

실리카폼 대체 재료로서 나노슬래그의 규격제안을 위한 기초적 연구

The basic study for the proposal standard of Nano-Slag on an alternation material for Silica-fume

허재원* 임남기**

Abstract

Blast Furnace slag a pigiron waste that is produced more than 800 thousand tons per year, and micronized double quenching blast furnace slag improves flexibility of concrete, and even shows improvement effect of long-term intensity. However, the concrete that used micronized double quenching blast furnace slag is restricted in its use because of many problems to assure early intensity. Even micronized blast furnace slag can assure its early intensity of concrete when maximizing, and is considered that can be applied in high strength of blast furnace slag as an alternation material for Silica-fume that depends on overall import.

Hereby this paper is revised activity index and fluidity of mortar that used Nano Slag that is produced by rotten Nano crush equipment to propose its size, and possible utility of Nano Slag that was produced by blast furnace slag made in Korea as an alternation material, with the conclusion as following.

1. To measure micronized Nano slag, it is judged that it should be in progress with BET method that is based on micronized Silica-fume for concrete.
2. As a result, the test based on KS L ISO 679 is shown to satisfy the basic additive size of KS F 2563 and of KS F 2567, and to determine new combination of stipulations.
3. The strength development of Nano Slag was shown excellent in the daily initial installment of 1, 3, 7 days against the basic additive. This is judged that contains CaO controlling initial strength against Silica-fume, and contributes to higher fineness than the basic blast furnace slag 1 type.

키 워 드 : 나노슬래그, 콘크리트용 고로슬래그, 실리카폼 대체재료, 미분쇄
Keywords : Nano-Slag, Blast Furnace slag, Alternation Silica-fume, Micronize

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

건물의 대형화 고층화가 증가함에 따라 콘크리트에 혼화제를 혼합하여 성질을 개선, 향상시켜 시멘트 경화체의 조직을 치밀하게 하고, 강도, 수밀성 및 화학저항성을 갖춘 고성능콘크리트의 사용이 증가되고 있다. 이러한 콘크리트용 혼화재로서는 플라이애쉬, 고로슬래그 미분말, 실리카폼 등이 있으며, 콘크리트의 요구성능이 증대됨에 따라 초고강도 콘크리트 제조 시 사용되고 있는 실리카폼(15,000cm²/g 이상)의 사용량이 더욱 증대되고 있는 실정이다.

실리카폼은 고미분말이므로, 초기 및 장기강도가 우수하며,

화학적 내구성이 우수하나, 전량 수입에 의존하고 있으며, 슬럼프감소에 따른 추가적인 화학적 혼화제의 사용 등의 다양한 문제점을 내포하고 있어 이러한 실리카폼 대체 재료로서 국산 혼화제의 개발이 필요한 실정이다.

한편 고로슬래그는 연간 800만톤 이상 발생하는 선철 폐기물로서 이중 급냉 고로슬래그 미분말은 콘크리트의 유동성을 개선하며, 장기강도 개선효과를 발휘하는 것으로 보고되고 있다. 그러나 급냉 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트는 조기 강도 확보에 많은 문제가 있어 이의 사용이 매우 제한적이다.

일반적으로 콘크리트용 혼화제는 분말도가 증가함에 따라 시멘트 수화과정 중 발생하는 수산화 칼슘 및 배합수와의 접촉면적이 증가하여 혼화제의 반응성은 배가되며, 시멘트 경화체 내의 미세공극의 충전을 통하여 시멘트 경화체의 밀도를 증가시킴으로써 강도증진에 직접적인 영향을 미치게 된다. 이와 같이 고로슬래그 미분말의 분말도 극대화시 콘크리트의 조기 강도의 확보가 가능하며, 전량 수입에 의존하는 실리카폼의

* 동명대학교 건축공학과 박사과정
** 동명대학교 건축공학과 부교수, 종신회원
본 연구는 2007~8년도 연구개발용역 사업(과제명 : 특급 고로슬래그 표준화)의 지원으로 수행된 연구임

대체 재료로서 적용이 가능할 것으로 사료된다.

이에 본 연구에서는 국내 T사의 건식 나노분쇄 장비로 제작된 나노슬래그를 사용한 모르타르의 활성도 지수 및 유동특성을 검토하여 규격을 제안함으로써 실리카폼 대체재료로서 국내에서 생산되는 나노슬래그의 활용가능성을 검토하고자 한다.

