

고로슬래그미분말을 첨가한 콘크리트의 슬래그 정량분석에 대한 연구

A Study on the Determinational Method of Slag Admixture Replacement Ratio in Fresh Concrete with Blast-Furnace Slag Powder

박 유 신* 김 승 진* 홍 종 성** 김 대 영*** 김 장 수****
Park, Yoo Shin Kim, Seung Jin Hong, Jong Sung Kim, Dae Young Kim, Jang Soo

ABSTRACT

Blast furnace slag powder(BFS) is potential hydration material, and that usage is increased the construction. But, the amount of BFS is important factor with the properties of concrete. The determinational method of slag powder experiments by salicylic acid-methyl alcohol solution method. From these results we can determine the amount of slag powder with blaine 4,000 and 6,000 in fresh concrete.

1. 서 론

최근 건설산업에서 다양한 기능성콘크리트에 대한 기대감과 산업부산물의 재활용 문제가 대두되면서, 건설재료에서도 고로슬래그의 활용이 주목되고 있다. 더욱이 고로슬래그의 사용은 알칼리 골재 반응이나 염해 등에 대한 콘크리트의 내구성 향상 등 콘크리트의 고성능화에 대한 기대 역시 크다. 그러나 고로슬래그가 콘크리트의 내구성 증진에 기여한다는 상기의 견해로부터 그 사용목적에 따라 적정량의 비율로 포틀랜드시멘트를 고로슬래그로 치환하지 않으면 그 효과가 나타나지 않는다고 알려져 있다. 또한, 경우에 따라서는 일정량 이상으로 치환하여 사용할 경우, 콘크리트의 시공관리상 또는 구조물의 사용환경 조건에 대해 부적합한 경우가 발생할 우려가 있다. 이에 고로슬래그미분말을 콘크리트에 이용할 경우에는 고로슬래그미분말을 용도에 맞게 적정량을 사용하고 있는지 확인하는 것은 시공관리상 매우 중요한 부분을 차지한다.

* 한국건자재시험연구원 주임연구원

** 한국건자재시험연구원 연구개발부장

*** 포항산업과학연구원, 자원활용연구팀 과장

**** 포항제철(주), 자원화기획팀장

따라서, 본 연구에서는 고로슬래그미분말을 사용한 콘크리트가 수화열 저감, 내해수성, 내화학적 및 치밀한 구조에 의한 장기강도의 발현 등 많은 장점을 갖고 있음에도 불구하고, 용도에 따라 적절하게 사용되지 않으면 많은 부작용을 유발한다는 점에 착안하여 아직 굳지 않은 콘크리트 중의 고로슬래그미분말의 살리실산 처리에 의해 정량하는 방법에 대한 실험연구로서, 실험실과 현장에서의 실험을 통해 고로슬래그의 정량화 방법에 대한 기초적인 자료를 제공하고자 한다.

2. 실험계획 및 실험 방법

2.1 실험 계획

본 실험에서는 보통강도 영역인 물분체비 50, 55%의 콘크리트 제조를 기초로 한 배합에서 시멘트 중량비에 대해 다음 표 1.과 같이 고로슬래그미분말의 분말도 및 치환율을 변화시키면서 실험실 및 현장에서 시행한 실험결과를 분석하였다.

표 1. 실험수준 및 인자

요 인		물분체비(W/B) (%)	단위수량(W) (kg/m ³)	잔골재율(S/A) (%)	슬래그 분말도 (cm ² /g)	슬래그 치환율 (%)	실험 배합
인 자	실험실	50, 55	165	45	4000, 6000, 8000	15, 25, 35, 45	-
	현 장	53.4	163	44.7	4000	50, 70	-
수 준	실험실	2	1	1	3	4	24
	현 장	1	1	1	1	2	2

2.2 사용 재료

본 실험에서 사용한 시멘트는 KS L 5201에서 규정 항목을 만족하는 Major 3사 시멘트를 동일량 혼합하여 제조한 1종 보통포틀랜드시멘트로서 그의 물리·화학적 성분은 다음 표 2. 및 표 3.과 같다.

