고로슬래그미분말의 입도와 양생방법에 따른 모르터 물성에 관한 연구

A Study on the Properties of Mortar With Particle Size of Blast Furnace Slag Powder and Curing Methods

김 승 진* 박 유 신* 조 재 우** 김 영 근*** 김 대 영****
Kim, Seung Jin Park, Yoo shin Cho, Jae Woo Kim, Young-Geun Kim, Dae Young

ABSTRACT

Recently in Korea, many workers have reported the effects of the granulated blast furnace slag[BFS] of high fineness on the strength development of slag cement. We have studied the effect of slag fineness on the strength development of mortar with curing conditions, in order to get the basic data of high strength concrete using BFS. In this paper, we discussed the effects of slag fineness and porosity of mortar and the reaction of slag in hardened slag cement.

1. 서 론

고로슬래그는 선철을 제조할 때 부산물로서 얻어지는 잠재수경성 재료로서, 미분쇄하였을 경우 분말도에 따라서 다양한 물성을 나타내는 재료이다. 최근에 콘크리트의 성능을 대폭 향상시키기 위한 방안으로 고로슬래그미분말, 실리카흄 및 플라이애쉬와 같은 혼화재를 혼합 사용한 콘크리트의 고강도 및 고성능화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 고강도 콘크리트의 제조를 위한 방법으로는 고성능감수제, 고유동화제등의 혼화제를 사용하여 물시멘트비를 적게하는 방법, 압력으로 콘크리트중 여분의 물을 뽑아내거나 시멘트페이스트의 구조를 변화시키는 방법 등 여러가지 방안이 제안되고 있다. 이중 3일 이전의 초기강도값으로 800kgf/cm^{2}을 요구하는 고강도 콘크리트 제품의 경우, 오토클레이브 양생 혹은 증기양생조건에서 시멘트의 수화반응 촉진 및 물리적 공극 충진등의 복합작용에 의해 콘크리트의 고강도를 달성시키기 위해 첨가하는 고강도 혼화재는 현재 시멘트·콘크리트 분야에서 필수적인 재료로 인식되고 있다. 특히, 토목용 콘크리트 제품은 고강도, 고인성제품이 요구되기 때문에 Autoclave양생 설비의 도입 등 다양한 시도가 추진중에 있으나, 막대한 설비투자와 엄격한 품질관리가 큰 부담이 되고 있다. 본 연구는 고로슬래그미분말을 사용하여 고강도 콘크리트제품 생산에 적용성 평가의 일환으로 고로슬래그미분말의 분말도 및 양생방법에 따른 수화특성과 수화조직의 조사를 통해 고강도 메카니즘의 규명과 적용성을 검토하기 위한 기초실험을 수행하였다.

* 정회원, 한국건자재시험연구원 주임연구원
** 정회원, 한국건자재시험연구원, 연구원
*** 정회원, 한국건자재시험연구원 수석연구원
**** 포항산업과학연구원, 자원재활용팀 선임연구원

2. 사용재료 및 실험 방법

2.1. 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 KS L 5201의 규정에 적합한 국내 3사의 시멘트를 동일한 량을 혼합한 것을 사용하였으며, 고로슬래그미분말은 포항제철에서 발생되는 슬래그를 볼밀을 사용하여 분쇄 후 분급하여 사용하였다. 시멘트의 물성은 표 1에 나타내었고, 고로슬래그미분말의 분말도별 입도분포는 그림 1과 같다. 또한, 잔골재는 주문진 표준사(KS L 5100)를 사용하였다.

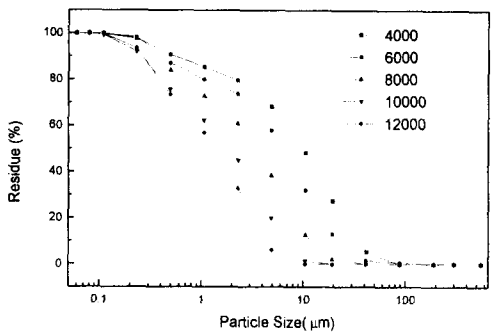


그림 1. 사용 BFS의 입도분포 곡선

표 1. 사용 시멘트의 물성

Specific gravity	Blaine (㎠/g)	88㎛ on residue	Soundnes	Setting time		Comp. strength (kg/㎠)		
				Ini.	Fin.	3ds	7ds	28ds
3.14	3421	0.2	0.03	250	7:25	262	319	401

