

# CSA 및 ACA계 결합재를 적용한 보수재료의 미세구조 및 역학적 성능

## Microstructures and Mechanical Properties of Repair Materials Using CSA and ACA-based Binders

이승태<sup>1\*</sup> · 정훈신<sup>2</sup> · 권태한<sup>2</sup> · 김용<sup>2</sup>Seung-Tae Lee<sup>1\*</sup> · Hoon-Shin Chung<sup>2</sup> · Tae-Han Kwon<sup>2</sup> · Yong Kim<sup>2</sup>

(Received July 17, 2023 / Revised July 29, 2023 / Accepted July 31, 2023)

In this study, microstructures and mechanical properties of repair materials using calcium sulfoaluminate (CSA) and/or amorphous calcium aluminate (ACA) cements were experimentally investigated. By XRD analysis, the hydrates formed in repair materials were identified. In addition, the microstructures of repair materials were visually examined through SEM observation. Setting time of mortars made with repair materials were measured. The strength development and ultrasonic velocity of the mortars were also evaluated at the predetermined ages. As a result, it seems that ACA showed a benefit effect with respect to mechanical properties of mortars.

**키워드** : 칼슘설포알루미네이트, 비정질 칼슘알루미네이트, 보수재료, 미세구조, 역학적 성능

**Keywords** : Calcium sulfoaluminate, Amorphous calcium aluminate, Repair material, Microstructure, Mechanical properties

### 1. 서론

최근 건축 및 토목 구조물에 대한 체계적인 유지관리의 필요성으로 인하여 노후 인프라구조물의 보수보강 관련 공법 및 재료에 대한 관심이 고조되고 있는 실정이다.

주지하다시피, 콘크리트는 경제성 뿐만 아니라 역학적 성능, 내구성 등이 우수하여 철강재와 더불어 많은 구조물 건설에 적용되어 오고 있다. 그러나 콘크리트 재료의 효율적인 품질관리 미흡 및 이상기온 등의 열화환경으로 인하여 콘크리트 구조물의 성능은 떨어지게 되며, 내구수명도 단축되는 결과를 초래하게 된다 (Hwang et al, 2018).

이러한 콘크리트 구조물 열화원인 및 그 대책에 대한 연구는 국내에서도 많이 수행되고 있으나, 콘크리트 구조물의 열화에 능동적으로 대응하는 보수공법 및 보수재료에 대한 연구는 상대적으로 아직 체계화되지 못하고 있는 실정이다(Kim and Sung 2008). 한편, 선진외국에서는 콘크리트 구조물의 유지보수 재료로서 구조

물의 역학적 성능 뿐만 아니라 내구성능을 향상시키는 알루미네이트계 결합재를 적용한 연구가 오래전부터 수행되어 오고 있으며, 연구 성과도 상당히 많이 확보하고 있다(Vasquez et al, 2020; Hargis et al, 2014),

칼슘설포알루미네이트(calcium sulfoaluminate : CSA) 시멘트는 1960년대 Alexander Kevin에 의하여 발명된 이후로, 유럽 및 미국에서 수축보상재(shrinkage-compensating additive)로서 널리 사용되고 있으며, 일본, 중국 등지에서는 CSA의 Ye'elinite ( $3\text{CaO}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4$ )의 팽창특성으로 인하여 팽창성 결합재로도 많이 사용된다고 보고하고 있다(Bye 1999; Bernardo et al, 2006). 우리나라에서도 CSA에 대한 연구가 일부 수행되었으나, 대부분 CSA 시멘트 경화체의 강도, 내구성에 대한 평가가 대부분이며, CSA계 결합재의 수화반응에 대한 연구는 많지 않은 실정이다(Hyun et al, 2017).

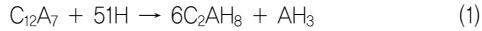
한편, 비정질 칼슘알루미네이트(amorphous calcium aluminate : ACA) 시멘트는 주성분이  $\text{C}_{12}\text{A}_7$ 으로써, 알루미늄(Al) 성분이 거의 40~50 % 정도로 이루어져 있다. 일반적으로, ACA는 수화반응에

\* Corresponding author E-mail: stlee@kunsan.ac.kr

<sup>1</sup>군산대학교 토목공학과 교수 (Department of Civil Engineering, Kunsan National University, Kunsan, Jeonbuk, 54150, Korea)

<sup>2</sup>군산대학교 토목공학과 박사수로 (Department of Civil Engineering, Kunsan National University, Kunsan, Jeonbuk, 54150, Korea)

의하여 침상의 ettringite(Aft) 뿐만 아니라 다음 식(1)과 같이 C<sub>2</sub>AH<sub>6</sub>이 다량으로 생성되어 급결성의 특징을 나타내는 것으로 알려져 있다(Nakagawa et al. 1990).



그러나, OPC와 병용하여 사용하면 Ca(OH)<sub>2</sub>가 존재하는 환경에서 급결을 제어할 수 있기 때문에 유동성 향상 효과를 기대할 수도 있다. 또, 무수석고(anhydrate)와 함께 사용하면 빠르게 수화반응이 진행되기 때문에 일본, 미국 등에서는 슛크리트 또는 콘크리트 구조물의 급속 보수를 위한 용도로 사용 가능하다.