1.2 연구방법 및 범위

전술한 바와 같이 대표적인 콘크리트용 혼화제는 고로슬래그, 플라이애쉬, 실리카폼이 있으며, 이의 성능평가를 대표하는 항목은 크게 활성도 지수 및 플로값비 등으로 대별되는데 각 재료별 기준모르타르 및 시험배합이 모두 상이하여, 혼화제별 성능 비교 및 본 연구에서 제안할 나노슬래그의 성능지표 설정을 위해서는 시험배합의 설정이 선결되어야 할 것으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 국제규격으로서의 제안을 고려하여, 기준배합을 KS L ISO 679(시멘트의 강도시험방법)에 준하여 설정 하였으며, 치환율에 따른 물성을 검토하여 나노슬래그 규격제안을 위한 활성도 지수 및 플로값비를 제안하는 것까지를 연구의 범위로 설정하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

나노슬래그 성능평가를 위한 실험은 고로슬래그 1종과 실리카폼을 비교인자로 하였으며, 활성도 시험은 기준규격에 준하여, KS F 2563 및 KS F 2567에 따라 예비실험을 진행하였으며, 본 실험에서 시험배합은 KS L ISO 679에 준하여 치환율을 10, 15, 20, 25, 30%로 변화시켜 진행하였다. 또한 고층화 대형화됨에 따라 콘크리트에 요구되는 초기강도의 중요성이 증대되는 바 재령 3, 7, 28일 재령 강도를 측정하며, 기존 활성도 지수측정에서 7일 이전의 3일 강도를 추가 제안하고자 한다.

2.2 사용재료

본 실험에는 국내산 보통 포틀랜드시멘트, 를 사용하였으며, 고로슬래그 1종은 국내 A업체의 제품을 사용하였으며, 급냉 나노슬래그의 경우 품질 오차를 줄이기 위하여 A업체의 1종 슬래그를 T업체 건식 나노분쇄기로 하여 제조하여 사용하였다.

또한 나노슬래그는 그 분말도가 높아 기존의 입도분석기로는 그 분말의 정확도를 확인하기 힘들 것으로 예측되어, BET 테스트를 실시한 결과 3.6, 3.91, 4.49m²/g 로 측정되었다.

골재는 예비실험의 경우 국내 표준사를 사용하였으며, 본 실험에 사용된 재료 및 시험장비는 KSL ISO 679에 준하여 영국 E사의 시험 장비 및 국제 표준사를 사용하였으며, 각 재

료의 화학조성 및 물리적 성질은 표 1 및 2와 같다.

표 1. 시멘트의 화학조성 및 물리적 성질

화학 조성	화학성분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig.loss
	함량(%)	21.95	6.59	2.81	60.12	3.32	2.11	2.58
물리적 성질	비표면적 (cm ² /g)	비중	응결시간		압축강도(MPa)			
			초결	중결	3일	7일	28일	
	3,112	3.15	4시간	6시간	19.8	27.2	38.9	

표 2. 고로슬래그의 화학조성 및 물리적 성질

시료명	항목	화학조성					비중	비표면적 (cm ² /g)
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO		
실리카폼		SiO ₂ : 94% 노르웨이산						220,000
BS1							2.88	11,200
나노슬래그-I		50.33	10.27	0.23	37.89	0.82	2.86	36,000
나노슬래그-II	2.79						39,100	
나노슬래그-III	2.79						44,900	

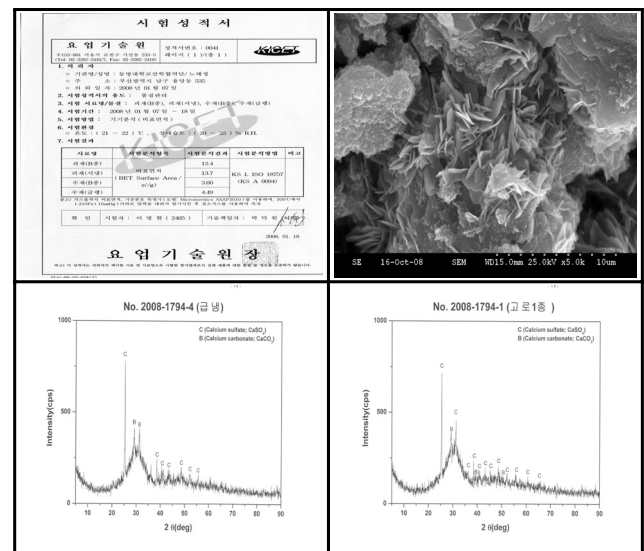


그림 1. 나노슬래그 BET값 및 XRD 측정결과

2.3 실험방법

실험은 기준규격과 제안하고자 하는 시험방법으로 구분하여 진행하였다.