2.2. 실험방법

고로슬래그미분말의 고강도발현기구를 규명하기 위하여 페이스트와 모르터로서 표준양생과 증기양생방법으로 시편을 제조하였다. 이때, BFS의 분말도는 4,000, 6,000, 8,000, 10,000, 12,000cm^2/g(5수준)으로 하였으며, 치환율은 50wt%, W/(C+BFS)는 0.485, 무수석고는 SO_3 기준으로 2.5wt%를 첨가하여 KS L 5105 및 5109에 따라서 공시체를 제작하였다. 이때의 증기양생 조건은 전치 양생 3hr 이후 승온속도 20℃/hr로 하고, 최고온도 65℃에서 5hr 유지 후 자연냉각시켜 상온과 평형이 되는 시점에서 각 재령별로 수중양생을 실시하였다.

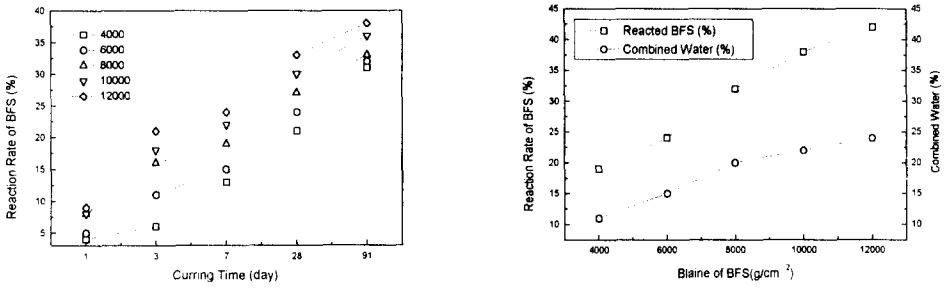
BFS를 사용한 시멘트페이스트의 반응속도는 살리실산(salicylic acid, $C_7H_6O_3$)아세톤·메탄올의 선택용해법에 의해서 BFS의 반응율을 계산하였으며, 결합수량은 105℃에서 건조된 시료 2g을 평량하여 전기로에서 750℃로 2시간 가열후 강열감량된 시료로부터 결합수량을 계산하였다. 또한, 각 재령별로 생성된 수화물을 SEM, XRD를 이용하여 관찰하였고, 시멘트 페이스트중에 함유된 기공율을 측정하기 위해 각 재령별로 Porosimeter를 이용해 기공량을 측정하였다. BFS을 사용한 모르터의 강도변화를 측정하기 위하여 시험용 공시체를 각 재령별로 3개씩 제작하여, 23±1℃의 수중에서 양생을 한 후, 1일, 3일, 7일, 28일, 91일이 경과한 후에 압축강도를 측정하였다.

3. 실험결과 분석

3.1 슬래그미분말의 입도와 양생 조건에 따른 슬래그 반응율 및 결합수량 변화

그림 2는 BFS의 분말도와 양생방법에 따른 반응율과 결합수량을 나타낸 결과이다. BFS의 7일 반응율을 보면, 분말도 4,000의 경우 13%가 수화진행된 반면에, 분말도 10,000 이상의 경우에서는 22% 이

상의 수화반응율을 보이고 있다. 그러나 91일의 수화반응율은 분말도 4,000의 경우 31%이고, 분말도 10,000의 경우 36%로서 장기재령에서는 BFS 수화반응율 폭이 크게 감소하였다. 또한, 65℃, 5시간 양생시킨 경우에서는 분말도가 클수록 표준양생에 비해 더 큰 반응율 증가를 보이고, 결합수량도 초기수화반응의 증가에 따라서 증가하는 현상을 보이고 있다.



(a) 표준양생(23℃)　　(b) 증기양생(65℃,5시간)

그림 2. 고로슬래그미분말의 반응조건에 슬래그 반응율 및 결합수량 변화

3.2 양생 조건에 따른 경화체의 기공율 변화

BFS의 분말도에 따른 경화 7일의 표준양생한 페이스트의 기공율을 측정한 결과를 그림 3에 나타내었다.

기공율의 변화는 BFS의 분말도 증가에 따른 반응율의 증가의 영향으로 분말도가 클수록 크게 감소하는 경향을 보이고 있다. 분말도 10,000 이상의 경우에서는 초기 수화생성물인 ettringite 등의 빠른 생성과 초미립 BFS에 의한 경화체 공극 충진에 의해서 기공율이 크게 감소하는 것으로 생각된다.

