

## 비탈면 긴급 복구를 위한 하이볼륨 플라이애시 및 현무암 섬유 보강 보수재료의 기초 품질 특성에 대한 실험적 연구

# Experimental Study on the Use of High-Volume Fly Ash and Basalt Fiber as Emergency Repair Materials for Slope Stabilization: An Analysis of Basic Quality Characteristics

이두원<sup>1</sup> · 장일영<sup>2\*</sup>

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

(Received December 10, 2023 / Revised May 3, 2024 / Accepted May 3, 2024)

This paper presents a study aimed at developing repair materials for emergency slope stabilization after disasters such as floods. The research assessed how different mix ratios of fly ash and reinforcement with basalt fibers affect the basic quality properties of mortars. Optimal amounts of fly ash were selected based on these properties, and appropriate amounts of chemical admixtures and thickeners were determined to enhance the quality attributed to the basalt fiber mixture. Notably, high-volume fly ash reduced the need for high-performance water reducers and improved workability, known benefits that also helped mitigate fiber ball issues in conjunction with the effects of thickeners. The experimental results indicated that the developed repair materials could potentially be used for emergency repairs, with a focus on initial age strength. This research aims to provide foundational data for repair materials used in future emergency slope stabilizations.

**키워드** : 긴급복구, 보수재료, 비탈면, 현무암 섬유, 하이볼륨 플라이애시

**Keywords** : Emergency restoration, Repair materials, Slope, Basalt fiber, High-volume fly ash

## 1. 서론

현대 사회에서 지속 가능한 인프라의 유지 및 관리는 중대한 도전 과제 중 하나이며, 이에 대응하기 위한 다양한 솔루션이 요구되고 있다(Kim et al. 2020b). 특히 자연재해로 인한 사회기반시설(SOC)의 피해가 급증하는 가운데, 태풍 및 호우 등으로 인한 인명 및 재산 피해도 증가하고 있다. 한국은 지형적 특성상 대부분이 산지로 되어 있어 기상재해에 매우 취약하며, 이로 인한 피해는 민간 지역은 물론 공공시설에까지 영향을 미친다(Kim et al. 2020b).

이에 따라 재난 상황에 대비한 인명 피해 대책 마련과 재해 발생 시 신속한 복구가 요구되고 있으며(Kim 2022), 특히 비탈면 지역에서 재해가 지속될 경우 산사태 등 이 발생하여 인근 도로나 민가에 심각한 피해를 입힐 수 있다. 따라서 대규모 재해가 예상될 경우

에는 초기에 취약면을 보수하여 사전 예방을 실시하여야 하며, 이미 재해가 진행된 경우에는 긴급하게 보수하여 추가적인 피해를 최소화하여야 한다(Guo et al. 2021; Meng et al. 2023; Shahandashi et al. 2022; Park et al. 2023; Lee 2023). 후자의 경우 긴급보수를 위해서는 다양한 측면에서 고려해야 하며, 재료적 측면에서는 보수재료가 빠르게 경화하는 특성을 가져야 한다(Kim 2022).

종래의 경우에는 비탈면 긴급보수에 대한 특별한 공법이나 기준을 찾아보기 어려우며, 재해 예방을 위한 위험 단면의 일시적인 보강 또는 옹벽을 설치하기도 한다(Lee et al. 2023). 그러나 최근 과 같이 기후변화로 초기 설계 기준 이상의 재해가 발생할 경우, 보강된 비탈면 또한 붕괴 위험이 있다(Kim 2022). 일반적으로 비탈면 보강은 다양한 형태의 옹벽 설치나, 산사태 예방을 위한 자연 표토 복원 공법을 통해 이루어진다. 시멘트계 재료를 사용할 경우

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

<sup>1</sup>금오공과대학교 토목공학과 박사수료 (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)

에는 대표적으로 뿔칠공법을 통해 페이스트나 모르타르를 도포한다.

한편 2050년 탄소 중립을 목표로 한 한국판 그린뉴딜이 추진됨에 따라, 시멘트 산업에서는 사용량 감소를 위한 노력이 계속되고 있다(Kim 2022). 시멘트 1톤을 생산할 때 발생하는 이산화탄소는 약 0.9-1.0톤으로, 건설 산업에서 주요한 탄소 배출원이다(Choi et al. 2014; Kim 2022; Lee et al. 2017; Rohman et al. 2022). 또한 최근 대기업 중심으로 ESG 경영에 대한 관심이 증가하고 있다. 이는 Environmental, Social, Governance의 약자로, 기업의 성과와 영향을 평가하는 인증제도로 활용되고 있다. 따라서 건설 재료 부문에서도 탄소 저감과 관련된 인증 확보 및 다양한 노력이 이루어지고 있다(Baek 2021; Byun and Woo 2022; Han et al. 2021; Jeon 2022; Im and Kang 2022; Park et al. 2022).

이에 따라 본 논문에서는 비탈면 긴급 복구를 위한 보수재료로서 시멘트의 양을 최대 50% 대체한 하이볼륨 플라이애시를 활용하여 보수재료를 제조하고자 하였다(Kim 2017). 플라이애시는 주로 화력 발전소에서 발생하는 부산물로, 다양한 연구와 실용적 적용을 통해 검증되었으며(Choi et al. 2014; Choi et al. 2016; Du et al. 2021; Herath et al. 2023; Mojabbi et al. 2023; Rakić et al. 2023), 시멘트에 대해 50% 이상 혼합사용할 경우 하이볼륨 플라이애시라 칭한다. 하이볼륨 플라이애시 환경적 지속가능성을 높이는 재료로 인식되며, 대량의 부산물 활용과 함께 탄소 저감 효과가 있는 재료로 활용가능하다.

