

## 마그네시아-인산칼륨 기반 하이볼륨 플라이애시 활용 무시멘트 보수 모르타르의 기초 품질 특성에 대한 실험적 연구

# Experimental Study on Fundamental Quality Characteristics of Non-cement Repair Mortar Using High-volume Fly Ash Based on Potassium Magnesia Phosphate

이두원<sup>1</sup> · 장일영<sup>2\*</sup>

Doo-Won Lee<sup>1</sup> · Il-Young Jang<sup>2\*</sup>

(Received April 24, 2024 / Revised May 19, 2024 / Accepted May 20, 2024)

This paper investigates the manufacturing and fundamental quality characteristics of potassium magnesia phosphate-based non-cement high-volume fly ash repair mortar. To derive the optimal mix for non-cement mortar, the manufacturing characteristics were evaluated based on the magnesia ratio, and the mortar manufacturing characteristics were assessed with the fly ash mixture. Additionally, the non-cement magnesia repair mortar was produced considering the effects of fly ash mixture and basalt fiber. The evaluation results determined the optimal mix of non-cement magnesia repair mortar, and the feasibility was examined through workability and fundamental quality assessments. The optimal magnesia ratio was found to be P:M 1:0.5, with W/B at 30 %. It was also confirmed that mixing FA and basalt fiber improves fiber dispersion and workability. Even with over 50 % FA mixture, the target strength was achieved within six hours, with a flow increase of up to 18 % and a flexural strength decrease of about 1-2 MPa.

**키워드** : 마그네시아, 무시멘트, 인산칼륨, 보수 모르타르, 하이볼륨 플라이애시

**Keywords** : Magnesia, Non-cement, Potassium phosphate, Repair mortar, High-volume fly ash

## 1. 서론

최근 자연재해로 인한 사회기반시설물(Social infrastructure, SOC)의 피해가 급증하고 있으며, 태풍 및 호우 등으로 인한 인명 및 재산피해가 더욱 커지고 있다(Guo et al. 2021; Lee 2023). 특히, 국내 지형 특성이 대부분 산지로 이루어져 있어 재난에 매우 취약한 실정이며(Lee et al. 2023), 자연재해 시 비탈면 산사태로 인하여 도로가 유실되고, 이로 인해 인명 피해와 도로 정체로 인한 교통 시스템 마비 등의 문제가 발생한다(Park et al. 2023; Shahandashti et al. 2022). 이러한 경우 신속하고 긴급복구가 요구된다. 종래의 경우, 시멘트계 재료를 사용하여 그라우트공법을 이용한 약액을 주입하거나 스프레이 장비를 이용한 뿔칠 시공을(Kim et al. 2020b) 통한 보강을 실시하고 있으며, 보수재료는 대부

분 시멘트를 주 재료한 모르타르를 사용하고 있다. 시멘트는 자체만으로 속경성에 한계가 있으며, 이러한 문제로 급결제를 별도로 사용하여 응결을 촉진시킨다(Choi et al. 2014; Lee et al. 2017).

한편 마그네시아(Magnesia, MgO)를 활용한 무시멘트(Cementless) 개념의 마그네시아 기반 복합재료는 급결하는 특성을 가지고 있어 일반 시멘트와 비교하여 조기강도가 크다(Kim 2022; Khan et al. 2024). 또한 pH가 중성 영역에 있기 때문에 자연환경에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 보고되고 있으며(Manso et al. 2014; Han et al. 2021), 시멘트를 전량 대체할 수 있어 탄소 저감 기여 및 환경영향성을 최소화할 수 있다(Baek 2021; Byun and Woo 2022). 이러한 특성으로 인하여 마그네시아 기반 복합재료는 긴급하게 보수가 요구되거나 복구할 경우 활용이 가능하다(Kim 2017).

\* Corresponding author E-mail: [jbond@kumoh.ac.kr](mailto:jbond@kumoh.ac.kr)

<sup>1</sup>금오공과대학교 토목공학과 박사수로 (Department of Civil Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongbuk, 39177, Korea)

<sup>2</sup>금오공과대학교 토목공학과 교수 (Department of Civil Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongbuk, 39177, Korea)

Copyright © 2024 by Korean Recycled Construction Resources Institute

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

그러나 마그네시아는 급결 및 조기강도가 크다는 장점에도 불구하고 시멘트에 비하여 고가이며, 급결 제어 기술이 요구된다 (Choi et al, 2016).

이에 따라 본 논문에서는 무시멘트 마그네시아 보수 모르타르를 제조하기 위한 일환의 연구로써 마그네시아-인산칼륨의 기초 품질 특성을 평가하여 최적 비율을 도출하고자 하였다. 또한 마그네시아 보수 모르타르의 경제성 확보 및 성능개선을 목적으로 플라이애시를 대체하고자 하였으며, 50 %까지 혼합한 하이볼륨 플라이애시를 적용하였다(Mojiabi et al, 2023; Rakić et al, 2023; Rohman et al, 2022; Xie et al, 2023; Du et al, 2021).

무시멘트 마그네시아 보수 모르타르의 치수안정성 및 휨보강을 위한 섬유는 국내(철원군, 강원도)에서 다량 발생하는 바잘트 섬유 (Basalt fiber)를 적용하여 일반적인 보강섬유를 대체하고자 하였다(Kim et al, 2020a). 바잘트 섬유는 현무암을 용융하여 만든 것으로 일반적인 보강섬유 이상의 특성을 가지고 있어 적용성을 검토하고자 한다(Yang et al, 2023).

