

산업부산물인 가넷 미분말을 이용한 콘크리트의 역학적 성상에 관한 연구

A Study on the Mechanical Properties of Concrete using Garnet Powder with Industrial By-Products



임병호*
Lim, Byung-Ho



김태곤**
Kim, Tae-Gon



박정민**
Park, Jung-Min



김화중***
Kim, Wha-Jung

ABSTRACT

In a preceding study⁽¹⁾, the using method of garnet powder has been studied through the various investigation of basic material properties on garnet powder, industrial by-products generated in Yungju, Kyungpook. In this study, the various properties of concrete mixed with garnet powder are examined as following condition : Unit weight of water (170kg/m^3), water binder ratio W/B (53, 55 and 58%), sand-aggregate ratio (S/A) (43, 45 and 48%), substitutional ratio of garnet powder of 0, 5, 10, 15 and 20%.

Slump increased a little as the substitutional ratio of garnet increased. Air content decreased a little at the substitutional ratio of 10%, or more. Though there is a little difference in compressive strength according to the W/B and the substitutional ratio, compressive strength of concrete using garnet exceeded that of plain concrete a little in the range of the substitutional ratio of 5 to 15%. Also, There is a similar tendency in the tensile and flexural strength. Therefore, the use of garnet powder with industrial by-products is expected to improve the workability and the strength of concrete.

Keywords : industrial by-products, garnet powder, slump, air content, compressive strength, tensile strength

* 정회원, 경북대학교 건축공학과 대학원

** 정회원, 경북전문대학 건축과 전임강사

*** 정회원, 경북대학교 건축공학과 교수, 공박

· 본 논문에 대한 토의를 1999년 10월 30일까지 학회로 보내 주시면 1999년 12월 호에 토의회답을 게재하겠습니다

1. 서론

최근 주요자원의 대부분을 수입에 의존하고 있는 우리 나라는 국민생활양식의 변화 및 경제발전 에 따른 생산 및 소비의 확대 등을 배경으로 재생자원으로서 활용 가능한 산업부산물 및 폐기 물이 급격하게 증가하고 있으나, 그 상당부분이 재 활용되지 않고 폐기되고 있다. 이에 따라 산업 부산물 및 폐기물에 대한 부하가 과다하여 국가 의 경제, 사회, 문화의 발전기반인 환경을 손상시 키고 있는 실정이다.

그러나 이러한 부산물 및 폐기물을 재활용하여 건축물에 이용하게 되면 그 효과는 일석이조가 될 것이다. 또한, 지금까지의 구조물은 주변환경 에서 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 관 심은 증가하고 있으며 경제성이 있는 고품질의 콘크리트를 만들기 위한 목적으로 콘크리트에는 각종의 화학혼화제와 광물혼화제가 널리 이용되 고 있다. 이 중 산업부산물인 실리카흄, 고로슬래 그, 플라이애쉬 등이 대표적인 광물혼화제로서 이 를 이용하여 콘크리트의 품질을 개선시킬 목적으 로 수많은 연구자들에 의해 연구성과가 보고되고 있지만 실용화를 위해서는 아직까지 경제성 및 품질성을 확보하기에는 많은 연구가 요구된다.

따라서, 본 연구에서는 산업부산물의 재활용 및 새로운 자원적 측면에서 경북 영주의 D회사의 TV브라운관의 연마공정에서 발생하는 가네트 미분말을 콘크리트의 혼화제로 사용할 수 있는 방 안에 대해 실험을 통해 검토하고자 한다. 현재 가 네트 미분말의 발생량은 연간 2000-3000톤 정 도 발생되지만 대부분 처리비를 지불하고 매립하 는 실정이다.

이에 따라, 앞선 연구¹⁾에서는 가네트 미분말 (이하 가네트)에 대한 제반 물성과 모르터 실험 을 통하여 혼화제로서의 가능성을 제시하였으며, 본 연구에서는 산업부산물인 가네트를 이용하여 보통 콘크리트의 굳지않은 상태 및 경화상태에 미치는 특성에 대해 고찰하고자 한다.

2. 사용재료

2.1 시멘트

실험에 사용한 시멘트는 비중이 3.15, 분말도 3420cm²/g인 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트 를 사용하였다.