전자는 KS F 2563 및 KS F 2567에 준하여 활성도 및 플로값비를 측정하였으며, 후자는 KS L ISO 679에 준하여 기준배합을 설정하였으며, 치환율은 10, 15, 20, 25, 30%로 변화시켜 진행하였다.

표 3. KS F 2563 시험체 제작방법

모르타르의 종류	시멘트	시료	잔골재	물
기준 모르타르	760g	-	1900g	380ml
시험 모르타르	380g	380g		

표 4. KS F 2567 시험체 제작방법

모르타르의 종류	시멘트	시료	잔골재	물
기준 모르타르	500g	0	1375g	242ml
시험 모르타르	450g	50g		

표 5. KS L ISO 679에 준한 시험체 제작방법

모르타르의 종류	시멘트	시료	잔골재	물
기준 모르타르	450±2	0	1350±5	225±1
시험 모르타르	10~30%치환			

3. 실험결과 및 고찰

3.1 기존 규격 실험결과(1)

KS F 2563에 준하여 시험배합을 설정하여, 각 혼화제 별 친환율 50%에 대하여 플로값비 및 활성도 지수를 측정된 결과는 표 6 및 그림 2와 같다.

표 6. 활성도 및 플로값비 측정결과(KS F 2563)

시험체	Flow값 (%)	Flow비 (%)	활성도 지수(%)			
			1일	3일	7일	28일
Plain	84	100	100	100	100	100
BS1	82	97.6	49	118	130	136
NBS- I	70	83.3	49	144	144	137
NBS- II	68	81.0	53	162	161	140
NBS- III	64	76.2	57	177	175	145

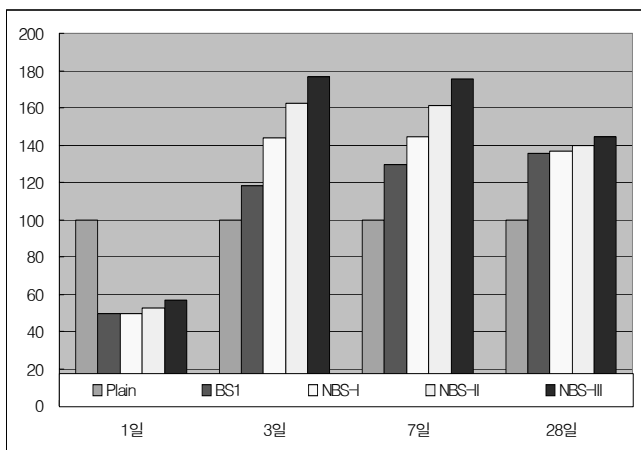


그림 2. KS F 2563에 준한 활성도실험결과(치환율50%)

플로값비를 측정된 결과 고로슬래그1종의 경우 97%로 기존 규격인 95%이상을 만족하는 것으로 측정되었으며, 분말도 35,000cm²/g이상의 나노슬래그의 경우 전체적으로 85%이하의 낮은 플로값비로 측정되었다.

NBS- I, NBS- II의 경우 80%이상의 플로값비를 나타내었으나, 분말도 40,000cm²/g 이상의 NBS- III의 경우 플로값비가 급감하는 것으로 측정되어 시공성을 감안한다면, 별도의 고려가 필요할 것으로 사료된다.

활성도 실험 결과 재령 1일에서는 혼화제에 관계없이 50% 전후의 값으로 측정되었으나, 재령 3일 이후에서 활발한 강도 증진을 나타내었으며, 분말도가 큰 NBS의 경우 전 조건에서 고로슬래그1종이상의 활성도지수를 나타내었다.

NBS의 경우 분말도 증가에 따라 활성도가 증가하는 경향을 나타내었으며, 3, 7일의 초기강도에서 높은 활성도를 나타내었다. 또한 재령 28일의 경우 고로슬래그 1종 대비 활성도의 차이는 크지 않은 것으로 측정되었다. 이는 높은 분말도에 기인하여 수화반응 촉진되었으며, 최종 수화생성물의 양은 유사하기 때문으로 판단된다.

3.2 기존 규격 실험결과(2)

KS F 2567에 준하여 시험배합을 설정하여, 혼화제 종류별로 10%치환하여 플로값비 및 활성도 지수를 측정된 결과는 표 7 및 그림 3과 같다.