표 2. 사용 시멘트의 물리적 성질

비 중	KS 수화열(cal/g)		표준주도 W/C(%)	응 결		안정도 (%)
	7일 수화열	28일 수화열		초 결(hr:min)	종 결(hr:min)	
3.15	80.3	96.4	26.4	3:55	6:45	0.58

표 3. 사용 시멘트의 화학적 성분

성 분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	Mn ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Ig. loss
합 량 (%)	20.79	4.97	3.13	61.54	4.24	2.29	1.07	0.09	0.29	0.15	0.10	1.65

본 실험에서 사용한 고로슬래그미분말은 광양 제철소에서 선철공정 중 부산물로서 발생된 것으로서 분말도 4000cm²/g로 발생된 고로슬래그미분말을 미분쇄기(버티칼 로드밀)에서 6000, 8000cm²/g의 분말도로 고로슬래그미분말을 제조하여 총 3종류를 사용재료로 하였으며, 다음 표 4.와 같은 특성을 보였다. 골재의 특성은 다음 표 5.에 나타내었다.

표 4. 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	Blaine(cm ² /g)	비 중
34.81	16.19	0.47	41.25	8.05	0.16	- 0.85	4000	2.92
							6000	2.91
							8000	2.92

표 5. 사용 골재의 물리적 성질

골 재	단위용적중량(t/m ³)	비 중	흡수율(%)	조립률	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

2.3 실험 방법

(1) 개 요

고로슬래그를 정량하는 방법으로는 유리질양과 유화물 유황을 정량 하는 방법 등이 있지만, 프레쉬 콘크리트중의 슬래그양을 구하기 위해서는 살리실산 아세톤 용해법이 간단하고 정밀도도 높다고 보고 되고 있다. 따라서 본 연구에서도, 시멘트 크링카 및 결합재의 수화물은 살리실산에 용해되고 유리질 의 미수화 슬래그는 용해되지 않는 성질을 이용하는 살리실산법을 이용하여 슬래그를 정량하였다.

본 방법은 슬래그와 포틀랜드시멘트 혼합시료(약1g)을 살리실산 아세톤 용액(살리실산 6g, 아세톤 15cc, 메탄올 35cc)에 용해시켜, 그 불용잔분량을 구하면 미수화 슬래그양은 다음 식에 의해 정량된다.

$$\text{미수화 슬래그양} = \text{불용잔분량} - \text{포틀랜드 시멘트 함량} \times W$$

(여기서, W는 포틀랜드 시멘트 중의 불용 성분의 불용 잔분율)

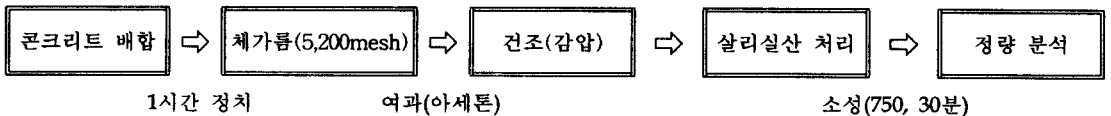
따라서, 프레쉬콘크리트의 결합재 중의 미수화 슬래그양은 다음 식으로부터 유도된다.

$$A = X + Y, \quad X = Z - W \times Y$$

(여기서, X = 슬래그양, Y = 포틀랜드 시멘트양, A = 시료의 양, Z = 불용 잔분량(s.a.insol))

본 실험에서는, 공사현장에서의 프레쉬콘크리트 결합재 중의 슬래그 치환율을 살리실산 방법을 이용하여 파악하는 시험방법의 개발을 목적으로 먼저, 포틀랜드 시멘트 및 슬래그의 불용잔분량을 구하여 보정계수 W를 구하였다. 또한, 일정 비율로 슬래그를 치환한 시료를 살리실산법을 통하여 슬래그의 치환율을 구한 후 이론값과 비교하여 본 방법이 충분히 콘크리트에서도 적용 가능한지 검토하였다.

(2) 살리실산 용해법 실험개요도



3. 실험결과 및 분석

고로슬래그미분말을 분말도 변화 및 시멘트에 대해 실험실에서 15, 25, 35, 45%로, 포항지역의 레미콘 현장에서 50, 70%로 치환하였을 경우의 치환율에 대한 슬래그의 정량화 방안의 실험 결과, 다음 표 6.과 같은 결과를 얻었으며, 이에 대한 분석은 다음과 같다.