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 결합재

##### 1) 마그네시아(MgO)

마그네시아는 국내 D의 사소마그네시아(Dead-burn magnesia, 이하 M으로 약함)를 사용하였다. Table 1은 M의 화학성분 및 물리적 특성을 나타낸 것이다. 마그네시아는 다양한 종류가 있는 것으로 알려져 있지만, 선행연구를 통하여 적합한 마그네시아를 선정하였다(Choi et al, 2017; Choi et al, 2018). 화학성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

##### 2) 인산칼륨

인산칼륨은 국내 D사의 제1인산칼륨(KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 이하 P로 약함)을 사용하였다. Table 2는 P의 화학성분 및 물리적 특성을 나타낸 것이다. P은 MgO의 경화제 역할을 하는 것으로 다양한 종류가 있는 것으로 조사되었지만 선행연구를 통하여 적합한 것을 선정하였다(Choi et al, 2017; Choi et al, 2018).

##### 3) 플라이애시

플라이애시는 국내 S사의 플라이애시(이하 FA로 약함)를 사용하였다. 화학성분 및 물리적 성질은 Table 2와 같다.

Table 1. Physical properties and chemical composition of M and P

Type	M	P
Purity (%)	98.68	99.98
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0.1	-
SiO <sub>2</sub> (%)	1.1	-
Cl (%)	-	0.005
pH	-	4.3
Density (g/cm <sup>3</sup> )	3.6	2.34

Table 2. Physical properties and chemical composition of FA

Type	FA
CaO (%)	5.95
SiO <sub>2</sub> (%)	52.83
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	18.08
MgO (%)	1.43
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	7.74
SO <sub>3</sub> (%)	0.01
L.O.I (%)	6.14
Specific surface area (m <sup>2</sup> /mg)	371
Density (g/cm <sup>3</sup> )	2.20

Table 3. Physical properties of SP and VA

Type	State	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Total solids (%)
SP	Liquid	1.04 ± 0.01	25
VA	Liquid	-	35

Table 4. Chemical composition and physical properties of borax

Type	Purity (%)	Melting point (°C)	Boiling point (°C)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
R	99	75	320	1.73

#### 2.1.2 혼화제

혼화제는 폴리카본산계 고성능 감수제(이하 SP로 약함) 및 우레탄계 증점제(이하 VA로 약함)를 사용하였다. 각 혼화제는 결합재(Binder, 이하 B) 질량에 대하여 1.5 및 0.6 %로 적용하였다. 또한 VA 사용에 따른 갇힌공기 제거를 위하여 소포제를 VA 질량에 대하여 0.01 %를 첨가하였다. Table 3은 혼화제의 물리적 특성을 나타낸 것이다.

또한 마그네시아의 급결 지연 및 작업성 확보를 위한 지연제는 붕사(Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> · 10H<sub>2</sub>O, 이하 R로 약함)를 사용하였다. Table 4는 본 연구에 사용된 붕사의 화학성분 및 물리적 특성을 나타낸 것이다.

### 2.1.3 섬유

무시멘트 마그네시아 보수 모르타르에 사용된 섬유는 국내 B사의 현무암 섬유(BF)를 사용하였으며, 본 연구에서는 평균 길이 20 mm의 섬유를 표준으로 하였으며, 모르타르 총 질량에 대하여 2수준(0.5 및 1.0 %)를 첨가하였다.

## 2.2 평가 방법

### 2.2.1 혼합 방법 및 시간

모르타르의 혼합은 모르타르 믹서기(6L)를 사용하였다. 혼합 시간은 배합수를 제외한 모든 재료를 투입하여 1분간 1속으로 건비빔을 실시한 다음 이후 배합수를 투입하여 1속 4분 및 2속 4분 동안 혼합하였다. 모르타르의 혼합시간의 결정은 고점도를 가지는 VA의 분산이 되는 시점을 선행연구를 통하여 선정하였다(Choi et al, 2017; Choi et al, 2018).

### 2.2.2 플로우

모르타르 플로는 "KS L ISO 679"에 준하여 플로우를 측정하였으며, 중심을 지나는 대각선 3방향의 지름을 측정하여 그 평균값을 플로우로 하였다. Fig. 1은 플로우 시험 전경을 나타낸 것이다.

### 2.2.3 압축강도 및 휨강도

모르타르의 압축강도 및 휨강도 측정을 위하여 "KS L ISO 679"에 준하여 40 × 40 × 160 mm의 시험편을 제조하였으며, 24시간

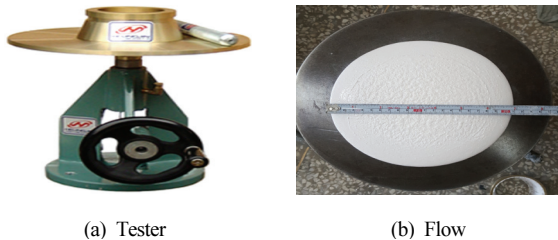


Fig. 1. Measurement foreground of flow

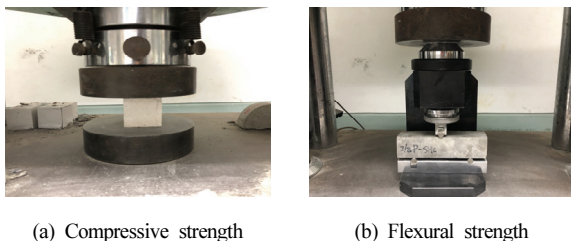


Fig. 2. Measurement foreground of strength

기건양생 후 탈형한 다음 20 ± 2 °C가 유지되는 수조에서 수중양생을 실시하였다.

휨강도는 40 × 40 × 160 mm의 시험편을 사용하여 휨강도를 측정하였으며, 할렬된 시험편은 압축강도 시험편으로 활용하였다. 압축강도는 휨강도를 측정한 시험편을 사용하여 40 × 40 × 40 mm의 시험편에 대한 압축강도를 재령 1, 3, 7 및 28일에 측정하였다. Fig. 2는 압축강도 및 휨강도 시험 방법을 나타낸 것이다.

