

산업부산물인 가네트를 이용한 콘크리트의 성질개선에 관한 기초적 연구

The Fundamental Study on Properties of Concrete
Using the Garnet with Industrial Wastes.



임병호*

Lim, Byoung-Ho



박정민**

Park, Jung-Min



김태곤**

Kim, Tae-Gon



김희중***

Kim, Wha-Jung

ABSTRACT

This paper investigated the possibility of applying to concrete through fundamental experiment for garnet, which was industrial wastes generated in kyung pook region, in aspects of development of new materials and recycling of industrial wastes due to shortage of natural resources. Consequently, garnet powder showed the possibility of admixture as showed in the chemical composition because the content of silica and alumina in relation to pozzolanic activity was about 50%. The time of setting was more or less diminished as the increasing of replacement ratio of garnet. In flow test, flow values tended to increase to some degree as the increasing of replacement ratio of garnet. Therefore, application of garnet was expected to improve the workability of concrete.

The compressive strength of mortar replaced by garnet was respectively increased as compared with plain mortar and the maximum strength was showed in replaced by 10%, however a little different to the change of W/B ratio.

Also, the possibility of admixture to reduce the amount of cement and to improve the property of concrete was showed as the strength of mortar replaced by garnet was comparable to that by existing admixture(silica fume, fly-ash).

keywords : Garnet, Flow Value, Compressive strength, Industrial wastes

* 경북대 건축공학과 석사과정

** 경북전문대 건축학과 전임강사, 공학박사

*** 정희원, 경북대 건축공학과 부교수

· 본 논문에 대한 토의를 1999년 6월 30일까지 학회로 보내
주시면 1999년 8월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서론

최근 구조물의 다양화 및 고품질화에 따라 건축물의 주요 구조재인 콘크리트의 성능개선에 대한 필요성이 점차 고조되고 있다. 콘크리트의 성질을 개선시켜 다양한 요구성능에 부합되는 고품질의 콘크리트를 제조하기 위해서는 사용재료, 배합, 제조방법 등의 측면에서의 여러가지 방안이 검토될 수 있으며 그 하나의 방안으로 혼화재의 사용이 유효시된다.

이에 따라 콘크리트의 성질개선과 자원 활용의 측면에서 이미 전세계적으로 다양한 혼화재가 개발되어 적재적소에 활용되고 있다.

최근 선진제국에서는 포졸란 활성 또는 잠재수경성을 갖는 각종 재료를 콘크리트용 혼화재로서 사용하기 위한 연구가 진행되고 있으며, 일부 재료는 혼화재로서의 성능이 우수한 것으로 보고되고 있다. 그러나 국내에 있어 기존의 혼화재 중 실리카 흡은 전량을 수입에 의존하여 경제적인 면에서 불리하며 플라이 애쉬 및 고로 슬래그는 품질이 불균일하여 사용범위가 한정되어 있는 상황이다. 이와 아울러 국내산업의 지속적인 성장으로 인하여, 산업부산물의 배출량이 날로 증가되고 있지만, 대부분의 산업부산물은 매립 처리되고 있는 실정으로, 자원으로서의 재활용은 매우 낮은 수준에 머물러 있다.

따라서, 산업 부산물의 처리가 심각한 사회문제로 대두되는 한편, 그 재활용 방안에 대한 관심이 고조되고 있다. 이에 본 연구는 부존자원의 고갈화 문제에 따른 신소재 개발이라는 성자원적인 측면과 산업부산물의 재활용이라는 환경친화적인 측면에 상응하여 현재 경북지역에서 발생하는 산업 폐기물인 가네트를 대상으로 제반 물성 실험을 통하여 콘크리트 제조시 활용할 수 있는 방안에 대해 실험실적을 통해 그 가능성을 검토하는데 목적이 있다.

2. 사용재료의 물성시험

2.1 시멘트

국내 S사제 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였

으며, 화학조성 및 물리적 성질은 다음과 같다.

Table 1 Chemical properties of cement

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

Table 2 Physical properties of cement

비중	분말도 (cm ² /g)	용결(h:m)		안정성 양호	압축강도(kg/cm ²)		
		초결	종결		3일	7일	28일
3.15	3140	3:45	7:18		210	280	376

2.2 골재

산골재는 경북 예천산 강모래를 사용하였으며, KS F 2502~2506에 따라 물리적 성질을 검토하였다.

