Journal of The Korea Institute of Building Construction
Vol. 23, No. 4, pp. 359-367 / August, 2023
https://doi.org/10.5345/JKIBC.2023.23.4.359

pISSN 1598-2033
eISSN 2233-5706
www.jkibc.org

Research Paper

페로니켈슬래그를 잔골재로 사용한 비소성 시멘트 모르타르의 강도 특성

Strength Characteristics of Non-Sintered Cement Mortar Utilizing Ferro-Nickel Slag as Fine Aggregate

류지수[1] · 장경수[2] · 나형원[3] · 형원길[4]*

Ryu, Ji-Su[1] · Jang, Kyung-Su[2] · Na, Hyeong-Won[3] · Hyung, Won-Gil[4]*

[1]Master's Course, School of Architecture, Yeungnam University, Gyeongsan-si, Gyeonsangbuk-do, 38541, Korea
[2]Ph.D Course, School of Architecture, Yeungnam University, Gyeongsan-si, Gyeongsangbuk-do, 38541, Korea
[3]CEO of HaeWon, Doctor of Engineering, 333, Daegudae-gil, Geumho-eup, Yeongcheon-si, Gyeongsangbuk-do, 38911, Korea
[4]Professor, School of Architecture, Yeungnam University, Gyeongsan-si, Gyeongsangbuk-do, 38541, Korea

*Corresponding author
Hyung, Won-Gil
Tel : 82-53-810-2597
E-mail : beda@yu.ac.kr

Received : April 26, 2023
Revised : June 16, 2023
Accepted : July 12, 2023

ABSTRACT

This experimental study investigates the replacement of conventional Portland cement and sand with non-sintered cement and ferro-nickel slag to formulate eco-friendly cement mortar. The examination aimed to understand the strength properties of non-sintered cement mortar using ferro-nickel slag as fine aggregate by classifying mortar production types, fine aggregates, and curing methodologies. From flexural and compressive strength tests, it was observed that non-sintered cement mortars, incorporating ferro-nickel slag as fine aggregate, exhibited superior strength when compared to both plain mortar and steam-cured non-sintered mortar. This increased strength is attributed to the influence of the particle size, density, and absorption capabilities of the ferro-nickel slag. Furthermore, X-ray Diffraction(XRD) analyses of the mortars verified the presence of MgO, a component of ferro-nickel slag, in the form of a composite oxide. This finding substantiates the consistent strength manifestation of non-sintered cement mortars utilizing ferro-nickel slag as a fine aggregate.

Keywords : ferro-nickel slag, non-sintered cement mortar, curing method, strength properties

1. 서 론

페로니켈(Ferro-Nickel)은 스테인리스 스틸의 주원료로 로터리 킬른 설비와 전기로 공정을 통해 생산되며, 니켈을 생산하는 과정에서 페로니켈슬래그(Ferro-Nickel Slag)가 발생된다. 페로니켈슬래그는 대부분 모래와 같은 상태로 부산되며, 염기도가 비교적 낮아 물리·화학적으로 안정되어 있다[1].

국내에서는 페로니켈 생산체제가 2008년도에 갖춰짐에 따라 연간 약 30만톤의 페로니켈이 생산되고 있으며 제련과정에서 매년 200만 톤 이상의 페로니켈슬래그가 발생되고 있다. 현재 철강 산업에서 발생되는 부산물은 고로 및 제강 슬래그를 합쳐 매년 약 2,400만 톤으로 추정되고 있으나 활용방안에 대한 연구개발은 주로 고로슬래그(Blast Furnace Slag)에 치중된 경향이 있다[2]. 페로니켈슬래그는 SiO_2, MgO 등의 성분으로 구성되어 있으며, 공기 중 서냉시킨 괴재슬래그(Prime Stone)와 물로 급냉시킨 수쇄슬래그(Prime Sand)로 분류된다. 이 중 수쇄슬래그를 콘크리트용 잔골재로 활용하기 위한 연구개발이 진행되었으며[3,4], KS F 2527 콘크리트용 골재 규격에 포함된다.

