

분말도 및 치환율 변화에 따른 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 초기물성

Properties of Fresh Concrete admixed with Blast-Furnace Slag Powder with variations of Blaine and Content

최진만 [*]	김형래 [*]	임정수 [*]	김상규 ^{**}
Choi, Jin Man	Kim, Hyung Rae	Lim, Jung Soo	Kim, Sang Kyu
이도현 ^{**}	변승호 ^{***}	윤철현 ^{***}	최현국 ^{****}
Lee, Do Heon	Byun, Seung Ho	Yun, Chel Hyun	Choi, Hyun Kuk

ABSTRACT

This study was carried out to present the properties of fresh concrete made with ground granulated blast-furnace slag (BFS) powder with variations of blaine and content, and to estimate the utilization of the BFS concrete as admixtural materials for concrete structures of the building. According to the results, the fluidity of concrete which BFS dosage rate was 45% had the considerable difference from that of concrete which BFS dosage rate was not bigger than 35%. Also, the diminution of bleeding was appeared with the increase of blaine and content of BFS. It is concluded that BFS concrete of low blaine can be used effectively in concrete structures of the building.

1. 서론

콘크리트의 혼화재료로서 고로슬래그미분말은 국외에서는 그 사용방법에 대한 체계적인 연구가 활발히 진행되어 이미 범용적인 활용이 이루어지고 있으며, 국내에서도 일부 기간산업을 포함한 건설공사에서 그 사용량이 급증하고 있는 상황이다. 그러나 국내의 경우는 아직 적절한 사용을 위한 체계적인 검증이 이루어지지 않은 단계로서 향후 콘크리트의 생산측면에서 해결해야 할 문제가 많은 실정이다. 이러한 배경아래 본 연구에서는 현재 건축구조용으로 사용되고 있는 보통 및 고강도 콘크리트의 요구성능 범위내에서 고로슬래그미분말을 혼입한 콘크리트의 각 배합별 물성실험을 통하여 사용목적과 방법에 따른 굳지 않은 콘크리트의 성상을 분석·고찰함으로써 고로슬래그미분말을 사용한 콘크리트의 사용지침을 제시하기 위한 기초자료를 구축하고자 한다.

- * 정회원, 대한주택공사 주택연구소 연구원
- ** 정회원, 대한주택공사 주택연구소 책임연구원, 공박
- *** 정회원, 성신양회공업(주) 기술연구소 연구원
- **** 정회원, 성신양회공업(주) 기술연구소 선임연구원, 공박

2. 실험개요 및 방법

2.1 실험개요

본 실험에서는 표 1에서와 같이 고로슬래그미분말(이하 BFS로 함)의 치환율 및 분말도 변화에 따른 BFS혼입콘크리트의 굳지않은 물성변화를 파악하고 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC로 함)를 사용한 콘크리트의 물성과 비교 검토하였다. 배합범위는 설계강도 180~450 kgf/cm²의 범위내에서 물결합재비(W/B) 35, 45%의 고강도, W/B 50, 60%의 일반강도 배합을 대상으로 하였다. W/B 35%에는 고성능감수제(B×0.1%), W/B 45, 50%에는 감수제(B×0.3%)를 사용하였으며, W/B 60%는 혼화제를 사용하지 않은 배합으로 하였다. 한편, 모든 배합에 대하여 공기량 3~6%를 만족시키기 위한 공기연행제를 사용하였다.

표 1 실험인자 및 수준

인자 \ 수준/항목	실험수준	실험항목
물결합재비(%)	35, 45, 50, 60	슬럼프 공기량 블리딩 경시변화
단위수량(kg/m ³)	165~185	
BFS분말도 (cm ² /g)	4000 (BFS-4) 6000 (BFS-6) 8000 (BFS-8)	
BFS치환율(%)	0, 15, 25, 35, 45	

2.2 사용재료 및 실험방법

2.2.1 사용재료

OPC는 국내산 3개사의 제품을 혼합하여 사용하였으며 이 OPC와 BFS를 혼합한 결합재는 SO₃함량이 2.5%가 되도록 천연무수석고를 첨가하여 V형 혼합믹서로 제조하였다. 잔골재는 인천산 바다모래(비중:2.58, F.M:2.99, 흡수율:1.12%), 굵은골재는 최대크기 25mm의 부순돌(비중:2.68, F.M:6.78, 흡수율:0.67%)을 사용하였으며, 혼화제는 감수제, 고성능감수제(이하 SP제로 함) 및 소요 공기량 확보를 위한 공기연행제를 적정 범위로 사용하였다. 각 사용 결합재의 화학적·물리적 특성은 표 2와 같다.