Table 3 Physical properties of fine aggregate

종류	표준 비중	최대크기 (mm)	다회용적중량 (kg/m ³)	흡수율			
				공극율 (%)	건식율	수분율	수분율
잔류재	2.58	5	1564	1.05	47	53	2.91

2.3 가네트 미분말

1) 화학조성

가네트는 포졸란 반응성과 상관관계를 갖는 실리카와 알루미나의 함유량이 약 50% 정도로서 화학조성상 혼화재로서의 사용 가능성을 보여주었으며, 화학조성은 Table 4와 같다.

Table 4 Chemical properties of garnet

성분	SiO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO	Mn ₂ O ₃	P ₂ O ₅	lg -loss
조성비 (%)	33.4	19.29	32.51	2.16	7.36	0.02	0.01	2.8	0.94	0.04	2.65

2) 물리적 성질

가네트의 비중은 4.04로 측정 되었으며, 분말도는 13,950(cm²/g)로 측정 되었다.

가네트의 입도분포 곡선은 Fig. 2와 같다.

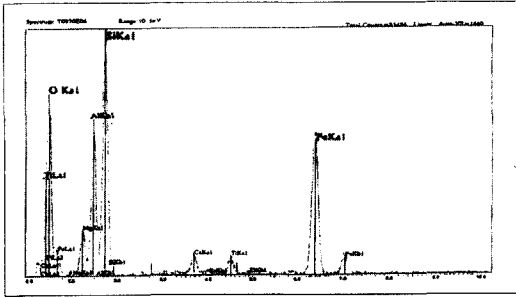


Fig.1 X-ray diffractogram of garnet

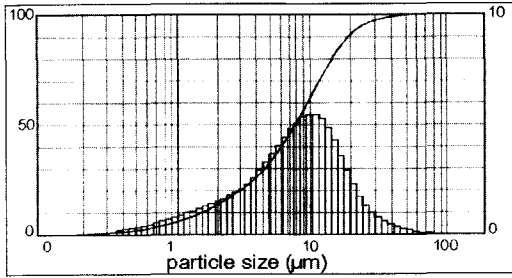


Fig. 2 Gradation curve of garnet

(3) 응결시간

시멘트 페이스트 및 가네트 치환 페이스트에 대해 응결시간을 측정하였으며, 가네트의 치환량이 많아질수록 응결 경화시간은 다소 짧아지는 것으로 나타났다.

Table 5 Setting time of mortar replaced by garnet

가네트 치환율(%)	응결경화시간(h-m)
0	7 : 18
5	6 : 35
10	6 : 25
15	6 : 20
20	6 : 05

(4) TG-DTA에 의한 열적 성질

Fig. 3은 가네트에 대한 열중량분석(TGA) 및 열시차분석(DTA)을 행한 결과이다.

열적 성질을 파악하기 위하여 분석시에 100 0℃ 까지 가열하였으며, 가네트에 대한 DTA에서는 약 700℃ 전후로 약간의 발열반응을 보였으며, TGA에 있어서 가네트의 중량 변화는 거의 없었다.

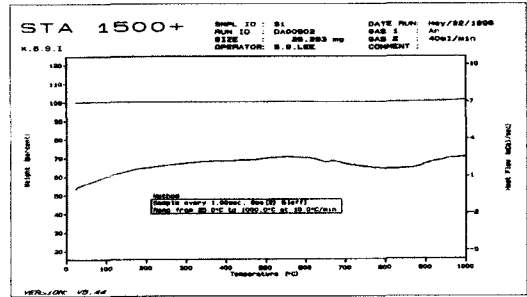


Fig. 3 TG-DTA diagram of garnet

(5) SEM에 의한 반응생성물의 형태

Photo 1은 가네트를 10%, 20%로 치환한 페이스트(재령 28일)의 주사형 전자 현미경 (Scanning electron microscope) 사진이다.

