

산업부산물인 가네트 미분말을 이용한 고강도 콘크리트의 실용화에 관한 실험 연구

An Experimental Study on the Practical Application of High Strength Concrete using Garnet Powder with industrial by-products

○윤명덕* 김상헌** 임병호*** 김태곤**** 박정민***** 김화중*****
Yun, Myung Duk Kim, Sang Hun Lim, Byung Ho Kim, Tae Gon Park, Jung Min Kim, Wha Jung

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the possibility of Garnet powder as admixture of high strength concrete. The experiment condition is unit water content 160kg/m^3 , $W/B=30, 35\%$, $S/A=40, 42, 44\%$ and the cement was replaced with Garnet powder to 0, 10% of cement weight on making specimens. The mechanical properties of the fresh and hardened concrete were given as follows. As the time elapsed, the slump loss of 10% replaced concrete was considerably lower than that of 0% replaced concrete. In compressive strength, the 10% replacement case was nearly the same or somewhat high.

1. 서론

주요자원의 대부분을 수입에 의존하고 있는 우리나라는 산업부산물 및 폐기물이 급격하게 증가하여 이에 대한 부하가 과다하여 국가의 경제, 사회, 문화의 발전기반인 환경을 손상시키고 있는 실정이다.

그러나 이러한 부산물 및 폐기물을 재활용하여 건축물에 이용하게 되면 그 효과는 일석이조가 될 것이다. 또한, 지금까지의 구조물은 주변환경에서 쉽게 얻을 수 있는 재료만을 사용하였으나 거의 한계에 부딪힌 자원 문제도 고려하지 않을 수 없기에 버려지는 자원을 재활용하는 연구는 신중히 검토되어야 한다고 사려된다.

한편, 콘크리트의 고강도·고성능화에 대한 관심은 증가하고 있으며 경제성이 있는 고품질의 콘크리트를 만들기 위한 목적으로 콘크리트에는 각종의 화학혼화제와 광물혼화제가 널리 이용되고 있다. 이 중 산업부산물인 실리카흄, 고로슬래그, 플라이애쉬 등이 대표적인 광물혼화제로서 이를 이용하여 콘크리트의 품질을 개선시킬 목적으로 수많은 연구자들에 의해 연구성과가 보고되고 있지만 실용화를 위해서는 아직까지 경제성 및 품질성을 확보하기에는 많은 연구가 요구된다.

* 정회원, 경북대 건축공학과, 석사과정

** 정회원, 경북대 건축공학과, 박사과정

*** 정회원, 경북전문대 건축과, 전임강사

**** 정회원, 경북전문대 건축과, 조교수, 공박

***** 정회원, 경북대 건축공학과 교수, 공박

따라서, 본 연구에서는 산업부산물의 재활용 및 새로운 자원적 측면에서 경북 영주의 D회사의 TV브라운관의 연마공정에서 발생하는 가넷 미분말을 고강도 콘크리트의 혼화재로 사용할 수 있는 방안 에 대해 실험을 통해 검토하고자 한다

2. 실험

2.1 사용재료

(1)시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 국내산 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 화학적 조성 및 물리적 성질은 표1, 2와 같다.

표 1 시멘트의 화학적 조성

성분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	Ig.loss
조성비 (%)	21.4	7.0	2.9	3.1	1.7	60.8	0.72	0.12	1.2

표 2 시멘트의 물리적 성질

비중	안정성	분말도 (cm ² /g)	응결시간(h-m)		압축강도(kgf/cm ²)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	양호	3140	3-45	7-20	210	280	376

(2)골재

실험에 사용된 골재는 경북 예천산 강모래 및 경북 평은산 쇠석골재를 사용하였으며, KS F 2502~2506의 시험방법에 따라 물리적 성질을 검토하였으며 그 결과는 표3과 같다.