2.2 골재

Table 1에 나타낸 골재는 경북 예천산 강모래 및 경북 평은산 갯자갈이며, KS F 2502~2506 의 시험방법에 따라 검토하였다.

Table 1 Physical properties of aggregate

Aggregate	Specific Gravity	Unit Weight (kg/m ³)	Water Absorption (%)	Absolute Volume (%)	F.M
Fine	2.58	1564	1.05	53	2.91
Coarse	2.66	1569	0.9	59	6.49

2.3 가네트의 화학조성

Table 2에 나타낸 가네트의 비중은 4.04로 측 정되었으며, 분말도는 13,950(cm²/g)으로 측정 되었다.

Table 2 Chemical compositions of garnet powder

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	Mn ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Ig. loss
33.4	19.29	32.51	2.16	7.36	0.02	0.01	2.80	0.94	0.04	-2.65

2.4 혼화제

본 실험에 사용된 혼화제는 국내 E사제품으로 암갈색의 비중 1.22의 나프탈렌계 고성능 감수제 를 결합제에 중량으로 0.25% 첨가 사용하였다.

3. 실험개요

1) 실험개요

실험에서는 굳지 않은 상태에서 콘크리트의 슬 러프 시험은 KS F 2402, 공기량 시험은 KS F 2409의 시험방법에 준하였으며, 경화상태에서 $\phi 10 \times 20$ cm 공시체를 제작하여 수중 (20°C ± 2)

및 기건 상태에서 나누어 양생하였다.

그 실험인자 수준 및 실험 결과를 Table 3. 4에 나타내었다.

2) 실험 조건 및 결과

실험에서는 단위수량을 170(kg/m³)으로 고정하고, 물결합재비를 53,55,58%로 하며, 잔골재율을 43,45,48%로 하고, 가넷트를 시멘트에 대해 0,5,10,15,20%씩 치환시켜 검토하였다.

Table 3 Experimental Factor and Level

Experimental Factor	Level
Unit Weight of Water(kg/m ³)	170
W/B(%)	53, 55, 58
S/A(%)	43, 45, 48
substitutional ratio of garnet(%)	0, 5, 10, 15, 20