국외 연구에서는 페로니켈슬래그를 잔골재로 사용하는 경우 치환율 약 50% 이하의 범위 내에서 압축강도 증가 경향을

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright © 2023 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

나타내며, 이는 배합수량 감소효과에 의한 것으로 보고되었다[5,6]. 국내 연구에서도 페로니켈슬래그를 잔골재로 일부 치환한 결과, 페로니켈슬래그는 유리질 피막에 의해 낮은 흡수율을 나타내고 결합재의 유동성을 증가시키며, 치환율 약 50% 범위에서 압축강도 향상을 나타내는 것으로 보고하였다[7-11]. 이외에도 페로니켈슬래그는 스테인리스 스틸을 제조하기 위한 주원료에서 파생된 부산물인 만큼 내부식성, 내화학성 등이 뛰어난 고유의 성질을 가지고 있는 것으로 보고되었다. 그러나 페로니켈슬래그 잔골재 활용방안에 대한 연구개발은 주로 잔골재의 일부를 치환하거나 고로슬래그 잔골재와 같은 산업부산물과 혼입하여 혼합슬래그로 사용하는 경향이 있으며, 적정 치환비율은 포틀랜드 시멘트 배합을 기반으로 도출된 것이다. 포틀랜드 시멘트는 우리 생활 전반을 차지하고 있는 중요한 건설재료이나 고온의 소성과정을 통해 온실가스를 다량으로 배출하는 산업으로 알려져 있다. 시멘트 산업에서는 온실가스 감축을 위한 핵심기술로 혼합 시멘트 및 온실가스 배출 단위가 낮은 시멘트 제조방안을 제시하고 있으며 건설 산업에서도 제철 및 화력발전으로 발생되는 고로슬래그 및 플라이애시를 일정비율 혼합하여 사용하고 있다[12]. 또한 최근 환경정책의 시행으로 천연자원의 채취가 제한적으로 이루어지고 있으며[13], 환경 부담금에 따른 건설재료 원가상승으로 기존 건설재료 대체 방안에 대한 요구가 증대되고 있다[14].

따라서 본 실험에서는 포틀랜드 시멘트 대신 산업부산물을 이용하여 비소성 시멘트를 제조하고 페로니켈슬래그를 잔골재로 100% 치환한 친환경 모르타르를 제안하였다. 여기서 비소성 시멘트란 소성 과정을 거쳐야 생산할 수 있는 클링커 대신 비소성 산업부산물로 대체한 시멘트를 의미한다. 비소성 시멘트에 사용된 재료와 페로니켈슬래그의 물리·화학적 특성을 분석하고 골재 종류와 양생방법을 구분하여 페로니켈슬래그를 잔골재로 100% 치환한 비소성 시멘트 모르타르의 강도 발현 특성을 파악하였다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1 사용 재료의 화학적 특성

Table 1은 본 실험에서 사용한 재료의 화학적 특성을 정성적으로 분석하기 위해 에너지 분산형 X-선 분광법(Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy, EDS)을 실시하였다. 고로슬래그 미분말(Blasted furnace slag, 이하 BS)은 Ca, O, Si, Al 성분이 약 99wt%를 차지하고 있으며, 주성분이 1종 보통 포틀랜드 시멘트(Ordinary Portland Cement, 이하 OPC)와 유사함을 알 수 있다. 순환유동층 플라이애시(Circulating fluidized bed combustor fly ash, 이하 CFA)가 포함하는 다량의 Ca, O, S 성분은 초기 반응성에 영향을 줄 수 있으며, 미분탄 플라이애시(Pulverized coal combustion fly ash, 이하 FA)가 포함하는 Si, O 성분은 포졸란 반응을 통해 장기강도에 영향을 줄 수 있으므로 혼합하여 사용하는 경우 상호 보완적인 효과를 발휘할 것으로 사료된다. 또한 골재로 사용한 페로니켈슬래그(Ferro-Nickel Slag, 이하 FNS)는 Si 성분이 약 34wt%, Mg 성분이 약 24wt%로 구성되는데 원재료 및 표준사(Sand)와 비교하여 Mg 성분이 비교적 높은 경향이 있다.

Table 1. EDS data for raw materials and aggregates

Element		BS	CFA	FA	OPC	Sand	FNS
Weight (%)	C	-	-	-	-	10.02	-
	O	35.60	33.53	52.47	46.64	56.48	40.33
	Mg	1.25	-	-	-	-	24.96
	Al	4.03	-	13.68	1.89	1.73	-
	Si	12.35	-	32.80	10.05	31.78	34.71
	S	-	24.65	-	-	-	-
	Ca	46.76	41.82	-	38.49	-	-

Table 2. Composition of material elements

Name	Chemical composition(%)					
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3
BS	31.08	13.66	0.49	46.79	2.55	3.05
CFA	3.80	1.32	0.51	62.05	3.34	27.55
FA	66.49	19.21	5.06	3.86	1.50	0.48
OPC	15.16	4.13	3.86	67.53	3.59	3.25
FNS	52.08	2.12	7.2	0.64	33.8	-