표 3 골재의 물리적성질

종류	비중	최대크기 (mm)	단위용적중량 (kg/m ³)	흡수율 (%)	공극율 (%)	실적율 (%)	조립율
잔골재	2.54	5	1564	1.05	47	53	2.8
굵은골재	2.64	25	1569	0.9	41	59	6.49

(3) 가넷 미분말

본 실험에 사용된 가넷 미분말의 비중은 4.04이며, 분말도는 13,950(cm²/g)으로 측정되었으며, 입경의 분포는 10 μm에서 최대를 나타내며, 그 화학조성은 표4와 같다.

표 4 가넷 미분말의 화학조성

성분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Mn ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Ig.loss
조성비 (%)	33.4	17.29	32.51	2.16	7.36	0.02	0.01	0.94	0.04	-2.65

(4) 고성능 AE 감수제

혼화제는 국내 I사 제품인 비중이 1.20이며, 암갈색의 나프탈렌계 고성능 AE 감수제를 사용하였다.

2.2 실험 계획

본 연구의 배합사항은 단위수량을 160kg/m^3 으로 일정하게 하고, W/B 30, 35%, S/A 40, 42, 44%의 수준에 대하여 가넷 미분말을 시멘트에 대해 0, 10%치환한 것으로 시리즈 I, II 구별된 12배치를 계획하였다. 측정 항목에서는 굳지 않은 상태에서는 슬럼프의 경시변화를 비빔 직후부터 60분까지 15분 간격으로 측정하도록 계획하였고, 공기량시험은 비빔직후에 측정하도록 계획하였다. 경화상태에서는 3, 7, 28일에 압축강도를 측정하였고, 인장강도를 재령 28일에 측정하였다.

표.5 실험 개요

인 자	수 준	측정항 목	굳지않은상태	경화상태
물결합재비(%)	30, 35		경시변화 (0, 15, 30, 45, 60min) 공기량	
잔골재율(%)	40, 42, 44			
혼화재 치환율(%)	0, 10	조건	목표슬럼프 $20 \pm 2\text{cm}$	
단위수량(kg/m^3)	160			

표.6 배합표

시 리 즈	실험 조건			단위 배합량(kg/m^3)					
	W/B	S/A	혼화재치 환율	물	시멘트	혼화재	모 래	자 갈	혼화재 B×wt
I	30	40	0	160	533.3	-	653.5	1014.8	1%
		42			533.3	-	686.2	981.0	1%
		44			533.3	-	718.9	947.2	1%
	35	40		160	457.1	-	678.2	1053.2	0.8%
		42		457.1	-	712.1	1010.1	0.8%	
		44		457.1	-	746.0	983.0	0.8%	
II	30	40	10	160	480.0	53.3	567.3	1020.8	0.9%
		42			480.0	53.3	690.2	986.7	0.9%
		44			480.0	53.3	723.0	952.7	0.9%
	35	40		160	411.4	45.7	681.4	1089.8	0.7%
		42		411.4	45.7	715.5	1053.5	0.7%	
		44		411.4	45.7	749.6	1017.4	0.7%	

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 이용하여 골재를 개량하여 1분간 건비빔 하고 시멘트와 혼화재를 투입하고 다시 1분간 건비빔한 후 물과 혼화제를 개량하여 섞은 다음 투입하여 1분 저속, 1분 고속으로 혼합하였다. 굳지 않은 콘크리트에서의 슬럼프 시험 및 공기량 시험은 각각 KS F 2402, 2421 에 따라 실시하였으며, 경화한 콘크리트의 압축강도 시험은 $\varnothing 10 \times 20\text{cm}$ 의 공시체를 제작하여 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 양생조에서 습윤양생을 하여 재령에 따라 KS F 2405에 따라 측정하였다. 인장강도 시험은 KS F2423에 따라 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