Table 4 Results of experiment

Condition of Experiment							Result of Experiment										
W/B (%)	S/A (%)	Substitution (%)	Unit Weight(kg/m ³)					Slump (cm)	Air con (%)	Compressive Strength (kgfcm ²)					Tensile strength (kg/cm ²)		
			Water	Cement	Garnet	Fine aggr.	Coarse aggr.			Ad	3days		7days			28days	
											Humid	Humid	Dry	Humid			
53	43	0	320.8	0	769.4	1019.9	10.5	3.6	162	228	241	232	260	29			
		5	304.7	16.0	770.7	1021.5	10.5	3.4	160	228	253	236	265	30			
		10	288.7	32.1	771.9	1023.2	11.7	3.4	255	223	257	241	271	31			
		15	272.6	48.1	773.1	1024.9	12.5	3.5	148	217	245	221	258	27			
		20	256.6	64.2	774.4	1026.5	13.0	3.6	144	207	227	212	250	24			
	45	0	320.8	0	858.2	984.1	11.2	3.5	149	199	230	217	243	27			
		5	304.7	16.0	806.5	985.7	11.5	3.3	145	204	257	233	266	28			
		10	288.7	32.1	807.8	987.3	12.0	3.3	141	210	248	224	253	29			
		15	272.6	48.1	809.1	988.9	13.6	3.2	141	195	244	217	250	26			
		20	256.6	64.2	810.4	990.5	14.4	2.7	137	193	223	208	230	22			
	48	0	320.8	0	858.9	930.5	12.0	3.6	147	188	224	212	240	24			
		5	304.7	16.0	860.3	931.9	12.5	3.4	138	195	225	215	236	26			
		10	288.7	32.1	861.6	933.5	13.2	3.4	134	198	229	218	247	26			
		15	272.6	48.1	863.0	935.0	13.6	3.3	131	190	225	211	230	24			
		20	256.6	64.2	864.4	936.5	14.1	3.1	126	187	212	203	220	23			
	55	43	0	309.1	0	773.5	1025.4	11.4	3.4	155	201	231	219	279	24		
			5	293.6	15.5	774.7	1027.0	12.5	3.0	143	194	229	210	254	26		
			10	278.2	30.9	775.9	1028.6	13.4	3.1	149	197	239	234	239	25		
			15	262.7	46.4	777.1	1030.2	14.0	3.0	147	186	225	217	247	24		
			20	247.3	61.8	778.4	1031.8	14.5	2.9	143	182	221	204	235	23		
45		0	309.1	0	809.5	989.4	12.5	3.4	154	192	224	205	278	23			
		5	293.6	15.5	810.8	990.9	12.5	3.2	150	196	225	215	276	23			
		10	278.2	30.9	812.0	992.5	13.6	3.2	148	199	237	218	282	24			
		15	262.7	46.4	813.3	994.0	14.3	3.1	140	207	239	219	270	23			
		20	247.3	61.8	814.6	995.6	14.8	2.9	136	198	219	205	252	22			
48		0	309.1	0	863.5	935.5	13.1	3.2	149	178	218	207	272	22			
		5	293.6	15.5	964.8	936.9	13.6	3.1	146	181	217	211	262	25			
		10	278.2	30.9	966.2	938.3	14.1	3.0	148	188	220	216	250	24			
		15	262.7	46.4	967.5	939.8	14.7	2.7	138	189	222	218	237	23			
		20	247.3	61.8	868.9	941.3	14.8	2.7	129	183	218	209	229	21			
58		43	0	293.1	0	779.3	1033.0	12.5	3.2	149	197	219	208	245	22		
			5	278.4	14.7	780.3	1034.4	12.5	3.1	144	186	218	211	245	23		
			10	263.8	29.3	781.5	1035.9	13.3	2.9	138	185	225	217	240	23		
			15	249.1	44.0	782.6	1037.4	14.4	2.7	132	180	218	211	227	23		
			20	234.5	58.6	783.8	1039.0	14.7	2.7	128	176	206	203	222	20		
	45	0	293.1	0	815.5	996.7	13.0	3.2	143	193	217	203	270	23			
		5	278.4	14.7	816.6	998.1	13.5	3.2	132	190	213	194	290	25			
		10	263.8	29.3	817.8	999.6	14.7	2.9	130	180	221	207	277	23			
		15	249.1	44.0	819.0	1001.0	15.0	2.6	123	173	224	215	250	21			
		20	234.5	58.6	820.2	1002.5	15.8	2.4	121	170	215	199	234	20			
	48	0	293.1	0	869.9	942.3	13.5	3.0	139	193	214	199	281	22			
		5	278.4	14.7	871.1	943.7	14.2	2.9	130	181	211	191	250	24			
		10	263.8	29.3	872.4	945.1	15.0	2.8	121	184	219	208	266	22			
		15	249.1	44.0	873.6	946.4	15.2	2.5	119	171	220	202	236	21			
		20	234.5	58.6	874.9	947.8	16.3	2.4	117	163	209	198	218	18			

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 굳지 않은 콘크리트의 성상

4.1.1 공기량

Fig.1~3은 가네트의 치환율에 따른 공기량의 시험결과를 나타낸 것이다.

치환율이 증가함에 따라 점진적으로 공기량이 감소하는 결과가 나타났다. 그리고 잔골재율이 증가할수록 공기량은 약간씩 감소하는 경향이 나타난다. 이는 아주 치밀하고 미세한 가네트 입자가 콘크리트내부의 공극을 충전시켜 주기 때문에 공

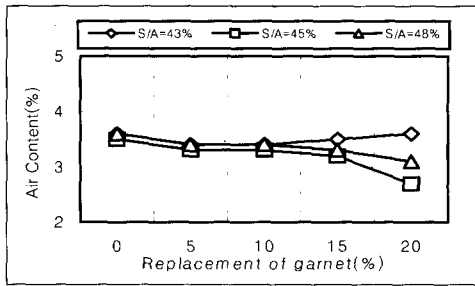


Fig. 5 Air content according to replacement, W/B=53%

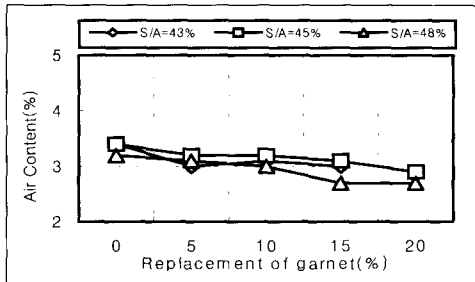


Fig. 6 Air content according to replacement, W/B=55%

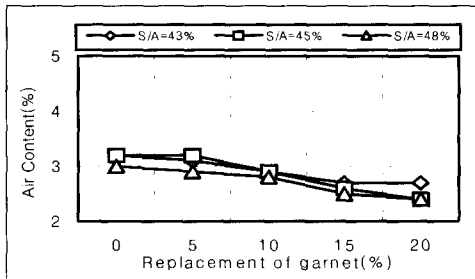


Fig. 7 Air content according to replacement, W/B=58%

기량이 감소하는 것으로 사려된다.