전자 현미경 사진 분석결과 가네트 치환 페이스트의 경우 가네트 치환 페이스트가 시멘트 페이스트에 비해 경화체의 구조가 더욱 치밀하며 내부 공극을 감소시킴으로써 강도 증진효과가 있을 것으로 기대된다.



(시멘트 페이스트)



(가네트 미분말 10% 치환)



(가네트 미분말 20% 치환)

Photo 1 Photo of garnet by scanning electron microscope

2.4 실리카 흙 및 플라이 애쉬

실리카 흙은 오스트리아산을 사용하였으며, 플라이애쉬는 국내 보령산을 사용하였다. 각각의 혼화재의 화학조성은 Table 6, Table 7과 같다.

Table 6 Chemical properties of Silica Fume

성분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	SO ₃	비중
조성비(%)	97.76	0.04	1.74	0.02	7.36	2.19

Table 7 Chemical properties of Fly-ash

성분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Na ₂ O	Ig-loss	비중
조성비(%)	58.2	22.29	7.27	1.1	0.3	0.8	5.2	2.3

3. 가네트를 사용한 모르터에 관한 실험

3.1. 실험계획

실험에 사용한 각 재료의 양은 모르터 강도시험의 기준에 따라 가네트의 치환율을 결합재 중량의 5, 10, 15, 20%를 치환하여 배합하였고, 물·결합재비는 35, 40, 45, 50%의 4종류로 모래는 일반 강모래를 사용하였다.

또한, 가네트를 사용한 모르터의 제성질을 평가하기 위하여 일반적으로 많이 사용되는 혼화재인 실리카 흙과 플라이애쉬를 사용하여 각각 물·결합재비 35%, 분체 : 모래의 중량배합비 1:2의 조건에서 가네트와 같은 치환율을 사용하여 비교실험을 하였다.

이와 같이 Table 8과 같은 각각의 변화에 따른 굳지 않은 모르터의 플로우 특성과 경화 모르터의 재령 3, 7, 28일의 압축강도 발현특성을 고찰하여 가네트의 첨가율에 따른 특성을 검토하였다.

Table 8 Experiment factor and level

실험 인자	水準	水準數
물-결합재 비	35, 40, 45, 50%	4
혼화재 치환율	0, 5, 10, 15, 20%	5
혼화재의 종류	가네트, 실리카흙, 플라이애쉬	3

3.2 시험체의 제작 및 양생

모르터의 혼합은 기계 비법으로 하였으며 먼저 시멘트, 모래, 혼화재의 분말을 혼합용기에 넣고 약 1분간 건비빔을 한 후 물을 넣고 1속으로 30초, 2속으로 1분간 혼합하였다. 성형시 5×5×5cm의 몰드를 사용하였으며 시험체는 각 배치당 압축몰드 4개씩 제작하였다.

3.3 시험 방법

굳지 않은 모르터의 플로우 시험과 경화 모르터의 압축강도 시험은 KS L 5105의 규정에 따라 행하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 실험결과

본 연구에서는 물·결합재비(35, 40, 45, 50%)와 가네트 치환율에 따른 플로우치 및 강도 특성과 기준에 사용되고 있는 혼화재인 실리카 흙과 플라이애쉬를 사용한 모르터의 강도 특성을 비교하였다. 각각의 실험결과를 Table 9와 Table 10에 나타내었다.

Table 9 Experiment results (Change of W/B ratio)

W/B (%)	혼화재 치환율	단위용적중량(kg/m ³)				실험결과			
		물	시멘트	가네트	모래	Flow (mm)	압축강도(kg/cm ²)		
						3일	7일	28일	
35	0	230	658	0	1317	132	383	439	466
	5	231	627	33	1320	133	350	453	483
	10	232	595	66	1324	135	307	427	514
	15	232	563	99	1326	138	268	371	496
	20	233	532	133	1330	141	285	397	482
40	0	255	636	0	1273	145	254	368	452
	5	255	606	32	1276	149	249	342	469
	10	256	575	64	1278	153	243	316	489
	15	256	545	96	1282	153	212	312	472
	20	257	514	129	1286	157	203	250	496
45	0	277	616	0	1232	209	207	305	410
	5	278	586	31	1234	215	175	351	379
	10	278	557	56	1238	220	164	359	410
	15	279	527	93	1240	233	153	312	423
	20	280	497	124	1242	239	149	296	405
50	0	298	596	0	1192	239	197	254	367
	5	294	568	30	1196	248	172	265	372
	10	300	539	60	1198	253	171	269	364
	15	300	510	90	1200	over	152	220	323
	20	301	481	120	1204	over	141	217	299