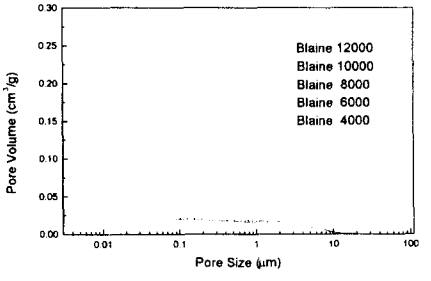
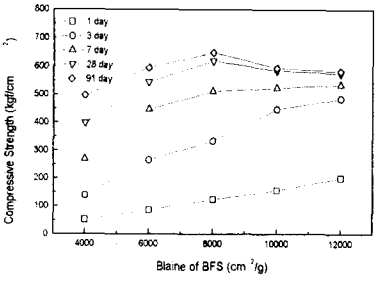


그림 3. 슬래그분말도에 따른 슬래그 기공율의 변화

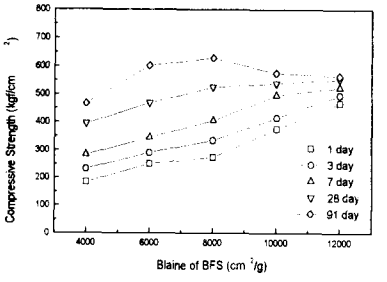
3.3 압축강도 시험

그림 4는 BFS의 분말도와 양생방법에 따른 BFS 혼합 모르터 압축강도의 경시변화를 나타낸 결과이다. 모르터의 압축강도는 재령 3일에서 분말도 4,000의 경우가 138kgf/cm^{2}을 나타내었고, 분말도 10,000의 경우 447kgf/cm^{2}를 보이고 있었다. 그러나, 7일 재령의 경우까지는 분말도가 높을수록 높은 강도를 나타내었으나, 재령 28일을 기점으로 분말도 1,000이상의 경우에서는 압축강도 증가가 작게 나타났다. 또한, 재령 91일의 경우에서는 분말도 10,000이상과 4,000의 경우가 거의 같은 압축강도를 보이며, 장기재령에서의 압축강도는 분말도 8,000의 경우가 가장 높은 값을 보이고 있다. 증기양생의 경우 표준양생에 비해 BFS 분말도가 높을수록 압축강도가 크게 증가하고 있지만, 장기재령에서 분말도 10,000이상의 경우는 역시 큰 변화를 보이지 않았다. 따라서, BFS 크기가 2㎛이하인 경우는 초기 수화

에는 큰 영향을 미치지만 장기강도발현에는 영향이 크지 않는 것으로 보인다.



(a) 표준양생(23℃)



(b) 증기양생(65℃,5시간)

그림 4. 고로슬래그 모르타르의 압축강도 변화

4. 결 론

고로슬래그미분말(BFS)의 분말도 변화와 양생방법 변화에 따른 시멘트 경화체의 물성 변화를 실험한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) BFS의 표면적이 증가할수록 초기재령의 결합수량 및 슬래그반응율은 크게 증가하였으며, 장기재령(91일)에서도 같은 수화반응율 증가를 보였다.

(2) 장기재령에서 BFS 분말도 4,000인 경우와 분말도 10,000이상의 경우의 압축강도는 큰 차이를 보이지 않았다. 그리고, BFS 분말도에 따른 압축강도는 분말도 8,000의 경우가 가장 큰 압축강도를 나타내었다.

(3) BFS의 크기가 2㎛ 이하인 경우는 초기강도에는 큰 영향을 미치지만, 장기강도발현에는 영향이 크지 않는 것으로 보이고, 표준양생보다 증기양생의 경우 더 큰 강도증진 효과가 있는 것으로 나타났다.

감사의 글

이 연구는 포항제철에서 연구비 지원으로 수행중인 "고로슬래그 미분말을 활용한 시멘트 콘크리트 생산기술 개발" 연구결과의 일부이며, 고로슬래그미분말의 미분쇄에 협조하여 주신 마이크로 파우더(주)에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 前田悦孝, 高爐水碎スラグの化學成分が高爐セメントの强さに及ぼす影響, セメント・コンクリート論文集, No. 44, 1990.
2. 李 長江, 依田影彦, 横室 隆, 高爐スラグ 微粉末を用いたセメントペーストの細孔量と强度, コンクリート工學年次論文報告集 Vol. 18, No. 1 (1996), pp. 369-374.
3. 本田欽也, 植地保史, 諸岡 等, 安永 享, 粉末度の異なる高爐スラグ微粉末を用いた高强度モルタルの强度發現性, 第46回セメント技術大會講演集 (1992), pp.182-187.