표 7. 활성도 및 플로값비 측정결과(KS F 2567)

시험체	Flow값 (%)	Flow비 (%)	PC혼화제량(B*%)	활성도 지수(%)		
				1일	7일	28일
Plain	78.5	100.0	0.00	100	100	100
SF	90.0	114.6	1.25	85	99	114
BS1	85.0	108.3	0.00	91	100	104
NBS- I	83.0	105.7	0.10	92	103	107
NBS- II	85.0	108.3	0.20	93	105	110
NBS- III	78.5	100.0	0.20	97	113	111

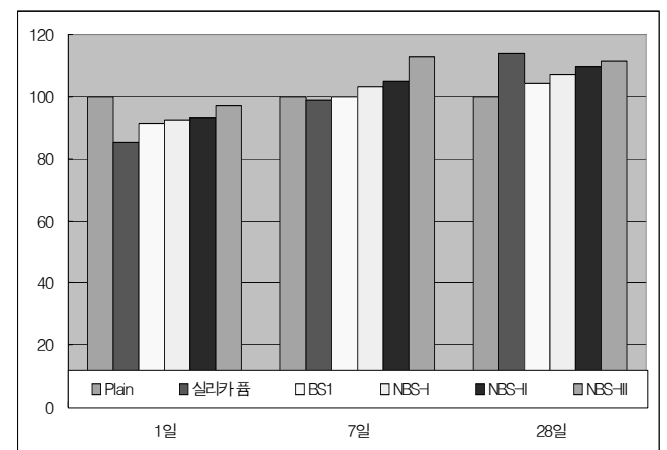


그림 3. KS F 2567에 준한 활성도실험결과(치환율10%)

KS F 2567에 준하여 시험체를 제작하였으며, 혼화제 치환율을 10%로 고정하여 플로값비를 측정된 결과 실리카폼이 가장 많은 폴리카본산계 혼화제의 첨가량이 요구되므로 나노슬

래그가 실리카폼 보다 우수한 유동특성을 나타내었다.

활성도 측정결과 재령1일 실리카폼을 제외한 전 조건에서 90%이상을 나타내었으며, 재령 7일 이후에는 Plain과 유사하거나 상회하는 것으로 측정되었다. 또한 재령 28일에서는 실리카폼이 114%로 최대를 나타내었으며, 나노슬래그의 경우 전 조건에서 고로슬래그1종 대비 우수한 결과를 나타내었다.

나노슬래그의 플로값비 및 활성도측정결과는 KS F 2563 콘크리트용 고로슬래그에 준하여 실험한 결과와 유사한 나타내었다. 또한 고로슬래그 1종 대비 재령 1일과 7일의 초기강도에서 우수한 것으로 측정되었으며, 28일 이후의 장기재령에서는 차이가 작은 것으로 측정되었다.

현재의 고강도 콘크리트는 거푸집 존치기간 저감을 통한 공기 단축을 추구하므로 초기강도의 중요성이 증대되는 바, 나노슬래그를 콘크리트용 혼화재로 적용 시 초기강도확보에 유리할 것으로 판단된다.

3.3 규격제한 실험결과

나노슬래그의 품질 및 성능 범위를 설정을 위한 시험배합의 결정은 국내·외 규격제한을 감안하여, 이미 국제규격 부합화를 완료한 KSL ISO 679 시멘트 강도시험방법에 준하여 설정하였으며, 치환율을 10~30%까지 5% 단위로 변화시켜 플로값비 및 활성도지수를 측정한 결과는 표 8 및 그림 4와 같다.

플로값비 측정결과 실리카폼이 90%로 가장 낮게 나타났으며, 나노슬래그 치환율 30%와 유사한 것으로 나타났다.

나노슬래그도 95%이상의 플로값비를 나타내어 기존의 KS F 2563의 플로값비를 만족하는 것으로 측정되었다.

나노슬래그 치환율 20%이하의 조건에서는 치환율 증가에 따른 플로값비 감소는 작은 것으로 측정되었으나 25%이상의 조건에서는 플로값비 감소가 큰 것으로 측정되어, 유동성을 감안한다면 나노슬래그의 치환율은 20%이내가 유리할 것으로 판단된다.