Table 10 Experiment results(Kind of admixture)

혼화재 종류	W/B	혼화재 치환율	단위용적중량(kg/m ³)				Flow (mm)			압축강도(kg/cm ²)		
			물	시멘트	혼화재	모래	3일	7일	28일			
가네트		0	230	658	0	1317	132	383	439	466		
		5	231	627	33	1320	133	350	453	483		
		10	232	595	66	1324	135	307	427	514		
		15	232	563	99	1326	138	268	371	496		
		20	233	532	133	1330	141	285	397	482		
실리카	35%	0	230	658	0	1317	132	383	439	466		
		5	229	622	33	1310	116	397	438	447		
		10	228	587	65	1304	115	381	413	564		
		15	227	552	97	1298	109	385	410	534		
		20	226	517	129	1292	108	355	426	494		
플라이	애쉬	0	230	658	0	1317	132	383	439	466		
		5	230	623	33	1312	129	231	359	442		
		10	229	588	65	1306	126	237	318	478		
		15	228	553	98	1302	119	238	315	475		
		20	227	518	130	1296	113	214	279	429		

4.2 실험결과의 분석

4.2.1 플로우값

1) 물결합재비의 변화에 따른 플로우치

Fig.4는 물결합재비(35, 40, 45, 50%)를 실험변수로하여 각각 가네트 치환율을 5, 10, 15, 20%씩 증가시켰을 때의 플로우치를 나타낸 것이다. 물결합재비와 가네트 치환율이 증가할수록 약

간씩 증가하는 비율로 나타났다.

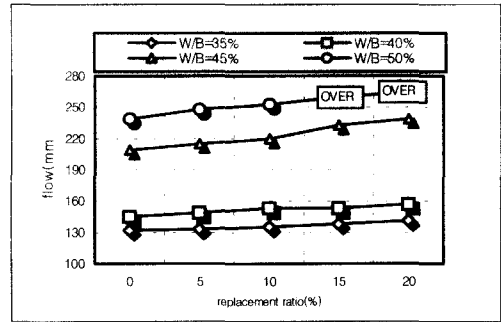


Fig. 4 Flow value of the change of W/B ratio(mm)

2) 혼화재의 종류에 따른 플로우치

Fig.5는 물결합재비 35%에서 각각의 혼화재 치환율별로 플로우치를 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 가네트 치환 모르터의 경우 치환율의 증가에 따라 플로우치는 약간씩 증가하는 경향을 나타내는데 반해 실리카 흙과 플라이애쉬의 경우 치환율의 증가에 따라 플로우치는 약간씩 감소하는 경향을 보였다.

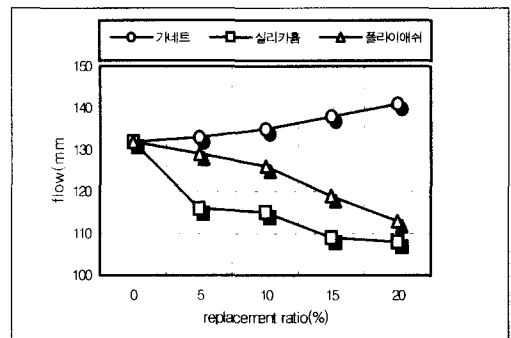


Fig. 5 Flow values of kind of admixture(mm)

4.2.2 압축강도

1) 가네트 치환율에 따른 압축강도

Fig. 6은 물결합재비별로 가네트 치환 모르터의 압축강도를 비교하여 나타낸 것이다.