표.7 실험결과

시 리 즈	실험 조건			굳지않은 상태						경화상태			
	W/B	S/A	혼화재치환율	공기량 (%)	슬럼프 경시변화(cm)					압축강도(kgf/cm ²)			인장강도(kgf/cm ²)
					0분	15분	30분	45분	60분	3일	7일	28일	
I	30	40	0	3.3	21.0	9.0	6.0	4.0	3.0	389	504	615	40
		42		3.1	22	8.5	4.5	3.0	2.5	401	512	620	37
		44		3.4	21.5	16.0	7.0	5.5	4.0	392	499	605	42
	35	40		2.9	21.5	9.0	6.0	4.0	3.0	347	416	536	35
		42		2.8	21.0	17.0	10.0	7.0	5.0	348	413	521	36
		44		3.0	19.0	15.0	7.0	5.0	3.0	375	434	505	34
II	30	40	10	3.1	21.0	19.5	17.6	14.0	8.0	413	534	634	41
		42		2.9	22.0	20.0	18.7	16.4	12.0	386	500	614	43
		44		3.2	21.1	15.5	11.0	6.5	4.0	403	517	627	39
	35	40		2.7	19.3	13.5	10.5	7.4	4.4	350	427	523	34
		42		2.8	22.0	19.5	18.3	17.6	14.3	361	442	542	35
		44		2.6	22.0	19.3	12.5	9.0	7.2	344	409	499	32

3.1 굳지 않은 콘크리트의 결과

(1) 슬럼프 경시변화

그림 1은 W/B=30%에서 가넷트 미분말의 치환율 0, 10%에 대하여 잔골재율(S/A) 40, 42, 44%의 시간의 경과에 따른 슬럼프의 경시변화를 나타내고 있다. 가넷트 미분말의 치환율 0%의 경우에는 전반적으로 초기 슬럼프 20±2cm의 범위에서 시작하여 15분 경과 후 급격히 감소하여 9~16cm의 슬럼프를 보이며, 경과시간 60분에서의 슬럼프는 2.5~4cm으로 나타났다. 가넷트 미분말이 10% 치환된 경우에는 경과시간 15분에서 슬럼프는 15.5~20cm정도로 높게 나타났으며, 마찬가지로 경과 시간 30분에서도 가넷트 미분말을 사용한 배합의 슬럼프가 높게 나타났으며, 경과 시간 60분에서는 4~8cm로 나타났다.

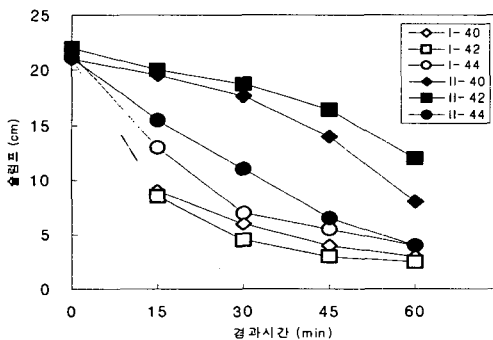


그림 1 W/B=30% 시간에 따른 경시변화

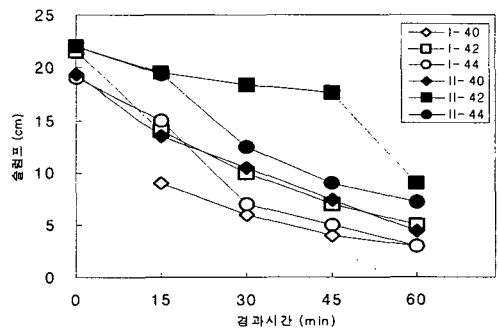


그림 2 W/B=35% 시간에 따른 경시변화

그림 2는 W/B=35%에서 마찬가지로 가넷트 미분말의 치환율 0, 10%에 대하여 잔골재율(S/A) 40, 42,

44%의 시간의 경과에 따른 슬럼프의 경시변화를 나타내고 있다. W/B=30%에서의 결과와 비슷하게 가네트 미분말을 사용한 시험체의 슬럼프가 시간의 경과에 따라서도 높게 나타났다. 또한 목표 슬럼프 $20 \pm 2\text{cm}$ 를 만들기 위해 가네트 미분말을 사용한 경우에 고성능 AE감수제의 첨가량(표 3)이 동일한 W/B에서 0.2% 정도 적게 첨가된 것을 함께 고려하면 유동성에 미치는 영향은 더 높다고 할 수 있다. 이는 가네트 미분말이 높은 분말도를 지니지만, 기존 연구^{(1),(2)}의 결과에 따르면 가네트 미분말 입자의 매끈한 유리질의 성질로 인하여 유동성이 증대되는 결과를 나타낸 것으로 사료된다.