Table 2는 본 실험에서 사용한 재료의 XRF(X-Ray Fluorescence spectrometry) 분석 결과를 나타낸 것이다. Table 1 및 Table 2를 통해 FNS는 다량의 MgO 성분을 포함하고 있으나 이는 OPC 관련 규격(KS L 5201)에서 규정하는 팽창성의 MgO 성분과는 차이가 있다. 선행연구에서는 Total CaO에서 체적팽창을 유발하는 Free CaO를 나누듯이 MgO 또한 수화물 Brucite($Mg(OH)_2$)를 형성하는 Free MgO를 구분할 필요가 있다는 것이다. 이는 FNS를 미분말 형태로 OPC와 혼합하여 사용하는 경우에도 적용되는 것으로 Hydrocalurnite($Ca_4Al_2O_6Cl_2 \cdot 10H_2O$) 및 Pseudo-ettringite($3CaO \cdot Al_2O_2 \cdot CaMgO_4 \cdot 2H_2O$)와 같은 수화물을 형성하며 장기강도 향상에 기여하는 것으로 볼 때 팽창성은 나타나지 않는 것으로 보고하였다[15]. 또한 FNS를 골재로 사용하는 경우 FA 혼입으로 FNS가 반응할 수 있는 Portlandite($Ca(OH)_2$)를 줄임으로써 팽창성이 완화할 수 있는 것으로 보고된 바 있다. 즉 FNS와 반응할 수 있는 Free Alkali가 줄어들어 팽창이 감소하는 것이다[16].

비소성 시멘트(Non-Sintered Cement, 이하 NSC)는 BS를 기반으로 CFA와 FA를 혼합하여 제조하였다. CFA는 잠재수경성인 BS의 수화반응을 촉진하기 위해 사용하였고, FA는 CaO 함유량이 높은 CFA의 안정성을 보완할 목적으로 사용하였다[17]. 이와 같이 NSC는 산업부산물로 구성된 시멘트로 KS L 5201 규정을 만족하는 OPC와 구별된다.

2.2 사용 재료의 물리적 특성

Figure 1은 본 실험에서 사용한 골재의 물리적 외관을 비교한 것이다. (a) 표준사(Sand)는 천연자원이지만 입도조정을 거친 제품(KS L ISO 679)을 사용하였으며, (b) FNS는 KS F 2527 규격을 만족하는 수쇄슬래그를 사용하였다.

(a) Sand (b) FNS

Figure 1. Aggregate comparison

Figure 2는 골재 체가름 시험[18]에 의해 각 체의 통과량을 입도분포곡선으로 나타낸 것이다. 본 실험에서 사용한 표준사(Sand) 및 FNS는 KS F 2527 규격보다 미세한 경향이 있다. 표준사는 0.6mm 체를 완전히 통과하며, 0.3mm 체에 98% 잔존한다. FNS는 KS F 2527 규격을 만족하는 수쇄슬래그를 체가름한 것으로 0.3mm 체를 기준으로 누적 잔존율은 84%를 나타낸다.

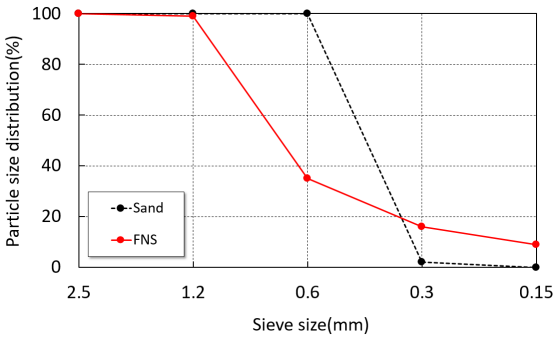


Figure 2. Distribution of aggregate particle size

Table 3. Density and absorption metrics for aggregates

Experiment		Sand	FNS
Density (g/cm^3)	surface dry	2.63	2.95
	absolute dry	2.61 (Above 2.5)	2.94 (Above 2.7)
Absorption ratio (%)		1.4 (Below 3.0)	0.6 (Below 3.0)

Table 3는 본 실험에서 사용한 골재의 표면 건조 포화 상태의 밀도, 절대 건조 상태의 밀도, 흡수율을 나타낸 것이다. 골재의 체가름 시험은 KS F 2502 규격에 따라 실시하였으며, 밀도와 흡수율 시험은 KS F 2504 규격에 따라 표면 건조 포화 상태의 밀도, 절대 건조 상태의 밀도, 흡수율을 식 (1)~(3)과 같이 산출하였다.