따라서 본 논문에서는 비탈면 긴급 복구를 위한 보수재료로서 하이볼륨 플라이애시를 적용한 보수재료의 적용 가능성을 평가하고자 한다. 또한 보수재료의 보강을 위한 섬유는 강원 철원지역에서 발생하는 현무암을 용융하여 제조한 섬유로 최근 성능의 우수함으로 인해 최근 다시 주목받고 있는 섬유이다(Jeong et al. 2020). 이 섬유는 본 논문의 결과를 통하여 새로운 소재 개발의 가능성을 제시하고, 비탈면 복구를 위한 긴급 보수재료에 관련한 연구 및 실용적 적용의 기초를 마련하고자 한다(Choi et al. 2016; Kim et al. 2020a; Yang et al. 2023; Xie et al. 2023; Khan et al. 2024).

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 결합재

실험에 사용된 결합재(B)는 국내 H사의 1종보통포틀랜드시멘트(OPC) 및 국내 S사의 F급 플라이애시(FA)를 사용하였다. Table

**Table 1. Physical properties and chemical composition of composite materials**

Type	Binder (%)	
	OPC	FA
Calcium oxide	61.6	6.0
Silicon dioxide	19.8	52.8
Aluminum oxide	4.5	18.1
Magnesium oxide	3.0	1.4
Ferric oxide	3.6	7.7
Sulfur trioxide	2.1	0.01
Loss on ignition	1.2	6.1
Specific surface area (m <sup>2</sup> /mg)	354	371
Density (g/cm <sup>3</sup> )	3.10	2.20

1은 실험에 사용된 결합재의 물리·화학적 특성을 나타낸 것이다.

#### 2.1.2 골재

실험에 사용된 골재는 낙동강산 강모래(RS)를 사용하였으며, Table 2는 실험에 사용된 골재의 물리적 특성을 나타낸 것이다.

**Table 2. Physical characteristics of fine aggregates**

Type	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Absorption (%)	Fineness modulus	Unit mass (kg/m <sup>3</sup> )
RS	2.60	1.56	2.70	1,670

#### 2.1.3 현무암 섬유

실험에 사용된 현무암 섬유는 국내 B사의 현무암 섬유(BF)를 사용하였으며, 본 연구에서는 평균 길이 20 mm의 섬유를 표준으로 하였다.

#### 2.1.4 화학혼화제

실험에 사용된 화학혼화제(ad)는 국내 H사의 폴리카본산계 고성능 감수제(SP, 고형분 25%) 및 우레탄계 증점제(VA, 고형분 35%)를 사용하였다. 또한 증점제는 배합의 증점 효과를 얻을 수 있지만 내부에 갇힌공기를 생성하기 때문에 소포제를 0.01% 첨가된 증점제를 사용하였다. 최종적인 도출 배합에서는 FA의 강도증진을 목적으로 알칼리 자극제(AA)를 FA 질량에 대하여 3%를 혼합하였다. AA는 규산나트륨을 사용하였으며, 강알칼리인 규산나트륨이 플라이애시 표면의 유리막을 파괴하여 플라이애시가 초기에 반응이 가능할 수 있도록 하였다.

## 2.2 평가 방법

### 2.2.1 혼합 방법 및 시간

보수재료의 혼합은 모르타르 믹서기(6 L)를 사용하였다. 혼합 시간은 배합수를 제외한 모든 재료를 투입하여 1분간 1속으로 건비빔을 실시한 다음 이후 배합수를 투입하여 1속 4분 및 2속 4분 동안 혼합하였다. 보수재료의 혼합시간의 결정은 고점도를 가지는 VA가 분산이 되는 시점을 선행연구를 통하여 선정하였다.

### 2.2.2 소성점도 및 항복응력

소성점도 및 항복응력은 플라이애시 혼합에 따른 영향 및 증점제 사용에 따른 영향을 분석하고자 하였으며, 최적 값을 도출하기 위하여 평가를 실시하였다. 소성점도 및 항복응력 측정기구는 Brookfield사의 모르타르 점도계(Viscometer, DV-III Ultra)를 사용하여 전단속도에 따른 전단응력을 빙햄(Bingham) 모델을 적용하여 해석하였으며, 빙햄모델의 기울기 값과 y-절편 값을 측정하였다. Fig. 1은 소성점도 및 항복응력 측정 전경 및 해석 방법 모식도를 나타낸 것이다.

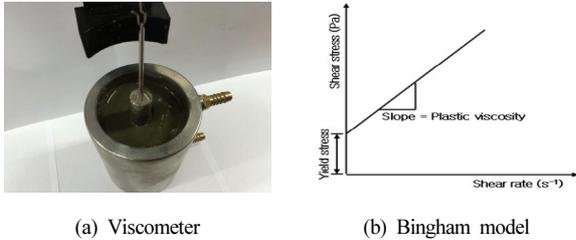


Fig. 1. Measurement foreground and interpretation model

### 2.2.3 플로우 및 강도

보수재료의 플로우 및 강도는 “KS L ISO 679 시멘트의 강도 시험 방법”에 준하여 평가하였으며, 만능시험기(UTM)를 사용하여 강도를 측정하였다. Fig. 2 및 Fig. 3은 샘플의 플로우 및 강도 측정 전경을 나타낸 것이다.

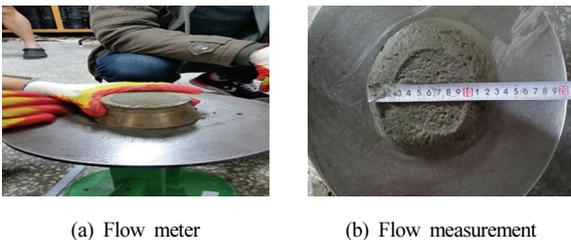


Fig. 2. Measurement foreground of flow



(a) Molding (b) Measurement

Fig. 3. Measurement foreground of strength

## 2.3 실험 계획

본 논문에서는 비탈면 긴급 복구를 위한 보수재료로서 하이볼륨 플라이애시를 적용한 보수재료의 적용 가능성을 평가하고 보강 섬유로서 현무암 섬유를 활용하고자 하였다. 이를 위하여 하이볼륨 플라이애시가 보수재료의 기초 품질특성에 미치는 영향을 분석하였으며, 현무암 섬유 혼합에 따른 영향을 분석하여 최적 혼합 비율을 도출하였다. Table 3은 본 논문의 실험 계획을 나타낸 것이다.

