 고로슬래그미분말을 치환한 배합이 베이스콘크리트에 비해 약 5%가량 높은 값을 보임을 알 수 있었다. 이러한 현상은 유동화의 모든 배합에서 비슷한 경향을 보이고 있는데, 고로슬래그미분말이 시멘트입자와는 달리 단일성분계이고 또한 분말도도 높기 때문에 콘크리트 내부에서 Ball Bearing 현상을 보여 각 재료에 대한 저항을 적게 받아서 발생된 현상이라 판단된다.

(2) 본 실험에서의 유동성 시험은 L형 플로우, V로트 유하성, U형 충전성의 시험을 실시하였으며, 고로슬래그미분말의 치환율이 클수록, 분말도가 높을수록 베이스콘크리트에 비해 유동성능이 우수한 것으로 나타났다.

(3) 고로슬래그미분말의 분말도가 4000, 6000, 8000cm²/g으로 증가함에 따라 압축강도값이 일률적으로 증가하고 있음을 알 수 있었다. 그리고, 실험결과에서 알 수 있듯이 베이스콘크리트의 압축강도값은 3일에서는 고로슬래그미분말을 치환한 배합보다 약 10% 정도 높은 강도값을 보였으나 7일 강도값은 분말도 6000cm²/g과 비슷한 강도값을 그리고 28일이 되면 분말도 4000cm²/g과 비슷한 강도값으로 계속 비강도값이 낮아져 장기강도가 우수하다는 기존의 이론을 뒷받침해 주고 있다.

따라서, 본 실험 결과 고로슬래그미분말은 단일성분계의 높은 분말도를 지니고 있는 재료이기 때문에 유동성능을 현저히 높여준다는 것을 알 수 있었으며, 현장 공사에 적용할 경우 공사비 및 인력절감의 효과를 얻을 수 있으리라 기대된다.

《참고 문헌》

1. 대한건축학회(편), 고로슬래그시멘트를 사용한 콘크리트의 표준시방서(안), 대한건축학회, 1995. 12.
2. 日本建築學會(編), 流動化コンクリート施工指針案・同解説, 日本建築學會, 1983.
3. 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査設計・施工指針(案)・同解説, 日本建築學會, 1996.
4. 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.
5. Skalny, J., Brophy, J. E., Hydration of Portland and Blended Cements, Intl. Conf. on Slag and Blended Cements, University of Alabama, Feb. 1982.