물결합재비에 따른 가네트 치환 모르터의 강도 발현을 살펴보면 물결합재비가 낮은 경우 가네트

치환율에 관계없이 대체적으로 일반 모르터에 비해 동등 수준 이상의 강도발현을 나타냈으며, 최고의 강도 발현은 치환율 10~15% 수준으로 나타났으며, 물결합재비가 높은(50%) 경우 가네트 치환량이 많아질수록 강도 발현은 일반 모르터에 비해 저하되는 것으로 나타났다. 따라서 적정 치환율은 물결합재비에 따라 약간씩의 차이는 있지만 대체적으로 치환율 10% 정도 수준이 바람직할 것으로 사료된다.

2) 재령에 따른 압축강도

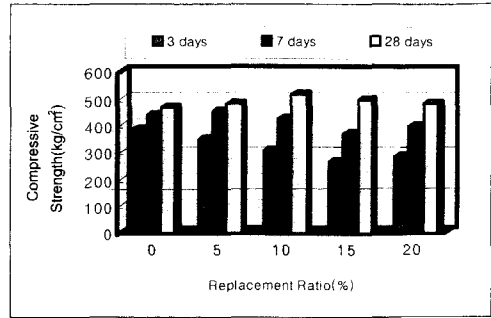
재령에 따른 강도변화율을 살펴보면, 초기재령(3일강도)의 경우 물결합재비의 변화에 관계없이 모든 가네트 치환 모르터가 일반모르터에 비해 상대적으로 강도발현이 약간씩 떨어지는 것으로 나타났으며, 치환량이 많아질수록 그 저하율은 크게 나타났다.

재령 7일의 경우 3일 강도에 비해 가네트 치환 모르터가 일반 모르터에 비해 상대적으로 강도발현이 큰 폭으로 상승하여 치환율 10% 정도 이내의 범위에서는 일반모르터에 비해 동일 이상의 강도발현을 나타내었으며, 재령 28일의 강도발현은 일반모르터에 비해 강도발현율이 10~15% 정도 상승하였다.

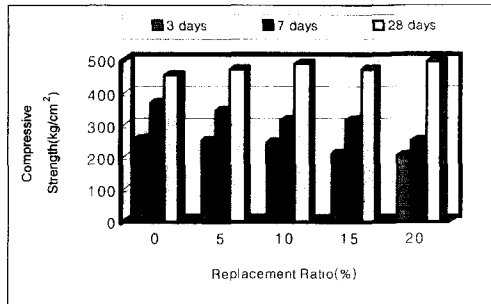
3) 혼화재의 종류에 따른 압축강도

Fig. 7은 각종 혼화재로 가네트와 실리카흄, 플라이애쉬를 사용하여 동일 조건(물결합재비:35%)에서 실험을 행하여 각각의 혼화재 치환율별로 압축강도를 비교한 것이다.

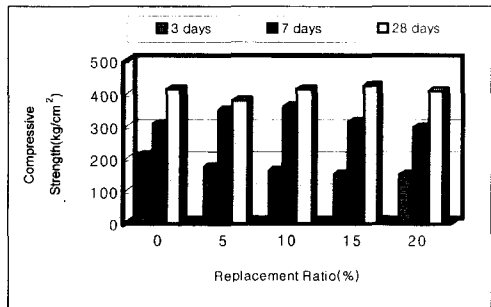
각종 혼화재 치환 모르터의 경우 혼화재 치환율에 관계없이 대체적으로 일반모르터에 비해 강도발현은 동 이상의 수준으로 나타났으며, 혼화재 종류별로 강도 발현을 비교해 보면 가네트 치환 모르터의 경우 플라이애쉬 치환 모르터와 비교해 볼 때 강도 발현은 비슷한 수준으로 나타났으며, 실리카 흄 치환 모르터와 비교하면 강도 발현은 약간 저하하는 것으로 나타났다.