Table 3. Experimental plan

Type	Contents	Variable	Levels
Step-1	FA	Mixed amount of FA	6 (0~60 %)
Step-2	BF-1	SP usage amount	5 (1.3~2.1 %)
Step-3	BF-2	VA usage amount	5 (0.2~1.0 %)
Step-4	FA+BF	Length of BF	2 (0.5, 1.0 %)
Step-5	AA	Influence of AA	2 (0, 3 %)

### 2.3.1 하이볼륨 플라이애시의 영향

하이볼륨 플라이애시가 보수재료의 기초 품질에 미치는 영향을 평가하기 위하여 시멘트에 대하여 플라이애시 6수준을(10, 20, 30, 40, 50 및 60 mass%) 혼합한 모르타르를 제조하였으며, 플라이애시 혼합에 따른 소성점도, 항복응력, 플로우 및 강도를 평가하였다. Table 4는 Step-1의 배합표를 나타낸 것이다.

Table 4. Mix table (Step-1)

No.	W/B (%)	Unit mass (kg/m <sup>3</sup> )				SP (%)	
		W	OPC	FA	RS		
Step-1	FA 0	30	130	437	0	784	1.55
	FA 10	30	130	396	44	784	1.40
	FA 20	30	130	350	87	784	1.25
	FA 30	30	130	306	131	784	1.20
	FA 40	30	130	262	175	784	1.10
	FA 50	30	130	219	219	784	1.00
	FA 60	30	130	175	262	784	0.90

### 2.3.2 현무암 섬유의 섬유 분산성

현무암 섬유가 보수재료의 기초 품질에 미치는 영향을 평가하기 위하여 20 mm의 평균길이를 가지는 현무암 섬유를 표준으로 총 보수재료 부피에 대하여 1 % 혼합하였다. 현무암 섬유를 보수재료에 혼합할 경우 작업성 감소와 섬유 뭉침 현상이 나타나기 때문에 SP와 VA를 사용하여 작업성과 섬유 분산성을 개선하고자 하였다. SP는 B의 질량에 대하여 5수준(1.3, 1.5, 1.7, 1.9 및 2.1 %)에 따른 모르타르를 제조하여 플로우 및 강도를 평가하였다. 또한 VA는 B의 질량에 대하여 5수준(0.2, 0.4, 0.6, 0.8 및 1.0 %)에 따른 모르타르를 제조하여 소성점도, 항복응력, 플로우 및 강도를 평가하였다. Table 5는 Step-2 및 Step-3의 배합표를 나타낸 것이다.

Table 5. Mix table (Step-2 and Step-3)

No.	W/B (%)	Unit mass (kg/m <sup>3</sup> )				SP (%)	VA (%)	
		W	OPC	FA	RS			
Step-2	SP1.3	30	130	437	0	784	1.3	-
	SP1.5	30	130	437	0	784	1.5	-
	SP1.7	30	130	437	0	784	1.7	-
	SP1.9	30	130	437	0	784	1.9	-
	SP2.1	30	130	437	0	784	2.1	-
Step-3	VA0.2	30	130	437	0	784	1.5	0.2
	VA0.4	30	130	437	0	784	1.5	0.4
	VA0.6	30	130	437	0	784	1.5	0.6
	VA0.8	30	130	437	0	784	1.5	0.8
	VA1.0	30	130	437	0	784	1.5	1.0

### 2.3.3 하이볼륨 FA 및 현무암 섬유의 영향

Step-1~3의 실험결과를 통하여 FA50 %, SP 1.5 %, VA 0.6 %의 최적값을 얻을 수 있었으며, 이를 기반으로 BF의 혼합율 2수준(0.5 및 1.0 %)에 따른 모르타르를 제조하여 플로우 및 강도를 평가하였다. 또한, 하이볼륨 FA를 적용할 경우에는 조기강도 저하의 문제가 있으므로 강도 증진을 목적으로 AA를 FA 질량에 대하여 3 % 혼합하

Table 6. Mix table (Step-4 and Step-5)

No.	W/B (%)	Unit mass (kg/m <sup>3</sup> )				SP (%)	VA (%)	BF (%)	AA (%)	
		W	OPC	FA	RS					
Step-4	FA0 BF0.5	0.3	130	437	-	784	1.5	0.6	0.5	-
	FA0 BF1.0	0.3	130	437	-	784			1.0	-
Step-5	FA50 BF0.5	0.3	130	219	219	784	1.5	0.6	0.5	3
	FA50 BF1.0	0.3	130	219	219	784			1.0	3

였다. AA의 사용량은 선행연구를 통하여 최적 사용량을 결정하였다. Table 6은 Step-4 및 Step-5의 배합표를 나타낸 것이다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 FA 혼합율에 따른 기초 품질 특성

#### 3.1.1 소성점도 및 항복응력

Table 7은 FA 혼합율에 대한 레올로지 곡선의 빙행모델의 소성점도(기울기) 및 항복응력(Y절편)을 나타낸 것이다. Table 7의 결과, 소성점도는 FA의 혼합율 증가에 따라 감소하는 경향이 나타났으며, FA 최대 혼합율인 60 %의 경우 약 34 % 감소하였다. 항복응력은 소성점도의 경향과 동일하게 FA의 혼합율 증가에 따라 감소하는 경향이 나타났으며, FA 최대 혼합율인 60 %의 경우 약 60 % 감소하였다.