표 6. 실험 결과표

분류	공시체 번호	B (kg/m ³)	W/B (%)	S/A (%)	W (kg/m ³)	분말도 (cm ² /g)	슬래그치환율 (%)	슬래그정량 실험 결과 (%)	
실험실	OPC	330	50	45	165	OPC	0	1.47	
	50-4-15					4000	15	16.51	
	50-4-25						25	24.93	
	50-4-35						35	35.87	
	50-4-45						45	45.79	
	50-6-15						6000	15	16.75
	50-6-25					25		28.32	
	50-6-35					35		36.64	
	50-6-45					45		46.30	
	50-8-15					8000	15	24.93	
	50-8-25	25	38.81						
	50-8-35	35	63.93						
	50-8-45	45	69.45						
	OPC	300	55	45	165		OPC	0	1.34
	55-4-15					4000	15	15.45	
	55-4-25						25	25.26	
	55-4-35						35	34.67	
	55-4-45						45	44.36	
	55-6-15						6000	15	18.64
	55-6-25					25		31.38	
55-6-35	35					34.55			
55-6-45	45					43.75			
55-8-15	8000					15	31.61		
55-8-25		25	49.01						
55-8-35		35	66.91						
55-8-45		45	77.07						
현장 실험		현-4-50	305	53.4	44.7	163	4000	50	59.98
	58.53								
	58.35								
	현-4-70	70							57.59
									77.18
									75.35
									71.44
		72.61							

3.1 슬래그 정량방법(실험실 시험)

살리실산에 의한 콘크리트 중의 슬래그 정량법은 시멘트 클링커 및 결합제는 살리실산에 용해되고, 유리질의 슬래그만 남는 성질을 이용한 방법으로서, 사전에 다음 표 7.과 같이 실험에 의해 시멘트 및 슬래그의 불용잔분량을 초기의 출발시료로 하였다.

표 7. OPC 및 고로슬래그미분말의 불용 잔분량

Sample	출발무게(g)	불용잔분량(g)	불용잔분율(%)
OPC	2	0.52	26
고로슬래그미분말(4000)	2	1.7422	87.11
고로슬래그미분말(6000)	2	1.331	66.65
고로슬래그미분말(8000)	2	1.283	64.15

이상의 실험조건으로 실험실에서 실험한 결과, 다음 그림 1.의 값을 얻을 수 있었으며, 분말도 4000에서 $SR \pm 2\%$ 이내, 6000에서 $SR \pm 5\%$ 로 일반적인 기준값인 $SR \pm 5\%$ 이내의 만족스러운 결과를 얻을 수 있었지만, 분말도 8000에서는 기준인 $SR \pm 5\%$ 를 훨씬 상회하는 $SR \pm 30\%$ 정도의 측정불능값을 보여, 살리실산에 의한 적용이 어려울 것으로 판단된다.

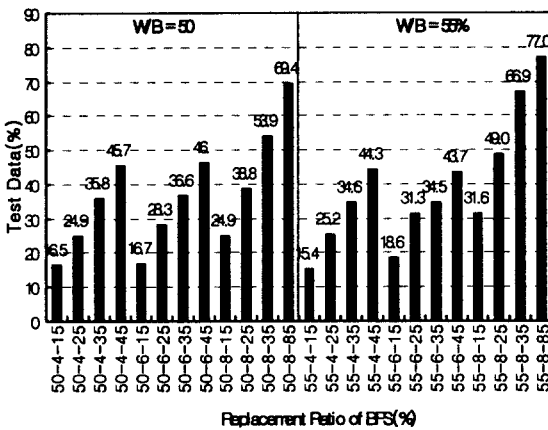


그림 1. 정량 시험 결과(실험실)