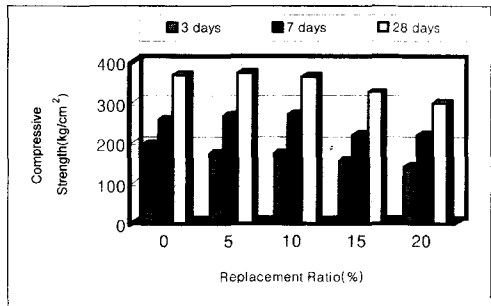
(W/B=35%)



(W/B=40%)



(W/B=45%)



(W/B=50%)

Fig. 6 Compressive strength of mortar replaced by garnet

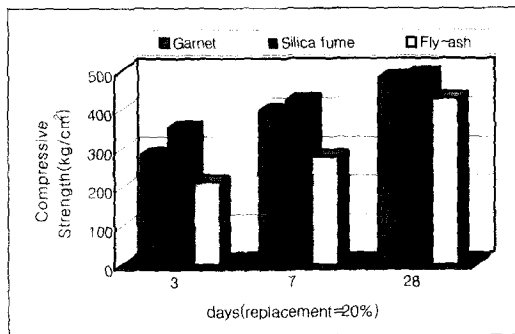
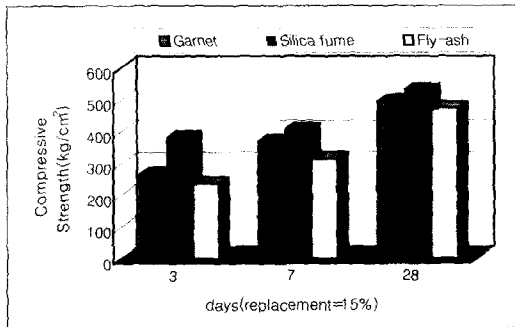
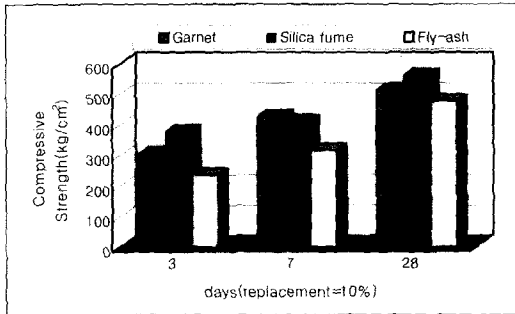
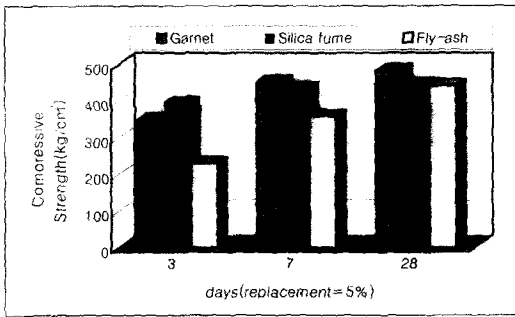


Fig. 7 Compressive strength of mortar by admixtures

또한 혼화재 치환율별로 강도 특성을 비교해 보면 치환율에 관계없이 플라이애쉬 치환 모르터와 비교해 보면 모든 재령에서 동수준 이상의 강도발현율을 보여주고 있으며, 실리카흄 치환 모르터와 비교해 보면 초기 재령에서는 상대적으로 강도발현이 떨어지나 재령의 증가함에 따라 강도발현이 상대적으로 큰 폭으로 상승하여 28일 강도발현은 비슷한 수준의 강도발현을 나타내었다.

따라서 적정량의 가네트를 사용한다면 콘크리트 제조시 시멘트 절감효과 및 성질 개선에 어느 정도의 효과를 줄 수 있을 것으로 기대된다.

5. 결론

본 연구는 경북지역에서 발생하는 산업 폐기물인 가네트 미분말을 대상으로 제반 물성 실험을 통하여 콘크리트 제조시 활용할 수 있는 방안에 대해 실험실적을 통해 그 가능성을 검토하기 위한 것으로써 연구내용을 요약하면 다음과 같다.

1) 가네트 미분말에 대한 물성 실험 결과 포졸란 반응성과 상관관계를 갖는 실리카와 알루미늄의 함유량이 약 50% 정도이며 화학조성상 혼화재로서의 사용 가능성을 보인다.

2) 가네트 치환율에 따른 응결시간은 가네트 치환율이 많아질수록 다소 줄어드는 것으로 나타났다으며, 플로우 시험결과 일반 모르터에 비해 가네트의 사용량이 많아짐에 따라 플로우치가 약간씩 증가하는 경향을 보이며 콘크리트에 활용시 시공연도를 증진시켜 줄 것으로 기대된다.