이와 같은 결과는 선행연구에 따르면(Choi et al. 2014), FA의 3가지 효과에 기인하여 소성점도 및 항복응력이 감소하는 것으로 분석하고 있다. FA는 구형의 입형으로 되어 있기 때문에 배합내 구성요소의 볼-베어링(ball bearing) 효과가 있으며, 이로 인하여 유동성이 향상된다. 또한 FA의 입도분포는 일반적인 시멘트의 입도분포와 다른 영역에 위치함에 따라 배합에 사용된 결합재의 입도분포가 넓어져 궁극적으로 유동성을 향상시키는 효과가 있다. 마지막으로 FA의 자체의 높은 제타전위에 있다. 제타전위(zeta potential)는 입자사이의 반발력 및 인력의 크기를 단위로 나타낸 것으로 분산 매커니즘을 정량화하기 위하여 제타전위를 측정한다. FA의 제타전위는 약 -27 mV, OPC의 제타전위는 약 -10 mV으로 결과적으로 입자간의 반발력이 증가하여 유동성이 향상되어 유동성 및 작업성이 증가한다. 이러한 결과는 목표 플로우를 달성하는데 있어서 단위수량 감소효과 및 SP 사용량을 감소하는 효과가 있다(Choi et al. 2014). 이에 따라 보수재료 제조시 FA 혼합량을

Table 7. Plastic viscosity and shear stress

No.	Plastic viscosity (Pa·s)	Shear stress (Pa)	Increase/decrease rate (%)	
			Plastic viscosity	Shear stress
FA0	4.94	16.74	-	-
FA10	4.83	11.16	-2.23	-33.33
FA20	4.76	7.11	-3.64	-57.53
FA30	4.36	6.94	-11.74	-58.54
FA40	4.04	4.90	-18.22	-70.73
FA50	3.98	3.59	-19.43	-78.55
FA60	3.26	2.00	-34.01	-88.05

크게 가져갈 경우 유동성 및 작업성 증가뿐만 아니라 SP 사용량 감소도 가능하므로 경제적인 배합 제도가 가능할 것으로 판단된다.

### 3.1.2 플로우 및 압축강도

Table 8은 플로우 및 압축강도를 나타낸 것이며, Fig. 4는 FA 혼합률에 따른 플로우 경향을 나타낸 것이다. Table 8 및 Fig. 4의 결과, OPC의 플로우 측정 결과는 약 150 mm로 나타났으며, FA의 경우 FA 혼합을 증가에 따라 증가하는 경향이 나타났다. 이러한 결과는 소성점도 및 항복응력 결과에 기인하여 증가한 것으로 판단된다. 그러나 FA10~30 %, FA40~50 % 구간의 경우 측정 결과에 따르면 큰 차이가 없는 것으로 분석될 수 있지만 실험오차의 영향이 있으며, 10 mm 단위까지 정밀하게 측정이 어렵기 때문에 FA 혼합을 증가에 따른 영향을 알 수 없는 것으로 판단된다. 이러한 경우 정량적으로 분석하기 위하여 소성점도 및 항복응력을 측정하게 되며, 본 논문에서는 소성점도 및 항복응력을 측정하였으므로 FA 혼합에 의하여 유동성 향상이 가능함을 확인할 수 있었다.

Fig. 5는 FA 혼합률에 따른 재령 1일 압축강도를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 긴급복구에 사용하기 위한 보수재료 개발을 목표로 하기 때문에 재령 1일 목표강도를 10 MPa로 설정하였다. 긴급복구에 사용하기 위한 보수재료의 초기 강도는 관련 규정이 없기 때문에 선행연구의 문헌조사를 통하여 재령 1일 압축강도를 설정하였다. 재령에 따른 압축강도는 Table 8에 나타냈으며, 재령 1일 압축강도는 Fig. 5에 나타내었다. Table 8 및 Fig. 5의 결과, FA 혼합에 따라 압축강도가 감소하는 경향이 나타났으며, 혼합률 10 % 증가에 따라 압축강도는 약 10 % 감소하였다. 최대 혼합률 60 %의 경우 최대 30 %의 압축강도가 감소하였다. 이러한 결과를 통하여 FA 혼합에 따른 강도 감소 효과는 최종적으로 알칼리 자극제를 첨가하여 초기강도 향상이 필요할 것으로 판단된다.

Table 8. Flow and compressive strength

No.	Flow (mm)	Compressive strength (MPa)			
		1d	3d	7d	28d
FA0	150	17.4	42.0	50.8	55.0
FA10	175	13.5	38.7	48.7	54.0
FA20	175	10.4	34.6	45.5	52.0
FA30	175	8.5	29.1	40.3	48.0
FA40	180	6.5	24.2	30.5	45.0
FA50	180	5.3	19.6	27.9	40.0
FA60	190	5.0	15.7	22.0	35.0

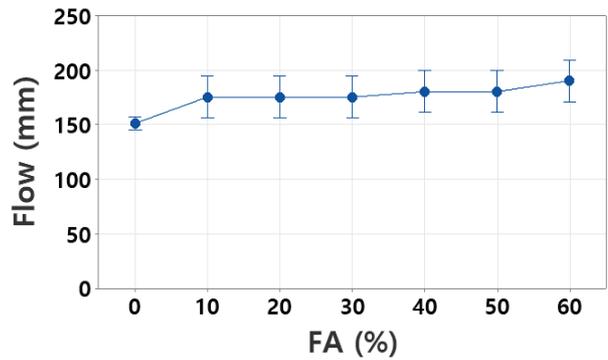


Fig. 4. Flow according to FA

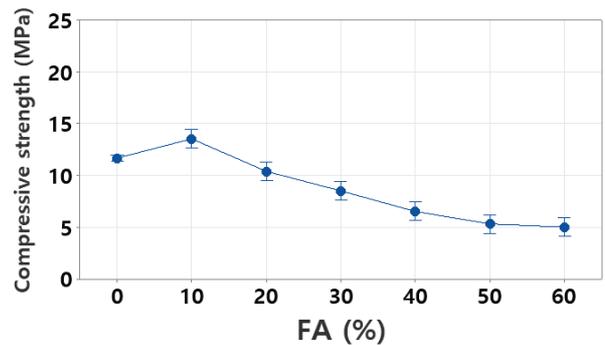


Fig. 5. Compressive strength at 1 day age according to FA

## 3.2 SP 및 VA 혼합률에 따른 기초 품질 특성

### 3.2.1 소성점도 및 항복응력

Table 9는 VA에 대한 레올로지 곡선의 빙햄모델의 소성점도(기울기) 및 항복응력(Y절편)을 나타낸 것이다. VA는 보강섬유인 BF의 섬유뭉침을 해소하기 위하여 사용되는 것으로 분산제가 포함되어 있는 SP만으로는 BF의 섬유뭉침 해소가 어려운 것으로 나타났다. SP는 결합재에 대하여 1.5 % 이상 사용할 경우 섬유 분산성이 개선되지 않았으며, 최대 2.1 %까지 사용하였지만 SP 과다에 따른 재료분리 현상이 나타났다.