4.1.2 슬럼프

Fig 4~6은 물결합재비 53%, 55%, 58%에서 잔골재율(S/A) 43%, 45%, 58%에 따라 각 가네트의 치환율에 따른 슬럼프를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 동일한 S/A에서는 가네트의 치환율이 증가할수록 슬럼프가 증가하고 있으며, 동일한 가네트의 치환율에서는 S/A비가 클수록 슬럼프가 증대되는 것으로 나타났다.

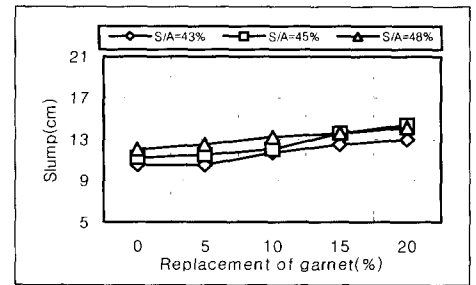


Fig. 8 Slump according to replacement, W/B=53%

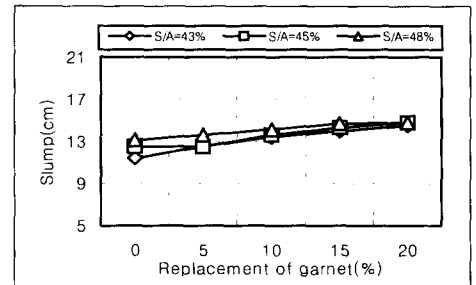


Fig. 9 Slump according to replacement, W/B=55%

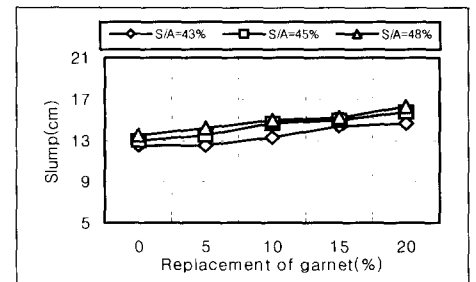


Fig. 10 Slump according to replacement, W/B=58%

본 슬럼프 시험(Fig.4~6)에서는 가네트를 시멘트에 대해 치환할 경우 콘크리트의 유동성의 개선에 유리한 영향을 주는 것으로 나타났으며, 기존의 혼화재인 실리카흄, 고로슬래그 및 플라이애쉬가 동일한 조건에서 시멘트에 대해 치환하여 사용할 경우 슬럼프가 다소 저감되지만, 가네트를 사용할 경우 동일한 조건에서는 슬럼프가 증가된다는 것이 나타났다. 분말의 비표면적(분말도)이 크게 되면 물과의 접촉면이 크게 되어 동일한 단위수량에서는 작업성을 얻기가 힘들지만, 본 실험에서 사용된 가네트는 시멘트의 약 3배의 분말도임에도 불구하고 매끈한 표면형상을 띄고 있기 때문에 슬럼프가 증가된 것으로 사려된다. 이를 미루어 볼 때 가네트는 콘크리트 제조시 일정의 작업성을 요구하는 곳에서, 단위수량의 저감으로 인한 높은 강도가 기대된다.

4.2 경화 콘크리트의 성상

4.2.1 치환율에 따른 압축강도

Fig.7~9는 가네트의 치환율에 따른 재령 28일의 압축강도를 물결합재비별로 각각 나타낸 것이다. 물결합재비 53%에서는 가네트의 치환율 5~10%에서 플레인 콘크리트보다 상회하는 압축강도를 보이고 있으며, 잔골재율이 낮을수록 높은 압축강도를 나타내고 있다. 그리고 물결합재비 55%에서는 가네트 10%정도 치환에서 플레인 콘크리트보다 높은 압축강도를 보이고 있으며, 물결합재비 53%와 마찬가지로 잔골재율이 낮을수록 상대적으로 높은 압축강도를 나타내고 있다.