3) 모르터에 대한 압축강도 시험결과 물결함재비에 따라 약간씩의 차이는 있지만 대체적으로 일반 모르터에 비해 약간씩 압축강도를 상회하고 있으며 최적의 치환율은 물결함재비에 따라 차이가 있지만 10~20% 정도로 사료된다.

4) 기존 혼화재인 실리카 흄에 비해 압축강도 면에서는 약간 떨어지지만, 플라이애쉬에 비해서는 다소 상회하는 경향을 나타냄으로 일반 콘크리트 제조시 시멘트 절감효과는 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

추후 본 연구결과를 바탕으로 가네트를 사용한 콘크리트에 대한 지속적인 연구를 수행하여 가네

트의 효율적인 사용방안 및 가네트를 사용한 고강도 콘크리트에 관한 연구를 행할 예정이다.

참고문헌

1. 김화중 외 3인 : 콘크리트에 있어서 시멘트 질감을 위한 천연광물의 이용에 관한 연구, 산학연 공동기술개발 연구보고서, 1994.7
2. 김화중 외 3인 : 천연제올라이트를 이용한 콘크리트의 성질개선에 관한 기초적 연구, 한국학술진흥재단 연구보고서, 1993
3. 김 화중 외 3인 : 혼화제로서 천연 제올라이트 및 이암의 활용성 검토에 관한 연구, 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제 5권 제 2호, 1993.11, pp 167-172
4. 오병환 : 콘크리트 강도 및 내구성 향상과 혼화재료의 역할, 고려산업개발 콘크리트 기술세미나, 1997, pp 11-51
5. 건설교통부 : 국내 실정에 맞는 고강도 콘크리트의 개발 및 실용화 연구, 94 연구개발사업 보고서, 1995.10
6. 김화중 : A study on investigation for effectiveness of natural minerals with silica- component as admixture for concrete, 한국콘크리트학회 논문집, 1994.6
7. 한국 콘크리트학회, 최신콘크리트공학, 기문당
8. 兒玉和己, セメントコクリト用混和材料, 技術書院, 1986
9. 白井 馬 外 1人: ガ-ネト砂を用いたポリマ-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
10. 白井 馬 外 1人: ガ-ネト砂を用いたポリマ-セメントモルタルの強さ性狀, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1996.9, pp 855~866
11. P.Jahren, Use of Silica Fume in Concrete, Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Mineral By-Products in Concrete, ACI, SP-79, 1983, pp 625-642
12. A.M.Neville, Properties of Concrete ,The Pitman Press, 1973

요 약

본 연구는 부존자원의 고갈화 문제에 따른 신소재 개발이라는 성자원적인 측면과 산업부산물의 재활용이라는 환경친화적인 측면에 상응하여 현재 경북지역에서 발생하는 산업 폐기물인 가네트를 대상으로 제반 물성 실험을 통하여 콘크리트 제조시 활용할 수 있는 방안에 대해 실험실적을 통해 그 가능성을 검토하였다. 그 결과 가네트 미분말은 포졸란 반응성과 상관관계를 갖는 실리카와 알루미늄의 함유량이 약 50% 정도으로써 화학조성상 혼화제로서 사용 가능성을 보여 주었으며, 응결시간은 가네트 치환량이 많아 질수록 다소 줄어드는 것으로 나타났으며, 플로우 시험결과 일반 모르터에 비해 가네트의 사용량이 많아 짐에 따라 플로우치가 약간씩 증가하는 경향을 보이며 콘크리트에 활용시 시공연도를 증진시켜 줄 것으로 기대된다. 또한 모르터에 대한 압축강도 시험결과 물결합재비에 따라 약간씩의 차이는 있지만 대체적으로 일반 모르터에 비해 약간씩 압축강도를 상회하고 있으며 최고의 강도 발현율은 치환율 10% 정도로 사료되며, 기존 혼화재(실리카 흙, 플라이애쉬)에 비해 동수준의 강도 발현율을 나타냄으로써, 콘크리트 제조시 시멘트 절감효과 및 성질개선을 위한 혼화제로써의 사용가능성을 보여 주었다.

(접수일자 : 1998. 9. 9)