(2) 공기량

그림 3, 4는 각각 W/B=30, 35%에서 잔골재율에 대하여 가네트 미분말을 0, 10%치환한 콘크리트의 측정된 공기량이다. 대체적으로 가네트 미분말을 사용한 콘크리트의 공기량이 낮게 나타났다. 이는 사용된 혼화제의 양이 대략 0.2%정도 적게 첨가된 점과, 또한 미세한 가네트 미분말의 공극 충전의 복합작용에 의해 이러한 영향이 나타난 것으로 사료된다.

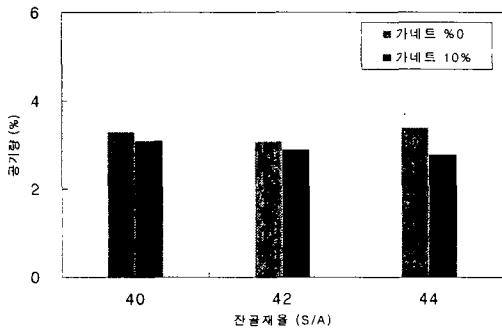


그림 3 W/B=30% 공기량

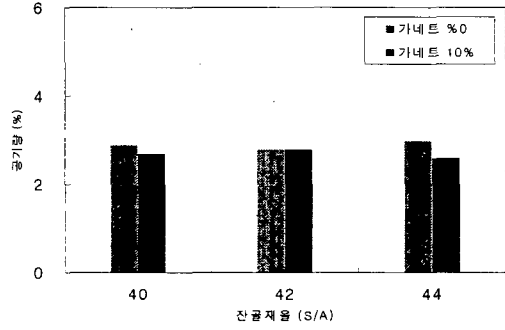


그림 4 W/B=35% 공기량

3.2 경화 콘크리트의 결과

(1) 압축강도

그림 5, 6은 각각 W/B=30, 35%에서 재령 3, 7, 28일에 따라 가네트 미분말의 0, 10%치환에 대하여 잔골재율별로 나타낸 것이다. 전반적으로 가네트 미분말의 10%치환에 따른 공시체의 압축강도는 0%치환한 공시체의 압축강도와 비교하면 비슷하거나 약간 높은 것으로 나타났다.