또한 물결합재비 58%에서는 가네트의 치환율 10~15%에서 플레인 콘크리트보다 높은 강도를 보이고 있지만, 치환율 20%에서는 강도의 저하가 뚜렷이 나타나고 있다. 따라서, 물결합재비 및 잔골재율에 따라 약간씩 차이는 있으나, 가네트의 포졸란 반응과 미세한 가네트 입자의 마이크로 필러 작용에 의한 강도의 증진효과가 나타났으며, 대체적으로 가네트의 치환율 10~15%가 적정 치환율인 것으로 나타났다.

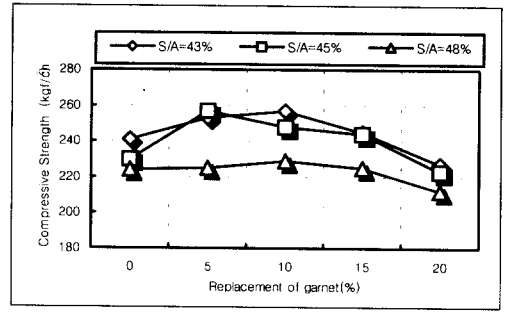


Fig. 11 Compressive strength according to replacement W/B=53%

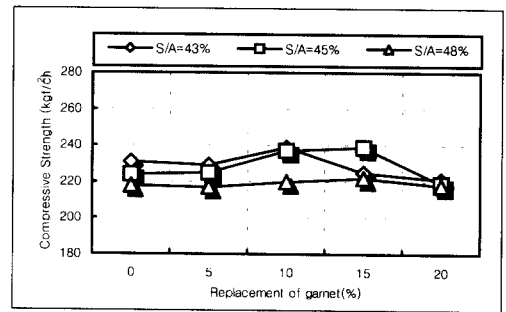


Fig. 12 Compressive strength according to replacement W/B=55%

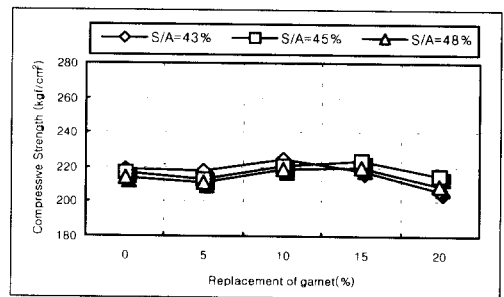


Fig. 13 Compressive strength according to replacement W/B=58%

4.2.2 재령에 따른 압축강도

Fig.10~12에서는 W/B 53%에서 가네트를 치환시킨 콘크리트의 재령에 따른 압축강도를 잔골재율(S/A)의 조건에 따라 각각 나타내었다. 전반적으로 가네트를 5~10% 치환시킨 경우에 3일강도는 플레인 콘크리트 보다 약간 낮았지만 재령 7일, 28일, 91일에 플레인 콘크리트와 비교하여 동등수준 내지 약간 높게 나타났다.