## 2.3 실험 계획

무시멘트 마그네시아 보수 모르타르(Non-Cement Magnesia Repair Mortar, 이하 NCM으로 약함) 제조를 위하여 마그네시아(MgO, 이하 M으로 약함)의 반응재인 제1인산칼륨 결합재(KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 이하 P로 약함)를 혼합비율에 따라 제조하여 기초 특성을 평가하였다.

### 2.3.1 마그네시아

마그네시아 모르타르의 최적 배합 도출을 위하여 P와 M의 배합비(이하 P:M로 약함) 및 물/결합재비(이하 W/B로 약함)에 따른 결합재의 품질성능을 평가하여 최적 P:M을 도출하고자 하였다. P:M의 비율은 선행연구를 검토하여 실험에 적합한 비율을 선정하였다(Choi et al, 2017; Choi et al, 2018).

또한 M의 속경성에 대한 지연 및 작업성 확보를 위하여 M의 질량에 대해 지연제(붕사, Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> · 10H<sub>2</sub>O, 이하 R로 약함)를 3% 혼합하였다. R은 선행연구에 따르면, 너무 적거나 많은 경우 효과가 없는 것으로 나타남에 따라 본 연구에서는 3%로 고정하였다(Choi et al, 2017; Choi et al, 2018).

Table 5는 마그네시아 모르타르의 실험계획을 나타낸 것이며, Table 6은 마그네시아 모르타르의 배합비를 나타낸 것이다.

Table 5. Experiment plan

Type	Variables and condition
P:M (Vol.)	1:0.5, 1:1.0, 1:2.0, 1:3.0
W/B (%)	30, 35, 40, 45
R (%)	3.0 (on mass of M)
FA (%)	10, 20, 30 (on mass of B)
SP (%)	1.5 (on mass of B)
VA (%)	0.6 (on mass of B)
Fiber (%)	0.5, 1.0 (on mass of total mortar)

Table 6. Mixing table magnesia-potassium phosphate mortar

Type (W/B-M)	W/B (%)	Binder (Vol.)		R (M × %)
		P	M	
30-0.5	30	1	0.5	3
30-1.0			1.0	
30-2.0			2.0	
30-3.0			3.0	
35-0.5	35	1	0.5	3
35-1.0			1.0	
35-2.0			2.0	
35-3.0			3.0	
40-0.5	40	1	0.5	3
40-1.0			1.0	
40-2.0			2.0	
40-3.0			3.0	
45-0.5	45	1	0.5	3
45-1.0			1.0	
45-2.0			2.0	
45-3.0			3.0	

2.3.2 플라이애시 및 바잘트 섬유

플라이애시 및 바잘트 섬유 혼합이 모르타르의 미치는 영향을 평가하기 위하여 플라이애시 및 바잘트 섬유를 혼합한 모르타르의 제조특성을 평가하였으며, 플라이애시 혼합에 따른 영향 및 바잘트 섬유 혼합에 따른 각각의 영향을 분석하였다. 플라이애시는 3 수준(10, 30 및 50 mass%)에 대하여 제조하였으며, 바잘트 섬유는

섬유 혼합량 2수준(0.5 및 1.0 %)에 대하여 제조하였다. Table 7은 모르타르 배합표를 나타낸 것이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 마그네시아에 따른 특성

3.1.1 플로우

Fig. 3은 P:M 및 W/B에 따른 플로우 측정결과를 나타낸 것이다. 플로우는 P:M이 감소함에 따라 증가하는 경향을 보였으며, W/B가 증가할수록 플로우가 증가하였다. 그러나, P:M에 따라 배합이 어려운 것을 확인할 수 있었다. 1:0.5의 경우에는 모든 배합이 가능한 것으로 나타났지만, 1:1.0의 경우 W/B 30 % 일 때, 1:2.0의 경우 W/B 30, 35 및 40 %일 때 혼합이 불가능하였으며, 1:3.0의 경우 모든 배합의 혼합이 불가능하였다. 이러한 원인은 P:M의 경우 부피비를 나타내고 있어 큰 차이가 없는 것으로 보이지만, 부피비에 대한 각각의 혼합 질량을 검토할 경우에는 P를 기준으로 M의 부피가 증가하는 수준은 증가하게 된다. P의 밀도를 기준으로 M의 밀도는 1.5배 이상이기 때문에 질량비 기준으로 환산할 경우 그 양은 매우 많아지게 된다. 따라서 그에 따른 M의 질량 증가와 함께 비표면적도 증가하게 되며, 결국에는 혼합수의 절대량이 부족하여, 혼합이 불가능한 것으로 판단된다. 또한 M의 급결을 지연하기 위하여 R을 첨가하더라도 효과를 발휘하지 못하는 것으로 판단되며, 선행연구에 따르면(Choi et al, 2017), M의 질량에 대하여 3 % 이상을 혼합할 경우에도 효과가 없는 것으로 보고하고 있다(Choi et

Table 7. Mortar mixing table

Types	Mix No.		W/B (%)	B		R (%)	SP (%)	VA (%)	BF (%)							
				Ratio of vol.						FA (%)						
				P	M											
Characteristics of fly ash	FA	FA0	0.3	1	0.5	-	3	1.5	0.6	-						
		FA10				10				-						
		FA30				20				-						
		FA50				30				-						
Characteristics of fiber	BF	BF0.5				-				-	-	-	-	-	0.5	
		BF1.0				-				-	-	-	-	-	1.0	
Characteristics of NCM (fly ash and fiber)	FA0	BF0.5				-				-	-	-	-	-	-	0.5
		BF1.0				-				-	-	-	-	-	1.0	
	FA10	BF0.5				10				-	-	-	-	-	-	0.5
		BF1.0				-				-	-	-	-	-	1.0	
	FA30	BF0.5				30				-	-	-	-	-	-	0.5
		BF1.0				-				-	-	-	-	-	1.0	
	FA50	BF0.5	50	-	-	-	-	-	-	0.5						
		BF1.0	-	-	-	-	-	-	1.0							

al, 2017; Choi et al, 2018).