이러한 결과를 통하여 표준 SP 사용량에 대하여 VA를 첨가하였다. VA를 사용할 경우 강한 점성으로 인하여 섬유 분산성이 개선되어 섬유 뭉침 현상이 현저히 감소하였다. 그러나 VA를 첨가할 경우에는 완전히 혼합되는 시간을 고려하여 2배 이상의 교반시간이 필요함을 확인할 수 있었다. Table 9의 결과, 0.4 % 이하에서는 섬유 분산성이 개선되지 않았으며, 섬유 뭉침현상으로 인하여 레올로지 측정을 위한 챔버에 시료 충전이 어려운 것으로 확인되었다. 그러나 0.6 % 이상에서는 소성점도 증가 및 항복응력이 증가하였으며, 섬유 뭉침현상이 현저히 해소되어, 선형의 레올로지 곡선

Table 9. Plastic viscosity and shear stress

No.	Plastic viscosity (Pa·s)	Shear stress (Pa)	Increase/decrease rate (%)	
			Plastic viscosity	Shear stress
VA0	4.12	24.04	0	0
VA0.2	4.47	32.12	8.50	33.61
VA0.4	5.20	35.30	26.21	46.84
VA0.6	7.85	37.23	90.53	54.87
VA0.8	8.67	41.89	110.44	74.25
VA1.0	8.79	50.20	113.35	108.82

을 얻을 수 있었다. 이러한 결과는 VA가 적절히 첨가될 경우 BF의 분산성을 개선하여 섬유뭉침 현상을 해소하고 배합의 유동성을 확보할 수 있는 것을 의미한다. 또한 SP 사용량에 따른 소성점도 및 항복응력은 BF의 섬유 뭉침현상으로 인하여 측정이 불가함을 확인할 수 있었다.

3.2.2 플로우 및 압축강도

Table 10은 SP 사용량에 대한 플로우의 측정 결과를 나타낸 것으로, 20 mm의 BF를 모르타르 총 체적의 1 % 혼합한 배합에 대한 결과를 나타낸다. Table 10의 결과, BF를 혼합하지 않은 경우 SP 1.3 %의 플로는 약 170 mm로 나타났지만 BF를 혼합할 경우 섬유 뭉침 현상이 나타났으며, 플로는 140 mm로 약 18 % 감소하는 결과가 나타났다. 그러나 SP 사용량 1.5 %의 플로는 섬유 뭉침 현상이 해소되지 않았지만 플로는 약 7 % 증가하였다. 또한 SP 1.5 % 이후 SP 사용량을 증가하더라도 플로우가 향상되지 않았으며, 오히려 과다사용에 따른 재료분리가 발생하였다. 이러한 결과를 통하여 SP의 증가는 섬유뭉침 해소에 있어서는 큰 효용이 없는 것으로 판단된다. 이에 따라 재료분리가 발생하지 않는 최적 SP 사용량은 1.5 %를 표준으로 하였다.

Table 11은 VA 사용량과 플로우의 측정 결과를 나타낸 것으로, SP 표준 사용량(1.5 %)에 대하여 VA 사용량에 따른 영향을 검토하였다. Table 11의 결과, VA가 증가함에 따라 플로는 약 10 % 증가하는 경향이 나타났으며, 0.6 % 이상일 경우 섬유뭉침 현상이 나타나지 않음을 확인할 수 있었다. 이러한 결과를 통하여, BF 사용 배합의 최적 VA 사용량은 SP 0.6 %인 것으로 판단된다. 한편 VA는 강한 점성을 부여하는 특성이 있지만 배합 내부에 갇힌 공기를 발생시켜 강도저하의 주원인이 된다. 따라서 섬유 분산성이 확보되는 수준에서 가능한 한 사용량을 적게 하여야 하며, 소포제를 활용하여 내부에 갇힌 공기 제거가 필요할 것으로 판단된다. Fig. 6 및 Fig. 7은 Table 11에 대한 플로우를 도식화 한 것이다.

Table 10. Flow and compressive strength

No.	Flow (mm)	Increase/decrease rate (%)	Compressive strength (MPa)		
			1d	3d	7d
SP1.3	170	0	17.39	34.19	50.78
SP1.3BF	140	-17.65	16.5	32.5	48.9
SP1.5BF	150	-11.76	14.52	31.4	48.3
SP1.7BF	150	-11.76	12.44	32.2	48.9
SP1.9BF	150	-11.76	8.72	33.5	48.6
SP2.1BF	150	-11.76	7.16	33.9	48.7

Table 11. Flow and compressive strength

No.	Flow (mm)	Increase/decrease rate (%)	Compressive strength (MPa)		
			1d	3d	7d
VA0	170	0	17.39	34.19	50.78
VA0.2BF	140	-17.65	12.1	28.6	46.1
VA0.4BF	145	-14.71	11.6	25	42.8
VA0.6BF	150	-11.76	10.5	22	38
VA0.8BF	155	-8.82	9.9	17.6	32
VA1.0BF	160	-5.88	7.3	14.6	26.9