$$d_s = \frac{m}{B+m-C} \times p_w \tag{1}$$

d_s : 표면 건조 포화 상태의 밀도(g/cm^3)
m : 표면 건조 포화 상태의 시료의 질량(g)
C : 시료와 물로 검정된 용량을 나타낸 눈금까지 채운 플라스크의 질량(g)
B : 검정된 용량을 나타낸 눈금까지 물을 채운 플라스크의 질량(g)
P_w : 시험 온도에서 물의 밀도(g/cm^3)

$$d_d = \frac{A}{B+m-C} \times p_w \tag{2}$$

d_d : 절대 건조 상태의 밀도(g/cm^3)
A : 절대 건조 상태의 시료의 질량(g)

$$Q = \frac{m-A}{A} \times 100 \tag{3}$$

Q : 흡수율, 질량 백분율(%)

FNS의 밀도 및 흡수율 시험 결과 KS F 2527 규격을 만족하였으며, 표준사보다 밀도는 높고 흡수율이 낮은 특성을 나타낸다. 이는 FNS 표면이 유리질을 포함하고 있는 특성으로 재료 자체의 공극이 적어 흡수율이 낮은 것으로 볼 수 있다[19]. 절대 건조 상태의 밀도는 절대 용적 내의 공극에 존재하는 수분이 전부 제거된 상태의 밀도이며, 표면 건조 포화 상태의 밀도는 단위 용적 내의 공극에 수분이 차있는 상태의 밀도로 골재의 함수 상태를 나타낸다. 이에 따라 흡수율은 단위체적 내의 공극에

따라 결정된다고 할 수 있다[20]. 따라서 상대적으로 공극이 적은 FNS는 밀도가 높아 골재 자체의 강도와도 연관이 있으므로 이는 결합재의 강도 향상으로 이어질 수 있다.

2.3 실험 방법

Table 4는 실험 계획을 정리한 것으로 FNS를 잔골재로 사용한 NSC 모르타르(이하 F-NSC)의 휨 및 압축강도 시험과 X선 회절 분석(X-ray Diffraction, 이하 XRD)을 통해 재령에 따른 강도발현과 결정상을 확인하였다.

Table 5은 본 실험의 배합조건을 나타낸 것으로 기초실험[21,22]을 통해 도출하였다. 결합재는 표준사와 OPC를 사용한 모르타르(이하 Plain), 표준사를 잔골재로 사용한 NSC 모르타르(이하 S-NSC), F-NSC로 구분된다. 결합재(Binder)와 골재(Sand, FNS)의 중량비는 1:3이며, 물결합재비(W/B)는 0.4로 설정하였다.

모든 배합의 모르타르는 타설 후 24시간 습윤 양생 후 탈형하여 20±2°C 조건에서 수중 양생을 실시하였다. 단, 증기양생을 실시한 NSC 모르타르(이하 S-NSC-steam)는 타설 후 상온에서 1시간 정치한 후 최고 온도 60±5°C에서 5시간을 유지하고 서서히 냉각하였다. 이후에는 다른 배합과 동일하게 양생하였다. 휨 및 압축강도 시험은 만능재료시험기(HST-50CS, Hansin kumpung)를 사용하여 재령 7, 28, 56일 측정하였다. 결정구조는 X선 회절 분석기(MPD for bulk, Diatome)를 이용하여 40kv, 30mA, angle 10~70° 조건에서 측정하였다.

Table 4. Experiment design

Type	Experiment
Mortar	Flexural strength[7, 28, 56 day] Compressive strength[7, 28, 56 day] XRD[7, 28 day]

Table 5. Proportions for mortar mixtures

Type	W/B	Binder weight(g)				B:S	B:F
		BS	CFA	FA	OPC		
Plain	0.4	-	-	-	525	1:3	-
S-NSC	0.4	420	53	53	-	1:3	-
F-NSC	0.4	420	53	53	-	-	1:3

3. 실험 결과

3.1 휨 및 압축강도 시험

Figure 3는 F-NSC의 휨강도 시험 결과를 나타낸 것이다. 골재 종류와 양생방법에 따라 강도 발현 특성은 다르게 나타난다. F-NSC의 재령 7일 휨강도는 10.2MPa로 동일 재령 Plain 및 S-NSC보다 휨강도 성능 확보가 빠르게 나타났다. 재령 7일 이후에도 F-NSC의 강도는 재령 28일 15.3MPa, 재령 56일 15.4MPa로 다른 조건의 모르타르보다 우수한 강도 향상 및 유지를 나타내고 있다. S-NSC-steam은 증기양생을 통해 몰드 탈형 후 8.1MPa로 가장 빠르게 휨강도를 발현하지만 재령 7일 이후부터는 큰 강도 변화 없이 유지되는 양상을 보이고 있다. 따라서 초기에 빠른 휨강도 확보를 목표로 한다면 S-NSC-steam 조건을 고려할 수 있으나, 투입 에너지를 고려할 때 FNS 사용이 더욱 유리할 것으로 판단된다.