한편 플로우가 200 mm 이하의 질기는 거칠기 때문에 작업성 확보가 어려우며, 이에 따라 균질한 시험편 성형이 어려운 것으로 나타났다. 또한 플로우가 250 mm를 초과할 경우에는 재료분리 현상이 발생하였다. 따라서 본 실험결과에 따르면, 작업성을 고려한 최적의 플로우 범위는 플로우 범위 200~250 mm를 대상으로 최적 P:M을 선정하여야 할 것으로 판단된다.

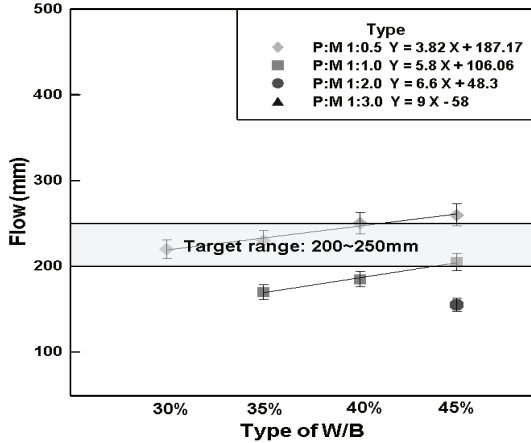


Fig. 3. Flow according to P:M and W/B

### 3.1.2 압축강도

Fig. 4는 P:M 및 W/B에 따른 압축강도 측정결과를 나타낸 것이다. 압축강도는 P:M이 증가할수록 감소하는 경향이 나타났으며, 발현 경향은 P:M 1:0.5 및 P:M 1:1.0 모두 재령 1일 이내에 약 50%의 강도를 발현하였다. P:M 1:0.5의 경우 최대 87% 발현하였다. 이러한 결과는 P:M의 급결 특성에 인하여 빠른 시간안에 강도가

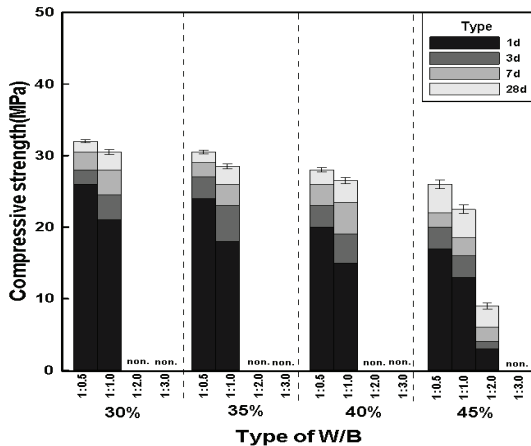


Fig. 4. Relationship between W/B and compressive strength according to age and P:M

Table 8. Two-way variance analysis results of P:M and W/B

Source	df*	Sum of squares	Mean of squares	F-value	P-value
P:M	1	272.56	272.56	35.43	.00
W/B	1	0.21	0.21	0.03	.87
P:M × P:M	1	121.34	121.34	15.77	.00
W/B × W/B	1	1.00	1.00	0.13	.73
P:M × W/B	1	44.05	44.05	5.73	.038
Error	10	76.94	7.69	-	-
Corrected total	15	1591.75	-	-	-

df\* : degrees of freedom

발현된 것으로 판단되며, W/B가 증가 함에 따라 비례적으로 압축 강도가 감소하였다.

이러한 결과는 P:M 1:1.0 이후 비례적인 경향이 나타나지 않으며, 특히, P:M 1:2.0의 배합은 W/B 45 %에서만 혼합이 가능하기 때문에 최적의 P:M이 존재하는 것으로 판단된다. 이를 증명하고 최적 P:M 및 W/B를 선정하기 위하여 재령 1일 압축강도를 기준으로 통계분석을 실시하였다.

통계분석은 P:M 및 W/B에 대하여 국내 E사의 Minitab(ver. 18)을 활용하여 다중 반응 최적법에 의한 분석을 실시하였다. Table 8은 재령 1일 압축강도의 P:M 및 W/B에 대한 이원분산분석 결과를 나타낸 것이다. P:M 및 W/B의 유의 수준은 P:M에 대하여 P값이 0으로 나타남에 따라 매우 유의한 것으로 나타났지만 W/B의 경우 유의하지 않는 결과 나타남에 따라 W/B의 영향보다는 P:M의 영향이 지배적인 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 5는 플로우에 대한 W/B과 P:M의 관계를 나타낸 것이다. NCM에 적용을 위한 목표 플로우 범위는 200~250 mm이며, 목표 플로우를 만족하기 위한 P:M은 W/B 30 %일 때 1:0.5가 적합한 것으로 분석되었다. W/B 증가에 따라 최대 P:M은 1:1.0 이내를 적용하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

Fig. 6은 압축강도에 대한 W/B과 P:M의 관계를 나타낸 것이다. NCM에 적용을 위한 목표 압축강도는 재령 1일 최소 10 MPa 이상을 설정하였다. 속경성 보수재료의 초기 강도는 관련 규정이 없기 때문에 선행연구의 문헌조사를 통하여 재령 1일 압축강도를 설정하였다(Choi et al, 2017; Choi et al, 2018). 본 논문에서는 목표 압축강도를 만족하기 위한 P:M이 W/B 30 % 일 때 1:1.5 이하이며, W/B 증가에 따른 최대 P:M은 1: 1.0 이하가 적합한 것으로 분석되었다.