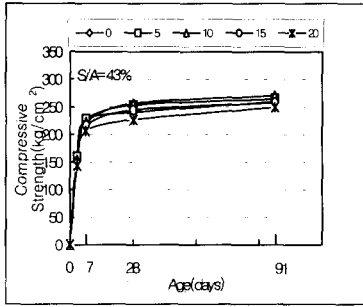


Fig. 10 Compressive strength according to age, W/B=53%

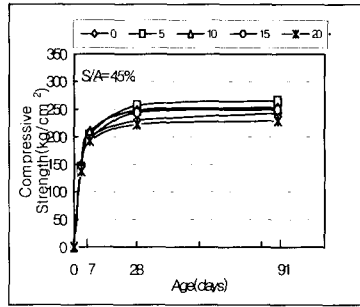


Fig. 11 Compressive strength according to age, W/B=53%

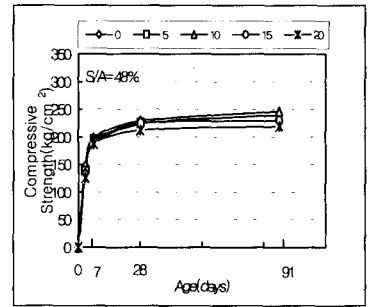


Fig. 12 Compressive strength according to age, W/B=53%

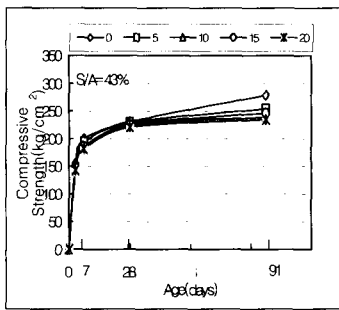


Fig. 13 Compressive strength according to age, W/B=55%

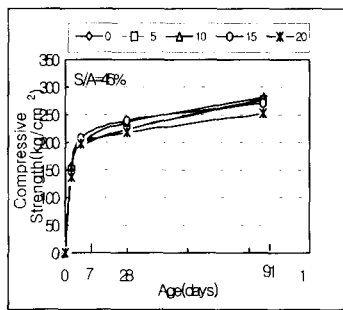


Fig. 14 Compressive strength according to age, W/B=55%

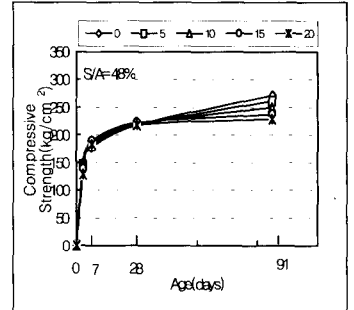


Fig. 15 Compressive strength according to age, W/B=55%

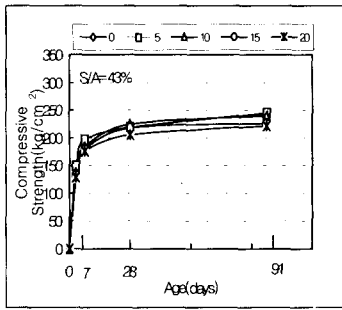


Fig. 16 Compressive strength according to age, W/B=58%

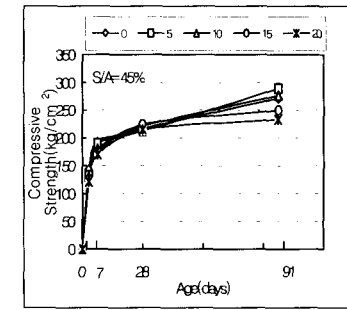


Fig. 17 Compressive strength according to age, W/B=58%

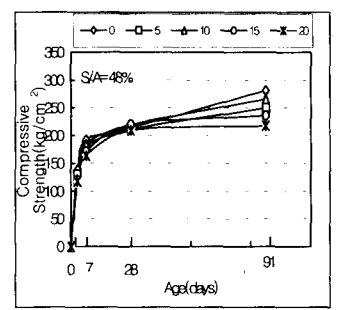


Fig. 18 Compressive strength according to age, W/B=58%

그리고, 잔골재율이 낮을수록 가네트의 치환에 따른 강도발현이 높게 나타났다. Fig.13~15은 물결합재비 55%에서 가네트를 치환시킨 콘크리트의 재령에 따른 강도증가를 나타낸 것이다. Fig.13~15에서도 알 수 있듯이 가네트를 치환시킨 콘크리트의 압축강도에서 초기강도는 플레인 콘크리트보다 저하하지만, 재령28, 91일의 장기강도는 플레인 콘크리트와 비교하여

동등수준 혹은 약간 상회하는 강도를 나타내고 있다. S/A 43%에서는 플레인 콘크리트가 가장 높은 압축강도를 나타내지만, S/A 45, 48% 경우, 치환율 5, 10%에서는 초기강도는 약간 낮지만 장기강도는 플레인 콘크리트 보다 높은 강도 발현을 보이고 있고, 치환율 15, 20%에서는 전반적으로 감소하는 경향을 나타내었다.