2.2.2 실험방법 및 측정항목

콘크리트 혼합은 잔골재와 결합재를 투입하여 90초간 건비빔을 하고 굵은골재를 투입하여 60초 농

표 2 사용 결합재의 화학적·물리적 특성

화학특성		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	lg-loss						
시료종류														
	OPC	21.91	6.29	3.02	61.73	2.86	2.26	1.37						
	BFS	34.81	16.19	0.47	41.25	8.05	0.16	-0.85						
	천연무수석고	1.92	1.06	0.23	39.51	-	53.08	1.22						
물리특성		분말도(cm ² /g)		안정도(%)			응결시간 (h:m)							
시료종류	비중							초결			종결			
	OPC	3.14	3,421			0.03			4:15			7:25		
	BFS		BFS-4	BFS-6	BFS-8	BFS-4	BFS-6	BFS-8	BFS-4		BFS-6		BFS-8	
			초결	종결	초결	종결	초결	종결	초결	종결				
결합재	15%	2.91	4,379	5,962	8,070	-	-	-	4:18	7:15	3:55	7:10	3:40	7:00
	25%	-	3,432	3,662	4,076	0.04	0.04	0.03	4:18	7:15	3:55	7:10	3:35	7:15
	35%	-	3,643	3,937	4,496	0.02	0.02	0.00	4:02	7:10	3:50	7:20	3:35	7:15
	45%	-	3,727	4,267	5,127	0.02	0.01	0.01	4:00	7:12	3:33	7:18	3:20	7:05
	45%	-	3,890	4,626	5,656	0.01	0.02	0.01	3:55	7:05	3:40	7:15	3:10	7:05

안 2차 견비빔을 실시한뒤 혼합수와 혼화제를 투입하여 120초간 혼합하였다. 물성측정은 모든 수준의 배합에 대하여 KS F 2402의 슬럼프시험, KS F 2421의 공기량시험 방법에 준하여 측정하였으며, W/B=50%, 단위수량 180kg/m³에 대하여 슬럼프 경시변화와 KS F 2414의 블리딩시험을 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 고로슬래그미분말의 분말도 및 치환율의 변화와 콘크리트의 유동성

그림 1과 같이 BFS혼입콘크리트의 슬럼프는 OPC를 사용한 콘크리트의 경우보다 다소 증가하는 경향을 나타냈으며, BFS-4 및 BFS-6의 경우, 단위수량에 관계없이 전반적으로 치환율의 증가에 따라 슬럼프가 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 BFS 표면에 생성되는 산성피막에 의한 계면윤활작용이 활발해지기 때문으로 판단된다. 한편, BFS-8의 경우에는 단위수량이 감소할 경우 치환율이 증가하더라도 슬럼프가 감소되는 것으로 나타났으며, 특히 단위수량 165kg/m³의 경우 치환율의 증가에 따른 슬럼프 저하가 큰 것으로 나타났다. 이는 분말도 및 치환율의 증가에 의해 콘크리트의 점성이 크게 증가한 것에 기인하는 것으로 판단된다. 전반적으로 분말도 4000cm²/g의 BFS를 혼입하는 경우에는 OPC콘크리트와 동일한 슬럼프를 만족시키기 위한 단위수량을 다소 줄일 수 있는 것으로 판단된다.

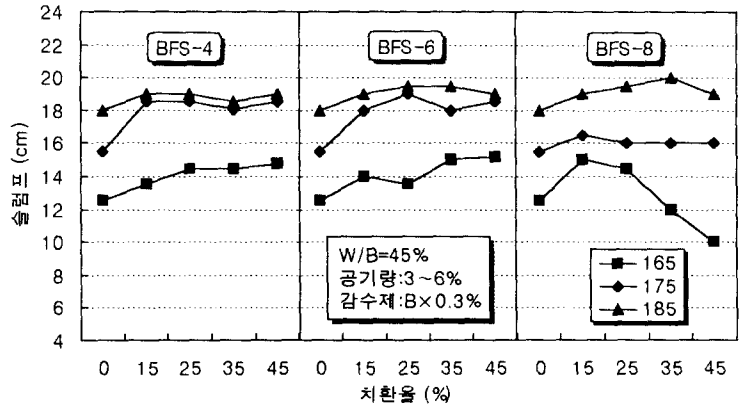


그림 1 치환율 및 분말도 변화에 따른 유동성

3.2 경시별 슬럼프 변화

그림 2에서 BFS-4의 경시별 슬럼프 손실율은 OPC에 비하여 작았으며, 치환율이 증가할수록 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 치환율의 증가에 따라 분산제의 표면 흡착성이 OPC에 비해 작은 BFS가 증가함으로써¹⁾, BFS 표면에 미흡착된 혼화제와 시멘트와의 초기수화반응에 관여하지 않는 잉여수에 의한 영향으로 판단된다. 그러나, 분말도가 증가하면 BFS 비표면적 및 활성도가 증가하여 수화반응이 촉진됨에 따라 경시별 슬럼프 변화는 BFS-4의 경우와는 다른 경향을 나타낼 것으로 추정된다.