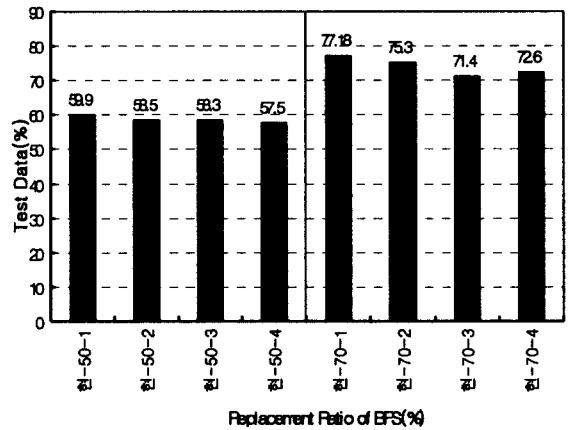


그림 2. 정량 시험 결과(현장적용 실험)

3.2 슬래그 정량방법(현장 시험)

고로슬래그미분말을 사용한 콘크리트에 슬래그 정량을 위한 본 실험은 미반응 슬래그양으로 부터 치환율을 구하기 때문에, 물과 믹싱한 후 어느 정도의 경과 시간과 함께 수화정지 처리를 확실하게 할 필요가 있다. 따라서, 현장에서 채취한 시료를 아세트으로 5회 이상 세척하면서 골재와 분리시킨 후 아스피레이터를 이용하여 여과를 촉진시킨 다음 살리실산법을 이용하여 측정하였다.

현장적용 실험에서는 다음 그림 2와 같이 분말도 4000을 기준으로 고로슬래그미분말 치환율 50, 70%에 대해 현장적용한 실험으로서 치환율 50%인 경우, SR±8%로, 70%인 경우는 SR±5%로 나타나 실험실 보다 약간 벗어나는 값을 보였으며, 이는 현장사용 원재료의 불순물 성분에 의한 것이라 판단 된다.

4 결 론

고로슬래그미분말의 분말도 및 치환율 변화에 따른 콘크리트의 실험실현장적용 실험 결과, 프레쉬콘크리트 중의 슬래그 정량 가능성에 대해 다음과 같은 결론을 얻었다.

고로슬래그콘크리트의 슬래그 정량 실험결과, 분말도 4000cm²/g의 고로슬래그미분말을 치환한 경우에는 SR±2% 내외의 좋은 값을 얻을 수 있었다. 또한, 6000cm²/g의 고로슬래그미분말을 치환한 경우에는 SR±3% 정도로 4000cm²/g의 경우와 거의 비슷한 범위의 좋은 값을 얻을 수 있었으나, 8000cm²/g의 경우에는 거의 측정 불가능한 값이 얻어졌다. 이 결과로부터 4000cm²/g과 6000cm²/g의 경우는, 살리실산법에 의한 슬래그의 측정이 충분히 적용 가능하다고 생각되어지나, 8000cm²/g의 경우에 대해 적용하기에는 부적당하다고 생각되어진다

상기의 결과에서, 살리실산에 의해 정량된 슬래그값이 고로슬래그미분말 4000cm²/g 및 6000cm²/g에서는 SR±5% 내의 범위에 들어 매우 양호하게 정량되는 것으로 판단되어 추후 현장에서 적용성 실험을 거쳐 시험방법으로 활용이 가능하리라 판단되어지나, 분말도 8000cm²/g에서는 정량 범위를 모두 다 벗어나기 때문에 시험방법 적용이 어려운 것으로 나타났다. 그러나, 레미콘에서의 고로슬래그미분말 사용은 대부분 4000cm²/g이며, 앞으로 6000cm²/g까지 사용될 것으로 추정해볼 때, 살리실산을 이용한 정량방법은 적용가능성이 클 것으로 기대되어진다.

감사의 글

본 연구는 포항제철(주)의 연구비 지원에 의해 수행된 “고로슬래그미분말을 활용한 시멘트콘크리트 생산기술 개발” 연구의 일부로서 연구비를 지원해 주신 포항제철(주)에 감사드립니다. 또한, 고로슬래그와 석고의 분쇄에 협조해 주신 마이크로파우더(주)에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) セメント協會, 普通ポルトランドセメント中の高爐スラグ、シリカ質混合材、フライアッシュおよび石灰石の含有率の推定方法(化學分析専門委員會報告), 昭和56年3月
- 2) 近藤連一、高爐水砕スラグの定量およびセメント中の水和反應速度に関する研究, 窯業協會誌 77 [2], 1969.
- 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合設計施工指針(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.