Figure 4는 F-NSC의 압축강도 시험 결과를 나타낸 것이다. F-NSC의 재령 7일 압축강도는 18.2MPa로 동일 재령 Plain 및

S-NSC보다 압축강도 성능 확보가 빠르고 재령 7일 이후에도 압축강도는 재령 28일 25.8MPa, 재령 56일 27.8MPa로 꾸준하게 향상된다. F-NSC의 재령 28일, 재령 56일 강도는 각각 25.8MPa, 27.8MPa로 다른 조건의 모르타르보다 높은 압축강도를 나타낸다. S-NSC-steam는 증기양생을 통해 몰드 탈형 후 12.1MPa로 가장 빠르게 압축강도를 발현하지만 재령에 따른 강도 증가율은 낮게 나타나고 있다.

상온양생을 실시한 S-NSC의 강도 시험 결과, 휨강도 발현에 유리한 배합조건으로 판단되나 FNS 사용 시 압축강도 발현에도 유리하게 작용할 수 있음을 알 수 있다. 이와 같은 강도 발현 특성은 FNS의 입도와 밀도, 흡수율에 따른 결과로 판단된다. 표준사보다 입도 범위가 넓은 특성으로 NSC 모르타르 내부의 공극을 줄이거나 입도분포 향상에 기여할 수 있으며[23], 밀도가 높은 골재 사용 및 단위수량 저감에 따른 강도 증진 효과로 분석할 수 있다.

일반적으로 BS 및 FA와 같은 산업부산물을 다량 치환하는 경우에는 반응성 향상을 목적으로 알칼리 또는 산성의 화학 혼화제를 사용하거나 양생온도를 높여 수화반응을 촉진시키는 경향이 있다. 그러나 본 실험 조건에서 FNS를 잔골재로 사용하는 경우 추가 재료와 촉진양생을 실시하지 않고도 NSC 모르타르의 강도 증진이 가능함을 확인하였다.