Fig. 16~18은 W/B가 58%일 때 잔골재율(S/A)에 따라 재령에 대한 압축강도를 나타낸 것이다. 잔골재율(S/A)이 43%, 45%에서는 가네트를 치환시킨 경우 초기강도는 플레인 콘크리트보다 저하하지만 28일, 91일 강도는 플레인 콘크리트와 비교하여 5~10% 치환한 경우 동등 수준, 혹은 약 5%정도 상회하는 강도 발현을 보이고 있으며, S/A비 48%에서는 전반적으로 플레인 콘크리트 보다 낮은 압축강도를 나타내고 있다. 따라서, 물결합재비 58%에서는 S/A비가 작을수록 가네트의 치환율이 증가함에 따라 강도 발현율이 크게 나타내었다. 전반적으로 가네트의 치환율 5~10%정도에서 플레인 콘크리트보다 높은 강도를 나타내었다. 이는 가네트가 초기재령에서 장기재령으로 갈수록 수화반응이 진행됨에 따라 포졸란 반응을 일으키는 것으로 사려된다.

4.2.3 양생조건에 따른 압축강도

Table 4에서 28일의 압축강도를 양생조건별로 나타내었고, Fig. 19는 가네트를 치환한 콘크리트의 압축강도를 수중양생 및 기건 양생에서 재령28일 압축강도를 물결합재비별로 나누어 비교한 것이다. Fig. 19에 따르면 수중에서 양생된 시험체의 압축강도가 기건상태에서 양생된 시험체의 압축강도보다 약 3%~9%정도 높게 나타났으며, 기건양생한 시험체의 압축강도에 대한 수중양생한 시험체의 압축강도의 증가율은 물결합재비가 낮을수록 작게 나타났다. 그리고 가네트의 치환율이 증가할수록 기건양생한 시험체의 압축강도에 대한 수중양생한 시험체의 압축강도의 증가율이 약간씩 작아지는 경향을 나타냈다.

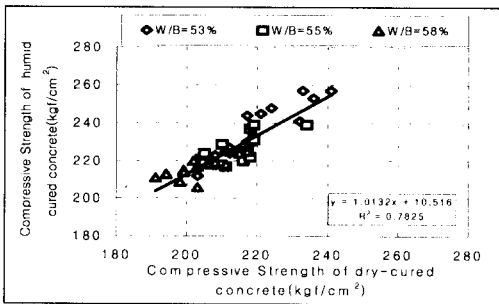


Fig. 23 Relation of compressive strength according to curing condition

4.2.4 인장강도

Fig.20~22는 가네트를 치환시킨 콘크리트의 인장강도를 잔골재율(S/A)에 따라 나타내었다.