Fig. 7은 Fig. 5와 Fig. 6을 중첩한 것으로 플로우 및 압축강도를 동시에 고려하기 위한 중첩 등고선도를 나타낸 것이다. Fig. 7의 결과, 목표 플로우 및 압축강도를 만족하는 P:M은 1:0.5로 나타났

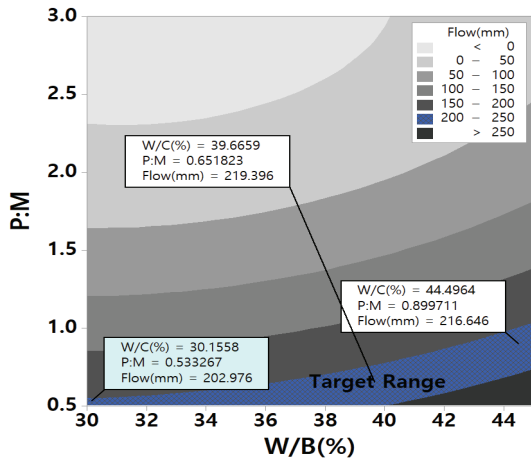


Fig. 5. Flow according to W/B and P:M

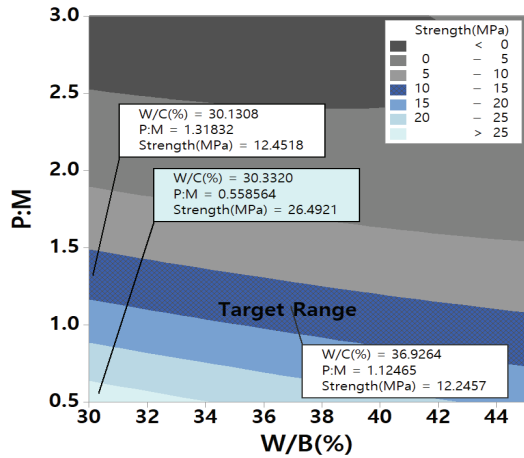


Fig. 6. Compressive strength according to W/B and P:M

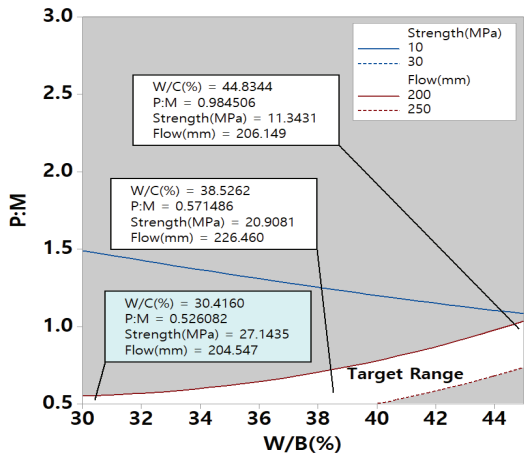


Fig. 7. Relationship between W/B and P:M according to target flow and compressive strength range

으며, 최대 강도를 발현 할 것으로 분석되었다. 해당 구간의 P:M 및 W/B는 1:0.5 및 30 %로 나타났으며, 이 때 예측가능한 플로우 및 재령 1일 압축강도는 약 204 mm 및 27 MPa 수준일 것으로 분석된다. 본 연구에서는 재령 1일 압축강도를 10 MPa 이상으로 설정하였기 때문에 예측값에 따르면 약 2.7배 큰 것으로 나타났지만, 본 분석결과와 경우 마그네시아만을 고려한 결과이므로 FA를 50 % 이상 적용할 경우 강도 저감에 대신 보상이 가능할 것으로 판단된다. 이러한 결과를 통하여 NCM에 적용을 위한 최적 P:M 및 W/B는 1:0.5 및 30 %을 기본 배합으로 설정하였다.

### 3.2 플라이애시 및 바잘트 섬유에 따른 특성

#### 3.2.1 플로우

Fig. 8은 FA에 따른 플로우 측정결과를 나타낸 것이다. 플로는 FA의 혼합률 증가에 따라 증가하는 경향이 나타났다. 이러한 경향은 일반적으로 알려진 FA의 특성에 의하여 유동성 및 작업성이 증가하는 것으로 판단된다. FA10의 플로는 FA0과 비교하여 약 6 % 증가하였으며, 혼합률 20% 증가에 따라 비례적으로 약 5 % 증가하였다. 이러한 결과를 통하여 FA를 마그네시아를 일부 대체하여 활용할 경우 작업성 증가효과 뿐만 아니라 혼화제 사용량 저감이 효과를 기대할 수 있을 것으로 기대되며, 이를 통한 경제성 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 9는 BF에 따른 플로우 측정결과를 나타낸 것이다. 플로는 BF 혼합에 따라 약 20 % 감소하는 결과가 나타났으며, 혼합률에 따른 영향은 크지 않은 것으로 나타났다.

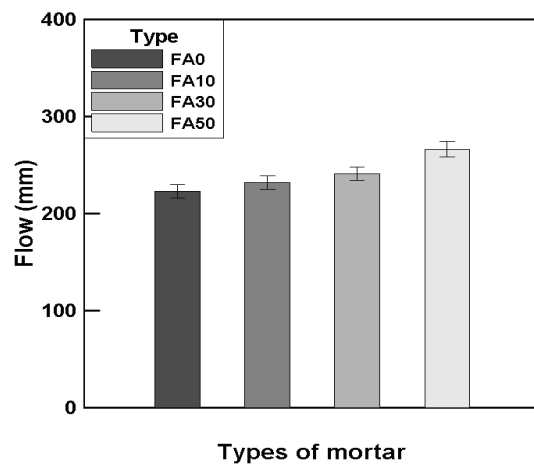


Fig. 8. Flow according to FA

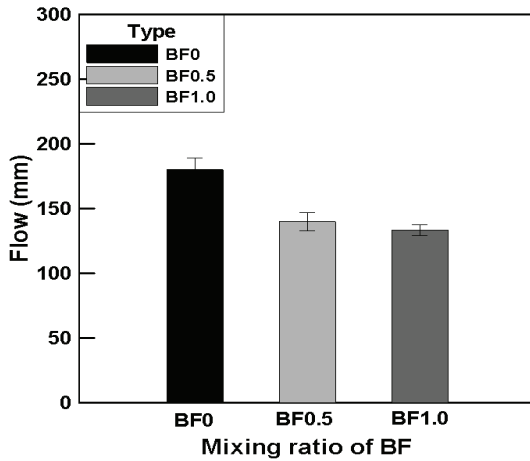


Fig. 9. Flow according to BF

그러나 증점제(VA)의 활용으로 각 배합의 반죽질기는 작성성을 확보하는 데 충분한 수준으로 나타남에 따라 활용가능할 것으로 판단된다.