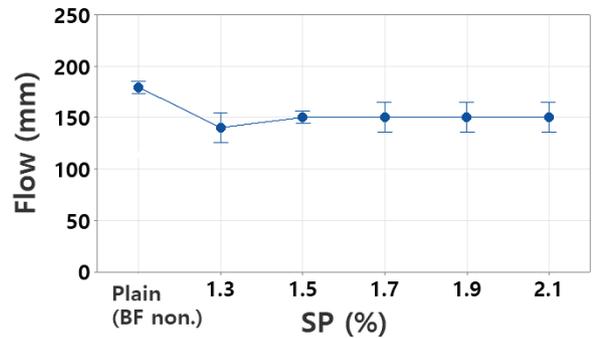


Fig. 6. Flow according to SP

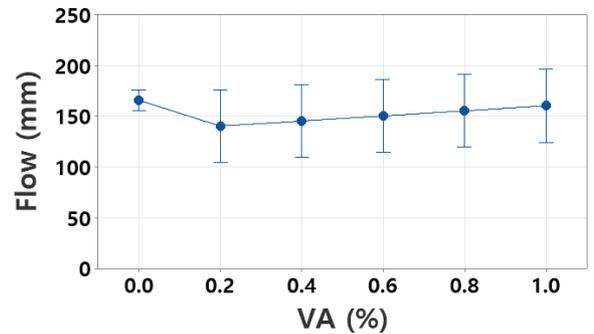


Fig. 7. Flow according to VA

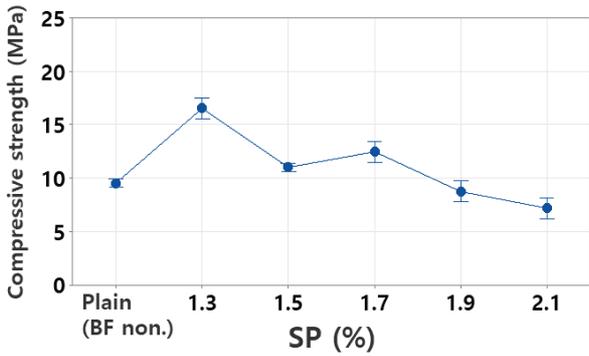


Fig. 8. Compressive strength at 1 day age according to SP

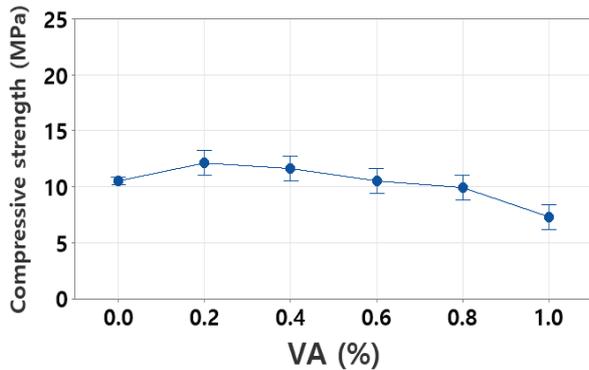


Fig. 9. Compressive strength at 1 day age according to VA

또한 Table 10 및 Table 11은 SP 및 VA에 따른 압축강도를 나타낸다. Table 10의 결과, 재령 1일 압축강도는 SP 증가에 따라 비례적으로 감소하는 경향이 나타났으며, 재령 3일 및 7일의 경우에는 동등수준으로 나타났다. 이러한 결과는 SP의 경우 일반적으로 유지제와 분산제로 구성되어 있지만 유지제는 강도발현을 지연시켜 초기 재령 강도가 감소한 것으로 판단되며, 이후 재령의 경우에는 일반적인 경향과 같이 강도에 미치는 영향은 없는 것으로 판단된다. 그러나 섬유 분산을 위하여 SP 증가는 무의미 하므로 목표 플로우를 달성할 수 있는 최적 사용량 선정이 필요할 것으로 판단된다.

Table 11의 결과, VA 증가에 따라 재령에 따른 압축강도는 비례적으로 감소하였다. 또한 재령 28일 압축강도의 경우에는 최대 50% 감소하는 결과가 나타남에 따라 VA가 압축강도에 미치는 영향은 큰 변수인 것으로 판단된다. 이러한 원인은 VA가 갇힌 공극을 발생시켜 내부 공극 증가로 강도가 감소한 것으로 판단된다. 이러한 결과를 통하여 섬유 분산성 개선을 위하여 VA가 필수 불가결하지만 압축강도가 감소하는 경향이 있으므로 최적 사용량 선정 및 소포제 활용이 필요할 것으로 판단된다.

### 3.2.3 최적 SP 및 VA 선정

Fig. 10은 SP와 VA에 따른 플로우 등고선도를 나타낸 것이며, Fig. 11은 SP와 VA에 따른 압축강도 등고선도를 나타낸 것이다. SP와 VA에 따른 플로우의 영향은 Fig. 10을 통하여 확인할 수 있었으며, SP와 VA에 따른 압축강도의 영향은 Fig. 11을 통하여 확인할 수 있었다. 또한 Fig. 12는 SP와 VA의 최적 사용량 선정을 위한 Fig. 10 및 Fig. 11의 중첩 등고선도를 나타낸 것이다. Fig. 12의 결과, 최적 SP 및 VA의 사용량은 1.5% 및 0.6%인 것으로 분석되었다. 따라서 최적 SP와 VA의 사용량 사용량을 적용하여 최종 보수재료를 제조하였으며, 평가를 실시하였다.