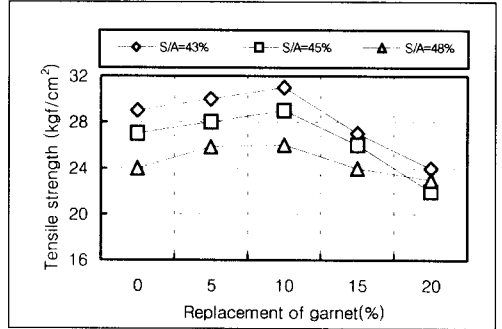


Fig. 24 Tensile strength according to replacement W/B=53%

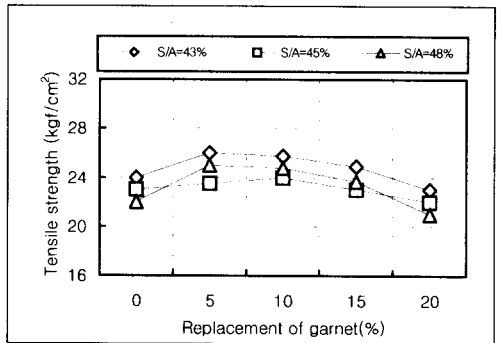


Fig. 25 Tensile strength according to replacement W/B=55%

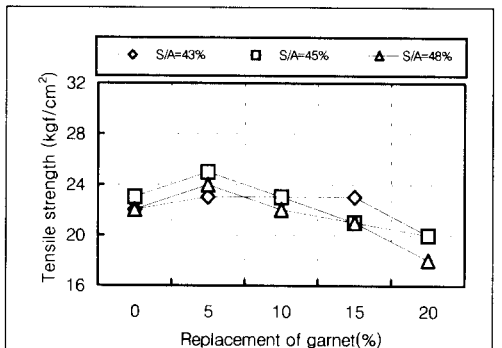


Fig. 26 Tensile strength according to replacement W/B=58%

전반적인 인장강도의 범위는 18~32(kg/cm²)로 나타났으며 압축강도의 1/8~1/10의 범위로

나타났다. W/B 53%에서 동일한 잔골재율(S/A)에서는 가네트 치환율 5, 10%의 경우가 플레인 콘크리트보다 상회하며, S/A비 43, 45, 48%의 순으로 높은 인장강도가 나타났다. W/B 55%의 경우에 있어서는 가네트 치환율이 5~10%에서 약간 증가하는 경향을 나타내었다. 그리고, W/B=58% 에서 대체로 가네트 치환율 5%정도에서 플레인 콘크리트보다 상회하는 값을 나타냈다. 잔골재율(S/A)이 43%에서는 5~15%의 치환에서 플레인 콘크리트보다 약간 높은 강도를 나타냈다. S/A가 45, 48%인 경우에는 치환율 10%를 넘어서면 강도가 급격히 저하하였다. 인장강도는 가네트 치환율 5-10% 정도에서 인장강도가 플레인 콘크리트의 인장강도보다 약 10%정도 높은 강도를 나타내었다.

5. 결 론

산업부산물인 가네트를 혼화제로서 이용하여, 보통 콘크리트의 굳지 않은 상태 및 굳은 상태에서의 성질을 실험을 통하여 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 가네트는 비표면적이 높지만 유리질을 띄고 있는 매끈한 입자형상으로 인해 치환율이 증가함에 따라 콘크리트의 슬럼프를 증가시키므로, 목표 슬럼프를 만족시키기 위해 단위수량을 감소시킬 수 있을 것으로 사려된다.
2. 공기량 시험에서는 가네트의 미세한 입자가 콘크리트의 공극을 채우는 효과가 있으므로 치환율 10%이상에서 대체로 공기량을 감소시키는 경향을 나타내었다.
3. 치환율에 따른 압축강도를 보면 물결합재비

, S/A비에 따라 약간씩 차이는 있지만, 대체적으로 5~15%정도의 치환율에서 플레인 콘크리트보다 동등 수준 혹은 약간씩 높은 강도발현율을 보여 주었다.

4. 재령에 따른 압축강도는 초기재령에서는 다소 저하하지만 장기재령에서 포졸란 반응에 따른 강도의 발현율이 높게 나타났다.

5. 인장강도는 가네트 치환율 5~10%에서는 플레인 콘크리트 보다 상회하는 강도발현을 보여 주었다.

본 연구는 98' 학술진흥재단의 연구비지원에 의해 수행되었기에 감사를 표합니다.

참고문헌

1. 김화중 외 3인 : 산업부산물인 가네트를 이용한 콘크리트의 성질개선에 관한 연구, 한국콘크리트학회논문집, 제11권 1호, 1999.2., pp 183~190
2. 白井 馬 外 1人 : ガネト砂を用いたポリマーセメントモルタルの強さ性状, 日本建築學會學術講演概要集, 1996, pp 855~856
3. 白井 馬 外 1人 : ガネト砂を用いたポリマーセメントモルタルの壓縮強度さと細孔容積の關係, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1997.9, pp 695~696
4. 김화중 : A study on investigation for effectiveness of natural minerals with silica-component as admixture for concrete, 한국콘크리트학회 논문집, 제3권 6호 pp 201~214
5. 한국콘크리트 학회 : 최신콘크리트공학, 기문당
6. 대한건축학회 : 고강도-고성능콘크리트 제조·시공 및 설계, 1996
7. 윤재환 역 : 포틀랜드 시멘트 및 콘크리트, 세진사
8. A. M Neville : Properties of Concrete
9. Shan and Ahmad : High Performance Concrete and Applications.
10. V.M.Malhotra : High-Performance Concrete, 1994, SP-149

요 약

본 연구는 경북 영주 지역의 D회사에서 발생하는 산업부산물인 가네트를 콘크리트의 혼화제로서 사용하 부산물의 단순 매립시 발생하는 환경오염의 예방과 콘크리트의 신소재로서의 가능성을 제시하는 것을 목적으로 하였다. 연구 결과 보통콘크리트 영역의 실험에서, 굳지 않은 상태 및 경화상태에서 가네트를 이용할 경우, 시공성의 개선 및 시멘트의 절감과 강도증진 효과를 기대할 수 있었다.

(접수일자 : 1999. 2. 18)