### 3.2.2 압축강도

Fig. 10은 FA에 따른 압축강도 측정결과를 나타낸 것이다. 압축 강도는 마그네시아 특성에 기인하여 1시간 강도가 발현 되는 것으로 나타났다. FA0의 1시간 압축강도는 약 12 MPa 수준으로 나타났으며, FA10, FA30 및 FA50의 1시간 압축강도는 약 10, 7 및 5 MPa 수준으로 나타났다. FA0의 1시간 강도와 비교하여 FA10의 1시간 압축강도는 약 10 % 감소하는 결과가 나타났지만 강도값 기준으로 약 2 MPa 수준으로 오차수준 이내인 것으로 판단된다. 또한 FA 혼합률 20 % 증가함에 따라 약 3 MPa씩 비례적으로 감소하였다. 이러한 결과는 FA의 일반적으로 알려진 결과와 같이 포졸

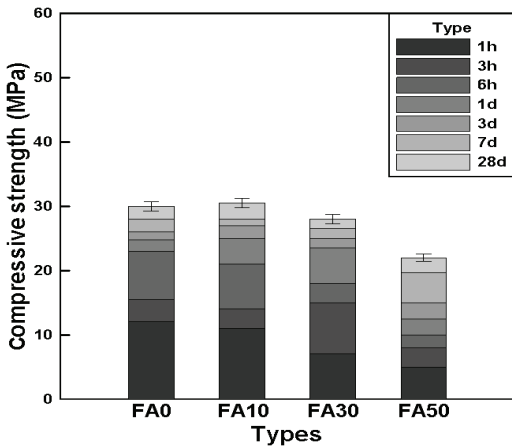


Fig. 10. Compressive strength according to FA

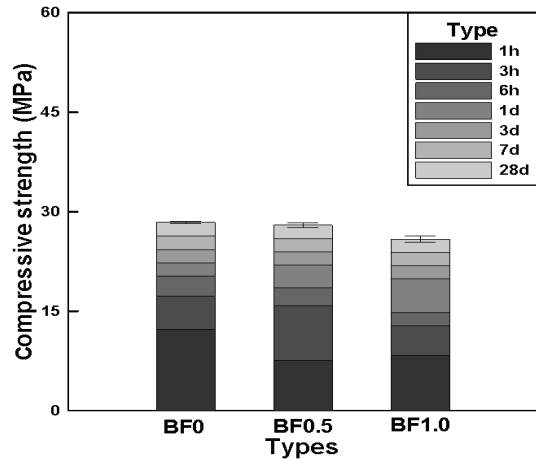


Fig. 11. Compressive strength according to BF

란 반응을 하기 때문에 수화반응이 느려져 강도가 감소한 것으로 판단되며, 본 연구에서는 적용하지 않았지만 알칼리 자극제 등을 활용하여 FA의 반응성 개선에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단되며 반응성 개선에 의하여 압축강도 감소수준의 상쇄가 가능할 것으로 예상된다.

Fig. 11은 BF에 따른 압축강도 측정결과를 나타낸 것이다. 압축 강도는 BF 혼합률이 증가할수록 감소하는 경향이 나타났다. 이러한 결과는 BF 혼합에 따라 작업성이 감소하고 시험편의 사이즈가 작기 때문에 섬유 분산수준 및 방향성에 의하여 밀실하게 충전되지 못하여 강도가 감소하는 것으로 판단된다.

## 3.3 무시멘트 마그네시아 보수 모르타르의 특성

### 3.3.1 플로우

Fig. 12는 NCM의 플로우 측정결과를 나타낸 것이다. BF 혼합에 따른 플로는 FA 혼합률이 증가함에 따라 증가하는 경향이 나타났으며, FA50-0.5의 경우 FA0-0.5와 비교하여 18 % 증가하였다. 이러한 결과는 FA의 특성에 의하여 플로우가 증가하는 것으로 판단되며, BF 혼합률이 증가할수록 다소 감소하는 것으로 판단된다.

### 3.3.2 압축강도

Fig. 13은 NCM의 압축강도 측정결과를 나타낸 것이다. BF의 혼합률에 따른 압축강도는 BF 혼합률이 증가함에 따라 다소 감소하는 경향이 나타났으며, FA의 혼합률 증가에 따라 압축강도가 감소하는 경향이 나타났다.