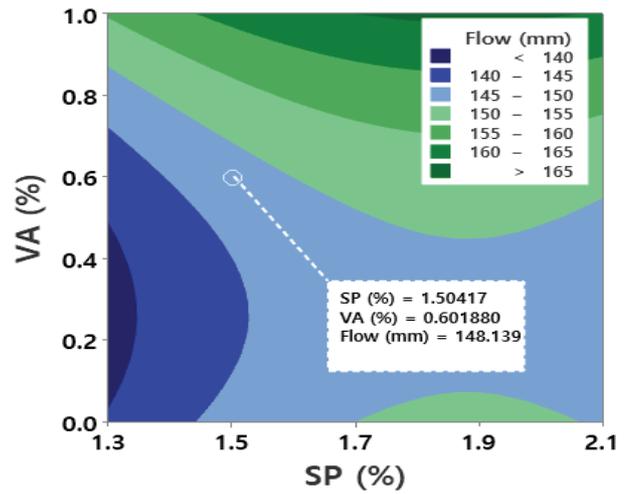


Fig. 10. Contour plot of flow according to SP and VA

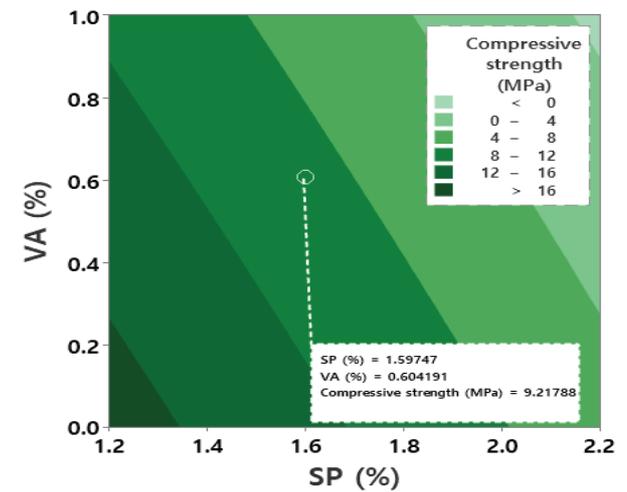


Fig. 11. Contour plot of compressive strength according to SP and VA

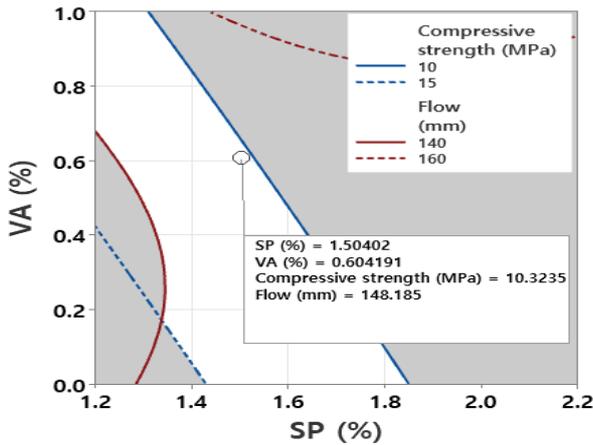


Fig. 12. Overlaid contour plot of flow and compressive strength

### 3.3 BF 혼합을 및 AA에 따른 기초 품질 특성

#### 3.3.1 플로우

Fig. 13은 배합 종류에 따른 보수재료의 플로우 실험결과를 나타낸 것이다. Fig. 13의 결과, FA가 혼합된 배합의 플로우의 경우 FA가 혼합되지 않은 배합의 플로우와 비교하여 감소하는 경향이 나타났으며, BF가 증가할수록 감소하는 경향이 나타났다. 이러한 결과는 FA가 증가할수록 FA의 특성에 기인하여 FA 증가에 따라 유동성 및 작업성이 증가하는 경향이 나타나야 하지만 조기강도 확보를 위하여 사용된 알칼리 자극제(AA)는 규산나트륨을 사용하였기 때문에 자극제 역할뿐만 아니라 급결제 효과에 의하여 플로우가 감소하는 것으로 판단된다. 또한 BF 증가에 따라서는 혼합율 0.5 % 증가에 따라 약 6~7 % 감소하는 경향이 나타났지만 VA의 영향에 의하여 플로우의 감소는 품질에 큰 영향이 없을 것으로 판단된다.

Table 12. Flow and compressive strength

No.	Flow (mm)	Compressive strength (MPa)			
		1d	3d	7d	28d
FA0BF0.5	188	16	31	46	48.9
FA0BF1.0	173	16	32	48	50.3
FA50BF0.5	162	10.6	21.3	32.4	38.6
FA50BF1.0	160	11	21.2	35.2	39.6

#### 3.3.2 압축강도 및 휨강도

Fig. 14는 배합 종류에 따른 보수재료의 압축강도를 나타낸 것이다. Fig. 14의 결과, 모든 배합은 목표 재령 1일 강도인 10 MPa 이상을 만족하는 것으로 나타났다. FA가 50 % 혼합한 배합은 알칼리 자극제를 첨가하지 않은 경우에는 재령 1일에 2~3 MPa 수준으로