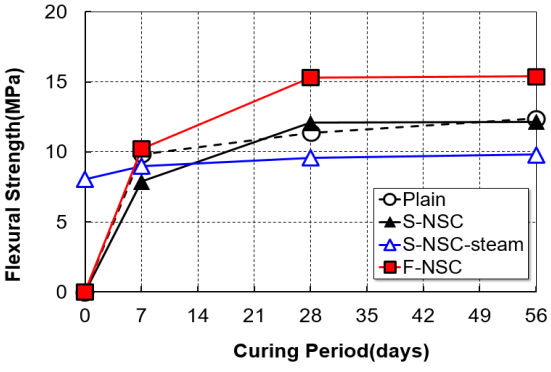


Figure 3. Flexural strength metrics for mortars

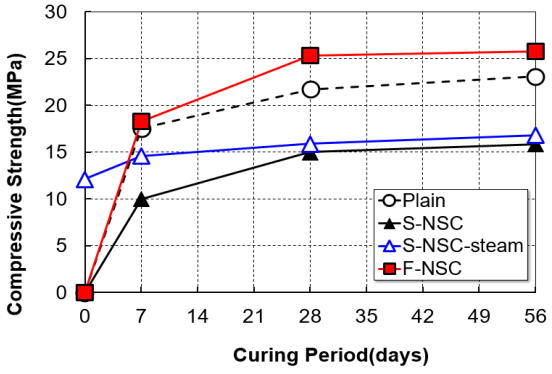


Figure 4. Compressive strength metrics for mortars

3.2 XRD 분석

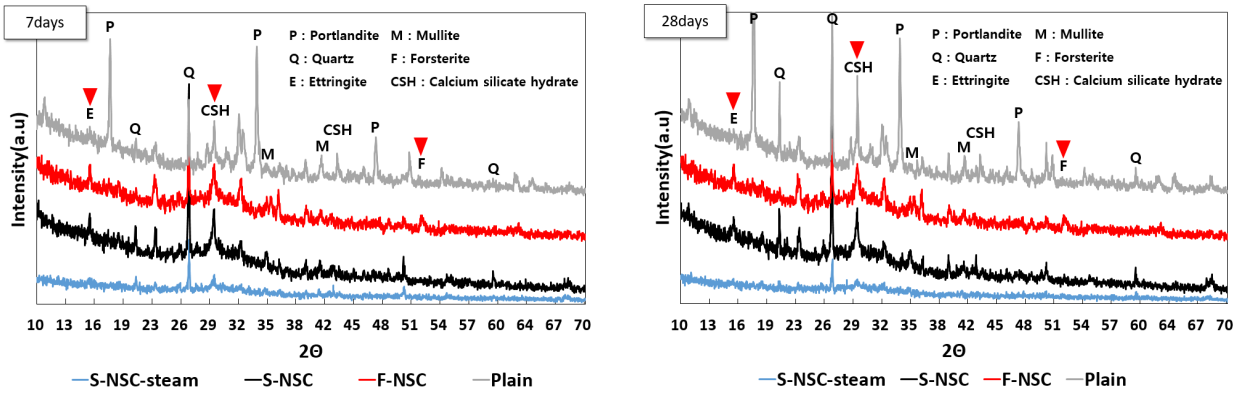
Figure 5는 F-NSC의 XRD 분석 결과이다. 결합재 및 양생방법에 따른 결과를 재령에 따라 구분하여 (a)와 (b)로 나타내었다.

Plain은 Portlandite($Ca(OH)_2$) 생성에 따른 피크를 18°, 34°, 47°(2θ) 부근에서 확인할 수 있다.

NSC 모르타르는 Plain과 대조적으로 일부 결정상의 피크만 명확하게 나타나며, 수화생성물의 존재가 명확하게 드러나지는 않는 경향이 있다. 이는 전형적인 비결정성 Calcium Silicate를 의미한다. NSC에 존재하는 CaO 성분의 수화반응으로 생성된 $Ca(OH)_2$가 BS를 자극하여 비결정성 Calcium Silicate 생성을 유도한 것으로 보인다[24]. 그러나 증기양생을 실시한 S-NSC-steam은 수화반응이 빠르게 진행됨에 따라 명확한 Ettringite($Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12}\cdot 26H_2O$) 피크를 확인하기 어렵다.

상온양생을 실시한 S-NSC의 Quartz(SiO_2) 피크는 재령이 지남에 따라 낮아지는 경향을 보이는데 이는 원재료 FA의 영향으로 분석된다. FA의 Si 성분은 약 32 wt%로 원재료 중에서 가장 높게 나타난다. 즉, FA는 반응에 참여하지 않고 잔존해 있다가 재령이 지남에 따라 서서히 반응하는 것으로 분석된다. 또한 Mullite($3Al_2O_3\cdot 2SiO_2$)가 혼재된 특성으로 Calcium silicate 생성에 기여할 수 있으므로 장기강도 발현에 유리하게 작용할 수 있다.

상온양생을 실시한 F-NSC는 Quartz(SiO_2) 피크가 상대적으로 높지 않고 50°, 60°(2θ) 부근에서도 확인이 어렵다. 다만 미수화물인 Forsterite(Mg_2SiO_4) 피크를 52°(2θ) 부근에서 뚜렷하게 관찰할 수 있는데 이는 FNS 사용에 따른 결과로 판단되며, 재령 7일과 28일 동일한 경향으로 나타난다. XRD 분석 결과 FNS 사용에 따른 반응성은 확인할 수 없으며, MgO 성분은 Forsterite(Mg_2SiO_4)과 같은 복합 산화물 형태로 존재함을 확인할 수 있다[25].



(a) 7days (b) 28days

Figure 5. XRD data for mortars

4. 결 론

본 실험에서는 기존 건설재료 대신 산업부산물을 이용한 친환경 모르타르를 제안했으며, 페로니켈슬래그를 사용한 모르타르의 강도 특성을 분석하였다. 페로니켈슬래그를 사용한 모르타르의 강도 특성을 파악하기 위해 골재 종류와 양생방법을 구분하였으며, 실험에서 사용한 모르타르 구성 재료의 기초 물성 분석 후 모르타르의 휨 및 압축강도 시험, XRD 분석을 실시하였다. 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 비소성 시멘트의 기반재료인 고로슬래그 미분말은 순환유동층 플라이애시에 의해 초기에 수화 촉진이 가능하며, 미분탄 플라이애시를 통해 장기강도를 발현할 수 있다. 따라서 비소성 시멘트 모르타르의 강도 발현은 고로슬래그 미분말을 기반으로 혼합 사용된 플라이애시 간의 상호보완적인 특성에 의해 나타나는 것으로 판단된다.
2) 본 실험조건에서 페로니켈슬래그는 천연 잔골재인 표준사보다 입도 분포가 넓고 밀도는 표준사 대비 약 11% 높으며 흡수율은 표준사 대비 약 57% 낮게 나타났다.
3) 페로니켈슬래그를 사용한 비소성 시멘트 모르타르의 휨 및 압축강도 시험 결과, Plain보다 휨강도가 약 25% 높고 압축강도는 약 14% 높게 나타났다. 이는 표준사보다 입도 범위가 넓은 페로니켈슬래그의 특성으로 비소성 시멘트 모르타르 내부의 공극을 줄이거나 입도분포 향상에 기여할 수 있으며, 밀도가 높은 골재 사용 및 단위수량 저감에 따른 강도 증진 효과로 분석할 수 있다.
4) 페로니켈슬래그를 사용한 모르타르의 XRD 분석 결과 페로니켈슬래그 사용에 따른 반응성은 나타나지 않았으며, MgO 성분은 복합산화물의 형태로 존재함을 확인하였다.