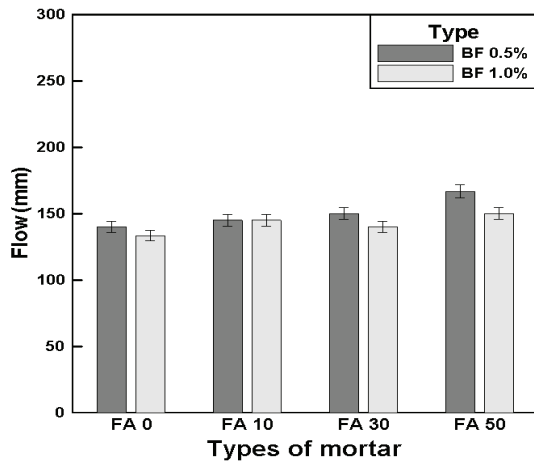


Fig. 12. Flow of NCM(BF+FA)

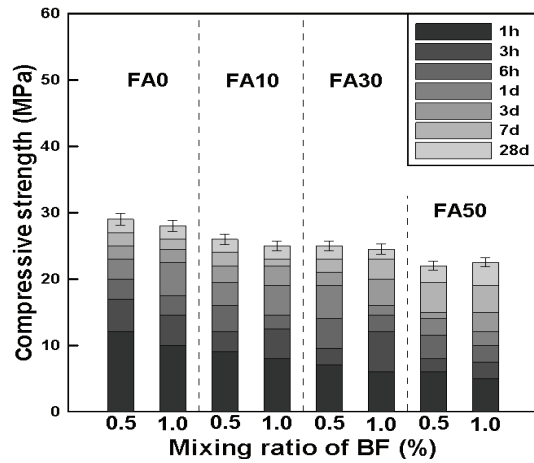


Fig. 13. Compressive strength of NCM(BF+FA)

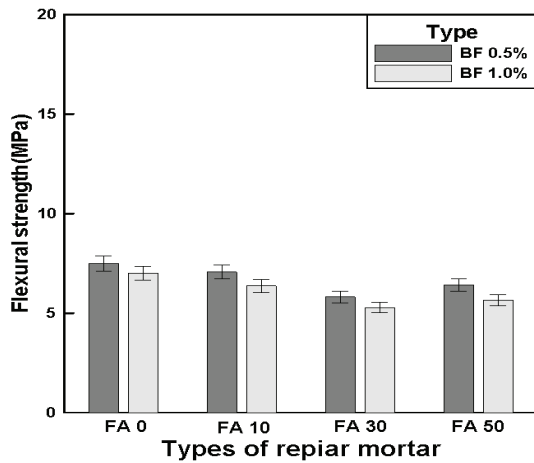


Fig. 14. Flexural strength of NCM(BF+FA)

FA50의 1시간 강도는 약 5 MPa 수준인 것으로 나타났으며, FA가 혼합되지 않은 FA0의 경우 1시간 강도는 약 12 MPa 수준으로 나타났다. FA 혼합에 따른 압축강도에 미치는 영향은 1시간 강도를 기준으로 약 60 % 감소하는 것으로 나타났으며, 6시간 강도 기준으로 약 15 % 감소하였고 재령 28일 기준으로 약 22 % 감소하였다. 그러나 FA를 50 % 다량 사용함에도 목표 강도를 6시간 이내에 발휘하는 것으로 판단된다.

이러한 결과를 통하여 압축강도의 품질은 BF의 영향보다 FA의 영향이 지배적인 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 무시멘트 마그네시아 보수 모르타르를 제조하기 위한 일환의 연구로서 마그네시아-인산칼륨의 특성, 플라이애시 및 바잘트 섬유에 의한 특성을 평가하였으며, 이를 기반으로 무시멘트 마그네시아 보수 모르타르의 기초 품질 특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 마그네시아의 특성 평가결과, 작업성 및 목표 강도를 확보하는데 적합한 인산칼륨 및 마그네시아의 최적 비율은 최적 비율은 P:M 1:0.5으로 나타났으며, 최적 W/B는 30 %가 적합할 것으로 판단된다.
2. FA 및 바잘트 섬유 혼합에 따른 특성 평가결과, FA 특성에 기인하여 섬유 분산성 개선효과, 소요 플로우 향상을 통한 워커빌리티 향상 효과가 있는 것으로 판단되며, 마그네시아의 급결특성에 기인하여 FA를 50 % 이상 혼합한 경우에도 6시간 이내에 목표강도를 만족하는 것으로 나타났다.
3. 무시멘트 마그네시아 보수 모르타르의 기초 품질특성 평가 결과, FA를 50 % 혼합할 경우 플로우가 약 18 % 증가하였으며, 목표 강도를 만족하는 것으로 나타났다. 또한 휨강도의 경우 FA를 50 % 혼합하여도 감소 수준은 1~2 MPa 내외인 것으로 나타났다.

#### Conflict of interest

None.

#### 감사의 글

본 연구는 2024년 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었습니다(RS-2023-00250434).