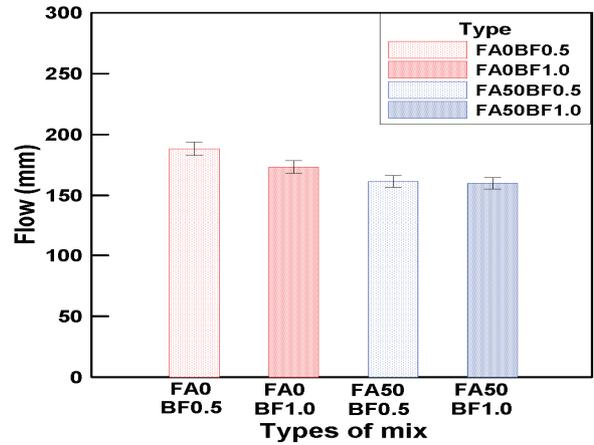


Fig. 13. Experimental results of flow according to mix

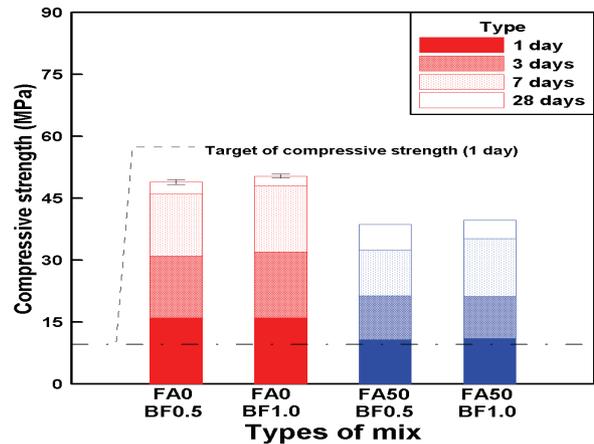


Fig. 14. Experimental results of compressive strength according to mix

로 나타났지만 AA를 첨가한 경우 재령 1일 강도가 11~12 MPa 수준으로 약 5배 상승효과를 얻을 수 있었다. 이러한 결과를 통하여 FA를 50 % 이상 다량 혼합사용하더라도 AA의 효과에 의하여 목표 강도를 만족할 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 15는 보수재료와 재령 28일 휨강도의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 15의 결과, 모든 보수재료의 휨강도는 7~8 MPa 수준인 것으로 나타났으며, FA 혼합에 따라 약 1 MPa 수준 감소하는 결과가 나타남에 따라 FA를 50 % 이상 혼합하여도 FA를 혼합하지 않은 경우와 동등 수준의 휨강도 확보가 가능한 것으로 판단된다.

## 4. 결론

본 논문에서는 긴급복구를 위한 보수재료로써, 하이블룸 플라이에서 및 현무암 섬유 보강 보수재료의 기초 품질 특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

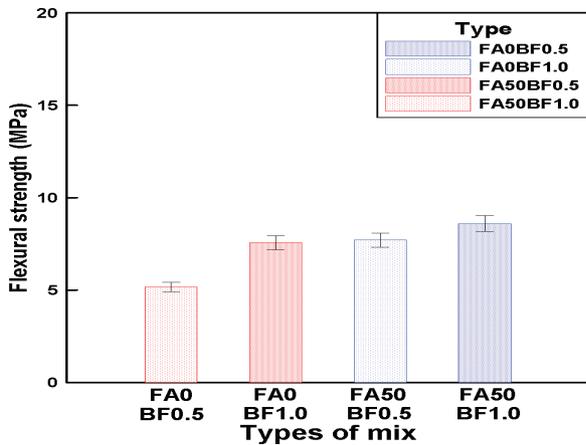


Fig. 15. Experimental results of flexural strength according to mix

1. FA 혼합에 따른 모르타르의 품질특성을 평가한 결과, FA 혼합에 따라 소성점도 및 항복응력이 감소효과가 있는 것으로 나타났으며, FA의 특성에 기인하여 모르타르의 플로우 향상을 통한 작업성 확보 및 고성능 감수제의 사용량 저감이 가능할 것으로 판단된다.
2. 현무암 섬유 혼합에 따른 모르타르의 품질특성을 평가한 결과, 섬유용침 현상을 해결하기 위해서는 고성능 감수제의 과다사용보다는 증점제가 효율적인 것으로 나타났다. 그러나 증점제는 강도를 저하시키는 경향이 있으므로, 섬유용침을 해소하는 최소 사용량을 적용하여야 할 것으로 판단된다.
3. 하이볼륨 플라이애시 및 현무암 섬유 보강 보수재료의 품질 특성을 평가한 결과, 알칼리 자극제의 첨가로 플로우가 다소 감소하는 경향이 나타났지만 증점제의 증점 효과에 의하여 작업성 확보가 가능한 것으로 나타났으며, 재령 1일 목표강도 10 MPa를 만족할 수 있는 것으로 판단된다.

## Conflicts 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., 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., 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].
- Herath, C., Law, D. W., Gunasekara, C., Setunge, S. (2023). Sulphate and acid resistance of HVFA concrete incorporating nano silica, *Construction and Building Materials*, **392**, 132004.
- Im, D.M., Kang, M.S. (2022). Trends in ESG Domestically and Internationally, *KYOBO Securities 8 Research Center, ESG Issue Report*, 1–8 [In Korean].
- Jeon, K.S. (2022). A case study on ESG management in the age of the fourth industrial revolution – focused on ESG management of appraisers and Korea association of property appraisers, *Smart Media Journal*, **11(7)**, 28–38.
- Jeong, Y.J., Kim, S.H., Choi, W., Choi, K.B. (2020). Experimental study on bond behavior of reinforced concrete beams flexural reinforced with basalt fiber sheets, *Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures*, **11(2)**, 24–30.
- 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].
- Meng, Z., Hu, J., Zhang, J., Zhang, L., Yuan, Z. (2023). The momentum transfer mechanism of a landslide intruding a body of water, *Sustainability*, **15(18)**, 13940.
- 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.
- Park, J.H., Han, H.W., Kim, N.R. (2022). Exploration of domestic ESG research trends: focusing on academic studies conducted in Korea from 2012 to 2021, *Asia–Pacific Journal of Business Venturing and Entrepreneurship*, **17(1)**, 191–211 [In Korean].
- Rakić, J.M., Petrović, R.D., Radojević, V.J., Baščarević, 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., Abedinangerabi, 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.

### 비탈면 긴급 복구를 위한 하이볼륨 플라이애시 및 현무암 섬유 보강 보수재료의 기초 품질 특성에 대한 실험적 연구

본 논문에서는 홍수와 같은 재해시 비탈면 긴급 복구를 위한 보수재료를 제조하기 위한 일환의 연구로써, 플라이애시 혼합율에 따른 모르타르, 현무암 섬유 보강에 따른 모르타르를 각각 제조하여 보수재료의 기초 품질 특성에 미치는 특성을 평가하였다. 긴급 복구를 위한 보수재료는 각각의 특성으로부터 최적의 플라이애시 사용량을 선정하였으며, 현무암 섬유 혼합에 따른 기초 품질 향상을 위하여 화학혼화제 및 증점제의 최적 사용량을 도출하였다. 특히 하이볼륨 플라이애시는 알려진 장점으로 인하여 고성능 감수제 사용량 감소 및 작업성 향상이 가능함을 확인하였으며, 증점제 효과와 함께 섬유 뭉침 현상을 해소할 수 있는 것으로 나타났다. 본 실험결과를 통하여 얻어진 보수재료는 초기재령 강도를 증점으로 평가하여 긴급 복구를 위한 보수재료로서의 활용 가능성을 제시하고자 하였다.