본 실험 결과 페로니켈슬래그를 사용한 비소성 시멘트 모르타르의 강도 특성은 Plain에 비해 안정적인 강도 증진 효과를 나타내고 있으며 이에 따라 산업부산물을 재활용한 비소성 시멘트와 페로니켈슬래그의 포틀랜드 시멘트 및 천연 골재 대체 가능성을 확인하였다.

요 약

본 실험에서는 포틀랜드 시멘트와 모래를 비소성 시멘트와 페로니켈슬래그로 대체 사용하여 친환경 시멘트 모르타르를 제작하였다. 페로니켈슬래그가 적용된 비소성 시멘트 모르타르의 강도 특성을 파악하기 위해 골재 종류와 양생방법을 구분하였다. 휨 및 압축강도 시험 결과, 페로니켈슬래그가 적용된 비소성 시멘트 모르타르의 강도는 Plain과 증기양생을 실시한

비소성 시멘트 모르타르의 강도보다 높았다. 이는 페로니켈슬래그의 입도, 밀도 및 흡수율 특성에 따른 강도 향상 효과로 판단된다. 모르타르의 XRD 분석 결과, 페로니켈슬래그에 포함된 MgO 성분이 복합 산화물 형태로 존재하며, 이를 통해 페로니켈슬래그가 적용된 비소성 시멘트 모르타르의 안정적인 강도 발현을 확인하였다.

키워드 : 페로니켈슬래그, 비소성 시멘트 모르타르, 양생방법, 강도 특성

Funding

This research was supported by the National Research Foundation of Korea with the funding of the government(Ministry of Science and ICT)(2023R1A2C2003956).

ORCID

Ji-Su Ryu, http://orcid.org/0009-0006-2602-3237
Kyung-Su Jang, http://orcid.org/0000-0003-2292-2981
Hyeong-Won Na, http://orcid.org/0000-0001-6367-5038
Won-Gil Hyung, http://orcid.org/0000-0003-2639-8929

References

1. Park IH. A study on grouting material using ferronickel slag (FNS) powder [dissertation]. Chosun University; 2017. 105 p.
2. Choi SJ. An experimental study on the hydration, shrinkage and product applicability of concrete using ferronickel slag powder. Iksan (Korea): Wonkwang University; 2020 Mar. 34 p. Report No.: TRKO202100001973.
3. Cho BS, Lee HH, Choi YW, Park DC, Choi YC. A study on performance of concrete using feni slag aggregate. Proceedings of the Conference of the Korean Concrete Society; 2014 Oct 15-17; Boryeong, Korea. Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2014. p. 583-4.
4. Kim WJ, Hong SB, Kim PS, Cho BS. Research on the Concrete using Ferro-nickel Slag for Fine aggregate. Proceedings of the Conference of the Korean Concrete Society; 2011 Nov 9-11; Pyeongchang, Korea. Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2011. p. 453-4.
5. Saha AK, Sarker PK. Compressive strength of mortar containing ferronickel slag as replacement of natural sand. Procedia Engineering. 2017 Feb;171:689-94. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.410
6. Saha AK, Sarker PK. Sustainable use of ferronickel slag fine aggregate and fly ash in structural concrete: mechanical properties and leaching study. Journal of Cleaner Production. 2017 Jun;162:438-48. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.035
7. Seo DM, Kim YU, Kim TS, Kim DB, Choi JH, Choi SJ. Evaluation of the flowability and strength of mortar by replacement ratio of ferro-nickel slag sand. Proceeding of Korea Concrete Institute; 2016 May 16; Yeosu, Korea. Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2016. p. 591-2.
8. Kim HS, Choi SW, Lee KM, Choi SJ. Compressive strength properties of stream-cured concrete using ferronickel slag fine aggregate. Proceeding of Korea Concrete Institute; 2015 May 14; Gwangju, Korea. Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2015. p. 541-2.
9. Cho BS, Lee HH, Choi YW, Park DC, Choi YC. A study on performance of concrete using feni slag aggregate. Proceeding of

Korea Concrete Institute; 2014 Oct 16; Boryeong, Korea. Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2014. p. 583-4.