## References

- Baek, I.G. (2021). 2021 Domestic ESG Management Trends and Outlook for 2022, HRD MAGAZINE, ESG FRAMEWORK, Korea Deloitte Group ESG Center, 104–107 [In Korean].
- Byun, Y.J., Woo, S.H. (2022). Research trend on ESG management of corporation, Clean Technology, **28(2)**, 193–200.
- Choi, Y.W., Lee, J.H., Choi, B.K., Oh, S.R. (2017). Workability and compressive strength properties of magnesia–potassium phosphate composites for biological panel, Journal of the Korea Academia–Industrial Cooperation Society, **18(7)**, 357–364 [In Korean].
- Choi, Y.W., Oh, S.R., Choi, B.K. (2016). An experimental study on fundamental quality properties of basalt fiber reinforced mortar according to application of high volume fly ash, Journal of the Korea Concrete Institute, **28(4)**, 387–394 [in Korean].
- Choi, Y.W., Oh, S.R., Kim, C.G., Lee, J.H. (2018). A study on the fundamental quality of magnesia–phosphate–formed mortar composites using superabsorbent polymer for development of concrete for biological panel, Journal of the Advances in Materials Science and Engineering, **2018**, 1892127.
- Choi, Y.W., Park, M.S., Choi, B.K., Oh, S.R. (2014). The properties of strength development of high volume fly ash concrete with reduction of unit water content, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **2(1)**, 46–51 [in Korean].
- Du, S., Zhao, Q., Shi, X. (2021). High–volume fly ash–based cementitious composites as sustainable materials – An overview of recent advances, Advances in Civil Engineering, **2021**, 4976169.
- Guo, P., Yuan, Y., Peng, Y., Zhang, H., Zhao, Y. (2021). Analysis of slope stability and disaster law under heavy rainfall, Geofluids, **2021**, 5520686.
- Han, S.B., Kwon, S.H., Lim, S.G. (2021). Global ESG Trends and the Strategic Role of Nations, Korea Institute for International Economic Policy, 3–201 [in Korean].
- Khan, M., Lao, J., Ahmad, M.R., Dai, J.G. (2024). Influence of high temperatures on the mechanical and microstructural properties of hybrid steel–basalt fibers based ultra–high–performance concrete (UHPC), Construction and Building Materials, **411**, 134387.
- Kim, D.J., Suh, S.W., Choi, K.B. (2020a). Prediction of flexural moment of reinforced concrete beam in reinforced basalt sheets, Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures, **11(4)**, 1–7 [in Korean].
- Kim, D.Y., Cha, Y.W., Park, W.Y., Park, T.I. (2020b). Identification of breakdown structure for infrastructure maintenance, repair, and rehabilitation technologies using comparative case study, Journal of the Korea Academia–Industrial Cooperation Society, **21(10)**, 248–258 [in Korean].
- Kim, J.H. (2022). A Study on the Development of Basalt Fiber Reinforced Repair Mortar Using High Volume Fly Ash for Rapid Repair, Ph.D Thesis, Department of Civil Engineering, Semyung University [in Korean].
- Kim, S.W. (2017). An Experimental Study on Reinforcement Capacity of Reinforced Concrete Structure with Basalt Fiber Reinforced Polymer Sheet, Master’s Thesis, Department of Social Environmental Engineering, Korea University [in Korean].
- Lee, H.J., Bae, S.H., Jung, S.H. (2017). Resistance to corrosion of reinforcing steel and critical chloride content of high volume fly ash concrete, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **5(4)**, 375–381 [in Korean].
- Lee, S.J., Kim, J.T., Jung, K.C. (2023). A study on soil characteristics in landslide areas for topsoil restoration, Proceedings of the Korean Geotechnical Society, **2023(1)**, 65 [in Korean].
- Lee, W.Y. (2023). Patterns of rainfall causing landslides and topographic characteristics of the initial points of landslide occurrence, Proceedings of the Korean Geographical Society Annual Conference, **2023(06)**, 41–42 [in Korean].
- Manso, S., Mestres, G., Ginebra, M.P., De Belie, N., Segura, I., Aguado, A. (2014). Development of a low pH cementitious material to enlarge bioreceptivity, Construction and Building Materials, **54**, 485–495.
- Mojjabi, M.S., Shariq, M., Masood, A., Mahdi, F., Abbas, H. (2023). Residual load capacity of HVFA reinforced concrete after elevated temperature heating – Experimental and analytical study, Construction and Building Materials, **399**, 132569.
- Park, G.S., Lee, J.H., Hong, S.S., Kim, J.S., Oh, S.B. (2023). Case study on the stability analysis of landslides by typhoon Hin Nam Nor in Pohang, Proceedings of the Korean Society for Structural Diagnosis, Maintenance and Management Engineering, **27(1)**, 131.
- Rakić, J.M., Petrović, R.D., Radojević, V.J., Bašćarević, Z.D. (2023). Effects of selected inorganic chemical activators on properties and hydration mechanism of high volume fly ash (HVFA) binders, Construction and Building Materials, **391**, 131833.
- Rohman, R.K., Kristiawan, S.A., Saifullah, H.A., Basuki, A. (2022).

- The development length of tensile reinforcement embedded in high volume fly ash-self compacting concrete (HVFA-SCC), *Construction and Building Materials*, **348**, 128680.
- Shahandashti, M., Hossain, S., Baral, A., Adhikari, I., Pourmand, P., Abediniangerabi, B. (2022). Slope Repair and Maintenance Management System - Final Report, The University of Texas at Arlington.
- Xie, H., Yang, L., Li, J., Chen, Z., Zhang, F., Liu, Y., Sui, Z., Zhang, Q. (2023). Research on mode-I fracture characteristics of basalt fiber reactive powder concrete, *Journal of Building Engineering*, **80**, 108159.
- Yang, C., Liu, L., Liu, Z., Huang, Y., Yu, S., Fu, Y. (2023). Study on the mechanism of bond strength generation and debonding failure between basalt fiber and asphalt based on molecular dynamics, *Case Studies in Construction Materials*, **19**, e02493.

### 마그네시아-인산칼륨 기반 하이볼륨 플라이애시 활용 무시멘트 보수 모르타르의 기초 품질 특성에 대한 실험적 연구

본 논문에서는 마그네시아-인산칼륨 기반의 무시멘트 하이볼륨 플라이애시 보수 모르타르를 제조하고 그 기초 품질 특성을 평가하였다. 최적의 무시멘트 모르타르 배합을 도출하기 위하여, 마그네시아 비율을 기준으로 제조 특성을 평가하였고, 플라이애시 혼합에 따른 모르타르 제조 특성을 평가하였다. 또한 마그네시아 무시멘트 보수 모르타르는 플라이애시 혼합의 효과 및 바잘트 섬유를 고려하여 제조하였다. 평가결과를 통하여, 마그네시아 무시멘트 보수 모르타르의 최적 배합을 결정하였으며, 작업성 및 기초 품질 특성 평가를 통하여 실현 가능성을 검토하였다. 본 논문에서는 마그네시아의 최적 비율은 P:M 1:0.5, W/B 30 %로 나타났으며, FA와 바잘트 섬유 혼합 시 섬유 분산성과 워커빌리티가 향상됨을 확인하였다. 또한 FA를 50 % 이상 혼합해도 6시간 이내 목표 강도를 만족하는 것으로 나타났으며, 플로우가 최대 18 % 증가하고, 힘강도는 1~2 MPa 수준 감소하였다.