표 8. 활성도 및 플로값비 측정결과 (KS L ISO679 준하여 설정)

시험체	Flow값 (%)	Flow비 (%)	활성도지수		
			3일	7일	28일
Plain	95.6	100.0	100	100	100
SF-10%	86.0	90.0	92	119	135
BS-50%	91.0	95.2	112	128	151
NBS-II-10	94.0	98.3	103	104	127
NBS-II-15	92.0	96.2	104	113	128
NBS-II-20	92.0	96.2	119	122	139
NBS-II-25	88.0	92.1	122	127	141
NBS-II-30	87.0	91.0	122	132	140

활성도 실험결과 재령 3일의 활성도 지수에서 실리카폼을 제외한 전 조건에서 100%이상의 활성도를 나타내었으며, 재령 7일 나노슬래그 치환율 20% 이상의 조건에서 실리카폼 대비 우수한 강도발현 특성을 나타내었다. 이는 실리카폼에 비하여 분말도는 낮으나, 화학적 조성이 초기강도를 주관하는 CaO함량이 높은 것에 기인한 것으로 판단된다.

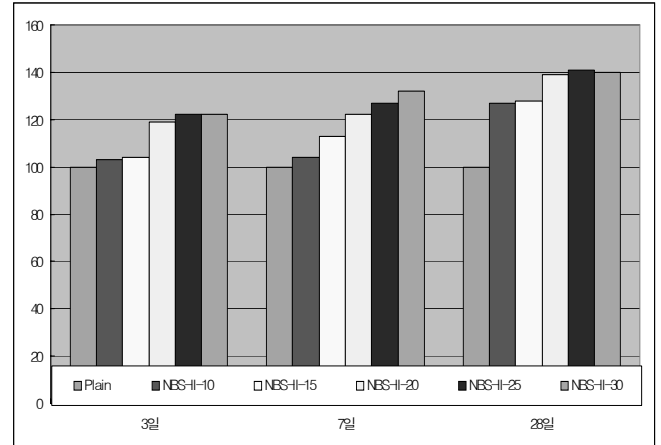


그림 4. KSL ISO 679에 준한 활성도실험결과

4. 결 론

실리카폼 대체 재료로서 분말도 3,000cm²/g 이상으로 제작된 나노슬래그의 플로값비 및 활성도 제안을 위한 모르타르 실험결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 나노슬래그는 분말도가 증가함에 따라 기존의 입도분석으로는 그 성능 및 편차가 큰 것으로 측정되어, 분말도 측정을 위해서는 콘크리트용 실리카폼 분말도 시험방법에 준한 BET법으로 진행되어야 할 것으로 판단된다.
2. KS L ISO 679에 준하여 물/시멘트 비 50%, C : S 비 1:3의 모르타르를 설정하여 시험한 결과 고로슬래그1종의 경우 KS F 2563에 준한 플로값비 95% 및 활성도 지수 7일의 95%를 만족하였으며, 실리카폼 또한 KS F 2567에 준한 7일의 활성도 지수 95%이상을 만족하는 것으로 측정되어 나노슬래그 활성도 및 플로값 시험을 위한 기준배합이 기존의 혼화재 규격을 모두 만족하는 것으로 나타나, 신규규정의 배합으로 결정이 가능할 것으로 판단된다.
3. 나노슬래그의 강도발현 특성은 치환율이 증가에 따라 다소 증가하는 것으로 측정되었으며, 나노슬래그는 기존 혼화재 대비 1, 3, 7일의 초기 재령에서 우수한 강

도발현특성을 나타내는 특징을 나타내었다. 이는 실리카폼 대비 초기강도를 주관하는 CaO함량이 높으며, 기존 고로슬래그 1종에 비하여 높은 분말도에 기인한 것으로 판단된다.

실리카폼 대체 재료로서 나노슬래그의 시험체 제작 규격은 국제규격의 제안 등을 감안하여 KSL ISO에 준한 배합이 가능할 것으로 판단되며, 치환율 20%의 조건에서 실리카폼 대비 우수한 활성도 지수 및 95%이상의 플로값비가 측정되어, 활성도 측정을 위한 기준 배합으로 선정이 가능할 것으로 판단되며, 실리카폼 대체 재료로서 국내에서 생산되는 고로슬래그를 활용한 나노슬래그의 고강도콘크리트용 혼화재로서 적용이 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 김을용 외, 고로슬래그 미분말을 사용한 고성능콘크리트의 유동특성 및 강도특성에 관한 실험적 연구. 대한건축학회 학술 발표대회 논문집, 2006-10 425page
2. 임남기 외, 급냉 고로슬래그 고미분말을 사용한 콘크리트의 물성에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 v.21 n.9(2005-09)
3. 한국콘크리트학회, 콘크리트 혼화재료, 기문당, 1997.3 pp. 217
4. 한천구 외, 고로슬래그 치환율 변화에 따른 고강도 콘크리트의 강도 및 수축특성, 한국건축사공학회 춘계학술발표대회, 2008, 05