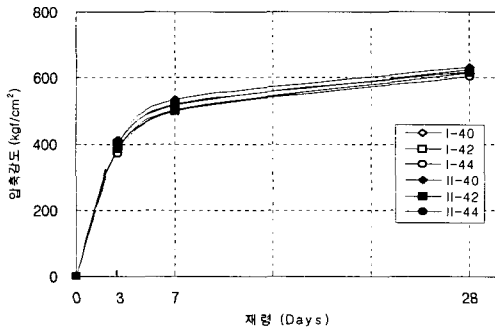


그림 5 W/B=30% 압축강도

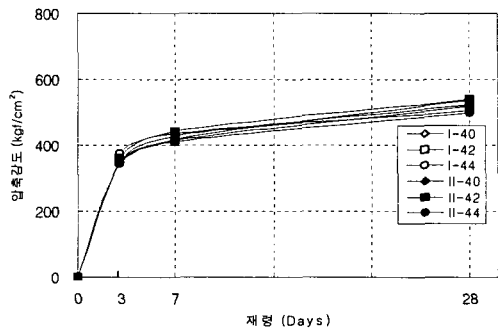


그림 6 W/B=35% 압축강도

이는 주로 미세한 가네트 미분말의 공극충전(micro-filler)에 따른 강도의 발현율로 사료되며,

W/B=30%에서 약간 더 높은 압축강도의 상승률을 나타내었으며, 잔골재율에 변화에 따른 영향은 나타나지 않았다. 또한 기존의 연구^{(1),(2)}에서도 가넷 미분말의 10%의 치환에서 가장 높은 압축강도 상승율을 나타내었는데, 이러한 영향으로 인해 가넷 미분말의 사용은 동일 조건에서 유동성 증진을 확보 할 수 있어 단위수량의 저감으로 인한 압축강도의 상승을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

(2) 인장강도

그림 7, 8은 각각 W/B=30, 35%에서의 가넷 미분말의 0, 10%치환율에 대하여 잔골재율에 따른 인장강도를 나타내고 있다. 전반적으로 압축강도에 대해 1/14~1/16의 범위를 나타내고 있으며, 동일 물결합재비에서 인장강도는 비슷한 값을 나타내고 있다.

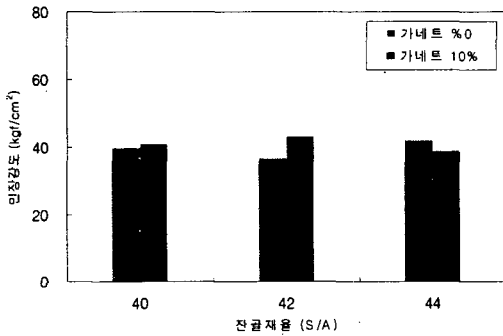


그림 7 W/B=30% 인장강도

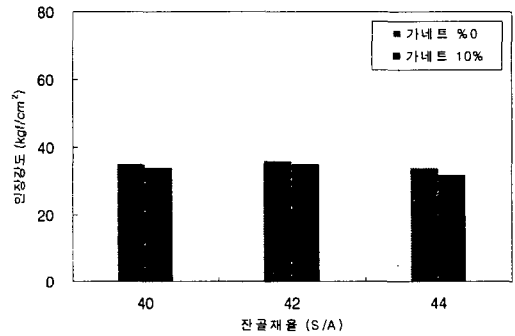


그림 8 W/B=35% 인장강도

4. 결론

산업부산물인 가넷 미분말을 이용한 고강도 콘크리트의 굳지 않은 상태 및 경화상태에서의 제 특성에 관한 검토 결과는 다음과 같다.

1. 가넷 미분말의 치환은 동일 W/B 및 S/A의 변화에 대하여서도 굳지 않은 콘크리트의 유동성을 향상시키는 결과를 나타내었다.
2. 공기량의 시험에서는 가넷 미분말의 치환은 치환하지 않은 경우와 비교하면 비슷하거나 약간 낮은 공기량을 나타내었다.
3. 경화상태에서의 압축강도에 대한 가넷 미분말의 사용은 주로 공극 충전작용으로 인해 물결합재비 30%에서 더 높은 압축강도의 발현율을 나타내며, 잔골재율에 대한 영향은 그다지 받지 않는 결과를 나타내었다.

참 고 문 헌

1. 김화중 외 3인 : 산업부산물인 가넷를 이용한 콘크리트의 성질개선에 관한 연구, 한국콘크리트학회논문집, 제11권 1호, 1999.2., pp 183~190
2. 김화중 외 3인 : 산업부산물인 가넷 미분말을 이용한 콘크리트의 역학적 성상에 관한 연구, 한국콘크리트학회 논문집, 제 11권 3호, pp123~130
3. 한국콘크리트 학회 : 최신콘크리트공학, 기문당
4. 대한건축학회 : 고강도-고성능콘크리트 제조·시공 및 설계, 1996
5. 白井 馬 外 1人 : 가넷砂を用いたポリマーセメントモルタルの曲げ及び壓縮強さ性狀, 日本建築學會構造係論文集, 2000, pp 13~20