10. Kim DB, Min SH, Kim JH, Ban JM, Choi SJ. Evaluation of fluidity and compressive strength of mortar bt grading variation of ferro-nickel slag sand. Proceeding of Korea Institute of Building Construction; 2017 May 11; Gyeongju, Korea. Seoul(Korea): Korea Institute of Building Construction; 2017. p. 206-7.
11. Kim YU, Kim TS, Seo DM, Kim SJ, Han JM, Choi SJ. Fluidity and strength property of mortar using ferro-nickel salg sand by mineral admixtrue replacement ratio. Proceeding of Korea Concrete Institute; 2016 May 12; Yeosu, Korea. Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2016. p. 217-8.
12. Lee GE. Strategies and policy tasks for carbon neutralization in the domestic cement industry. Sejong (Korea): Korea Institute for Industrial Economics and Trade; 2022. p. 64-70. Report No.: ISSUE PAPER 2022-01.
13. Oh SW. Interview-Kim In, director of the Korea Institute of Aggregate Industry..."Aggregates are a valuable resource that needs to be self-sufficient in preparation for the future" [Internet]. Seoul (Korea): Oh My Construction News; 2023 Feb 14. Available from: Available from: http://www.ohmycon.co.kr/news/articleView.html?idxno=35455
14. Lee YJ. Cement value' rising for the first time in 7 years... Construction companies in Gyeonggi-do sufferings [Internet]. Suwoun (Korea): Kyeongin News; 2021 Jun 24. Available from: http://www.kyeongin.com/main/view.php?key=20210624010004763
15. Lee CH, Oh BJ, Kim JH, Ann KY. PC structures application technology by using ferro-nickel slag blended cement. Magazine of the Korea Concrete Institute. 2018 Jun;30(3):59-65.
16. Saha AK, Sarker PK. Expansion due to alkali-silica reaction of ferronickel slag fine aggregate in OPC and blended cement mortars. Construction and Building Materials. 2016 Oct;123:135-42. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.144
17. KS L 5405. Fly ash. Seoul (korea): Korean Standards & Certification Information Center; 2018. 20 p.
18. KS F 2502. Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates. Seoul (korea): Korea Industrial Standards; 2019. 5 p.
19. Choi YW, Park MS, Bae SH, Lee HH, Jo BS. Properties of water granulated ferro-nickel slag as fine aggregate for concrete. Proceedings of the Conference of the Korean Civil Society; 2010 Oct 20-22; Incheon, Korea. Seoul (Korea): Korean Society of Civil Engineering; 2010. p. 1462-5.
20. Shin JH, Kim HS, Chung L, Ha JS. Pore structure and physical properties of heterogeneous bonding materials of recycled aggregate according to carbonation reforming. Journal of the Korea Concrete Institute. 2016 Jun;28(3):341-8. https://doi.org/10.4334/JKCI.2016.28.3.341
21. Na HW, Cho SW, Mun KJ, Hyung WG. Application of precast concrete products of non-sintered cement mortar based on industrial by-products. Proceedings of the Conference of the Korean Concrete Society; 2019 Nov 6-8; Buan, Korea. Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2019. p. 463-4.
22. Cho sw, Na hw, Hyung wg. Properties of cement mortar according to mixing of circulating fluidized bed fly ash and pulverized coal fly ash based on blast furnace slag. Journal of the Korea Institute of Building Construction. 2021 Apr;21(2):141-8. https://doi.org/10.5345/JKIBC.2021.21.2.141
23. Choi HK, Lee JM, Hong JH, Seo KH, Park MY. Fundamental properties of concrete according to the fineness of ferronickel slag. Proceedings of the Conference of the Korean Concrete Society; 2017 May 10-12; Jeju, Korea. Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2017. p. 491-2.
24. Lee HS, Kim JH, Lee JY, Ghung CW. Use of flue gas desulfurization gypsum as an activator for a ground granulated blast furnace slag. Journal of the Korea Institute of Building Construction. 2017 Aug;17(4):313-20. https://doi.org/10.5345/JKIBC.2017.17.4.313
25. Saha AK, Sarker PK. Expansion due to alkali-silica reaction of ferronickel slag fine aggregate in OPC and blended cemen mortars. Construction and Building Materials. 2016 Oct;123:135-42. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.144