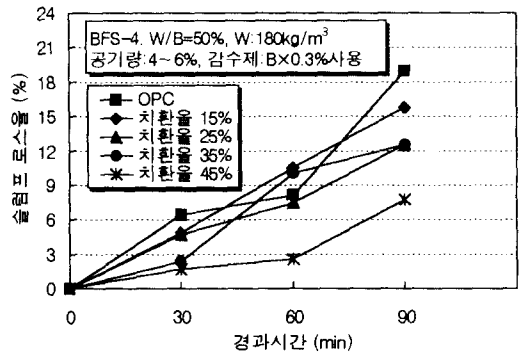


그림 2 슬럼프의 경시변화

3.3 블리딩

그림 3의 결과에서 알 수 있듯이 BFS 혼입 콘크리트의 블리딩은 BFS의 치환율이 증가함에 따라 감소하는 것을 확인할 수 있다. BFS-6의 경우 치환율에 관계없이 BFS-4의 경우보다 블리딩율이 적게 나타나고 있으며 이는 BFS-6이 BFS-4보다 BFS의 분말도가 크고, 미분말 표면에서의 물흡착이 크게 되어 수화반응이 촉진되기 때문으로 판단된다. 그러나 OPC와 동등한 정도의 분말도를 지닌 BFS-4의 치환율 15%인 경우의 블리딩은 OPC보다 다소 큰 결과를 보이고 있는데, 이는 BFS의 활성도가 낮아 수화반응이 다소 지연된 것에 의한 영향으로 판단된다.

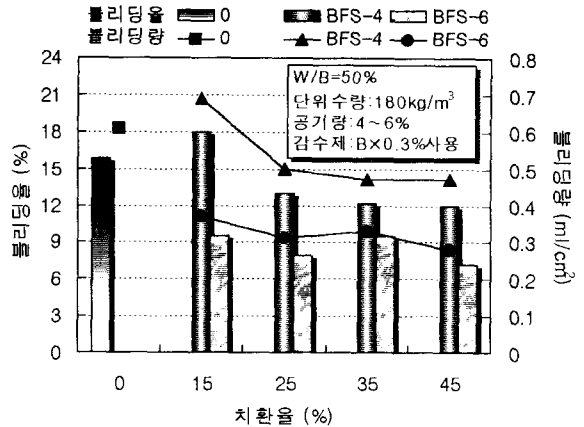


그림 3 치환율 변화에 따른 블리딩

4. 결론

- (1) 고로슬래그미분말을 사용하는 경우, OPC보다 슬럼프가 다소 높게 나타나 소요슬럼프를 얻기 위한 단위수량의 감소가 가능하다.
- (2) 고로슬래그미분말의 분말도 및 치환율이 증가할수록 블리딩은 감소하며, 분말도 4000cm²/g의 고로슬래그미분말의 치환율 15%를 제외하고는 모든 수준에서 OPC보다 작은 것으로 나타났다. 또한, 경시별 슬럼프 손실도 고로슬래그미분말을 혼입한 콘크리트가 OPC의 경우보다 작으며 치환율이 증가할수록 감소하였다.
- (3) 따라서, 경화콘크리트의 물성 및 내구성에 대한 충분한 검토가 이루어지는 경우 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트를 OPC콘크리트와 동등이상으로 유효하게 적용할 수 있는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 포항종합제철(주)의 연구비 지원에 의해 수행중인 연구결과의 일부로서 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- 1) (社)日本土木學會, 高爐슬래그微粉末의 콘크리트への適用に關するシンポジウム 論文集, 1987
- 2) 日本鐵鋼슬래그協會, “鐵鋼슬래그의高爐セメントへの利用について”, 1991
- 3) (社)日本建築學會, 高爐슬래그微粉末を使用する 콘크리트의 調査設計・施工指針(案)・同解説, 1996
- 4) (社)セメント協會, セメント科學, 1993. 3