본 연구에서는 열화된 콘크리트 구조물의 급속 보수재료로 활용하기 위한 연구의 일환으로 OPC에 CSA 및 ACA를 적절하게 대체한 보수 모르타르를 제조하였으며, 보수재료 배합별 수화생성물 및 미세구조 분석뿐만 아니라 응결, 강도, 초음파속도 등 역학적 성능을 실험적으로 평가하였다. 본 연구를 통하여 도출된 실험 결과는 향후 동해, 염해, 탄산화 등 열화된 콘크리트 구조물에 적용하기 위한 최적 보수재료 선정의 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 결합재

실험에 사용한 결합재는 KS L 5201에 준하는 국내 S사 1종 보통포틀랜드시멘트(OPC), 칼슘설포알루미늄에이트(calcium sulfoaluminate : CSA) 시멘트, 비정질 칼슘알루미늄에이트(amorphous calcium aluminate : ACA) 시멘트 및 무수석고(anhydrate : AG)를 사용하였으며 화학성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical composition of binders

Items	OPC	CSA	ACA	AG
SiO <sub>2</sub> (%)	19.8	9.1	3.8	3.3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	4.8	28.0	42.8	1.5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	3.1	3.1	0.8	0.2
CaO (%)	61.5	44.3	48.4	42.4
MgO (%)	2.9	2.5	1.2	0.3
SO <sub>3</sub> (%)	2.8	10.1	0.2	51.9
TiO <sub>2</sub> (%)	0.3	1.0	2.2	-

### 2.1.2 골재

잔골재는 규사 5호 및 6호를 1:1로 섞어서 사용하였으며, 사용된 규사의 물리적 성질은 Table 2와 같다.

Table 2. Physical properties of fine aggregates

Items	#5	#6
Density (g/cm <sup>3</sup> )	2.79	2.82
Absorption (%)	0.75	0.99
F.M.	49.8	39.1

## 2.2 보수 모르타르의 배합

본 연구에서 사용된 보수 모르타르(Repair mortar : RM) 배합은 Table 3에 제시된 바와 같이 결합재로서 100 % OPC를 사용한 R-1 배합, OPC에 대하여 CSA를 25 % 대체한 R-2 배합, OPC에 대하여 ACA를 25 % 대체한 R-3 배합 및 OPC에 대하여 CSA 및 ACA를 각각 12.5 % 대체한 R-4 배합을 각각 사용하였다. R-2, R-3 및 R-3 배합의 경우, 결합재의 경화속도 조절을 위하여 AG를 OPC에 대하여 각각 25 % 대체하여 사용하였다. 또, 각 배합의 물-결합재비(w/b)는 57 %로 동일하게 적용하였으며, 결합재와 잔골재비는 1: 1.79로 고정하여 배합설계를 실시하였다. 또, 수화생성물 분석을 위하여 배합별 페이스트를 동일 w/b로 제조하여 소정의 재령에서 XRD 및 SEM 분석을 실시하였다.

Table 3. Mixes of RM

Mixes	w/b	Binders (g)				Fines (g)
		OPC	CSA	ACA	AG	
R-1	0.57	35.0	-	-	-	62.8
R-2		17.5	8.75	-	8.75	
R-3		17.5	-	8.75	8.75	
R-4		17.5	4.38	4.38	8.75	

## 2.3 실험방법

### 2.3.1 XRD (X-ray diffraction)

경화한 보수재의 수화생성물을 평가하기 위하여 수중에 28일간 양생된 샘플을 대상으로 XRD 분석을 실시하였다. 이때, XRD 측정 조건은 CuK $\alpha$  (Ni filter) : 30 kV, 20 mA, scanning speed : 2°/min, 2 $\theta$  : 5~60°로 정하였다.

### 2.3.2 SEM (Scanning electron microscopy)

수중에 28일간 양생된 보수재의 미세구조를 관찰하기 위하여 주사형 전자현미경(SEM)분석을 실시하였다. 경화체의 수화반응을 정지시키기 위하여 대상 샘플을 아세톤(acetone)용액에 6시간 동안 침지한 후 24시간 동안 진공상태가 되도록 전처리 작업을 실시하였다. 분석 대상 샘플의 표면을 Platinum으로 코팅하였으며, Fig. 1과 같이 Ultra High FE-SEM(SU-8220)을 사용하여 보수재의 미세구조를 정성적으로 분석하였다.



Fig. 1. Ultra High FE-SEM(SU-8220)

### 2.3.3 응결시간

본 연구에서 적용된 4종류 보수 모르타르의 응결시간을 측정하기 위하여 KS L 5108에 준하여 비카침(Vicat needle)에 의한 측정 방법으로 실험을 실시하였다.

### 2.3.4 강도특성

보수 모르타르 제조 24시간 후 공시체를 탈형하여  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  조건에서 수중양생을 실시하였으며, 재령 1, 3, 7 및 28일에서 공시체의 압축 및 휨강도를 측정하였다. 모르타르의 압축 및 휨강도 실험은 KS L 5105 및 KS L 2325에 준하여 각각 수행하였으며, 시험체 제작은  $50 \times 50 \times 50$  mm의 큐빅몰드(압축강도) 및  $40 \times 40 \times 160$  mm의 각주몰드(휨강도)를 각각 사용하여 제작하였다. 또한, 압축강도가 약 50 MPa인 바탕콘크리트( $600 \times 600 \times 100$  mm) 시험체를 제작한 후, 보수 모르타르를 5 mm 두께로 도포하여  $40 \times 40$  mm 어태치먼트(attachment)를 각각 3개씩 부착한 후, KS F 4042에 준하여 Fig. 2와 같이 부착강도를 측정하였다.

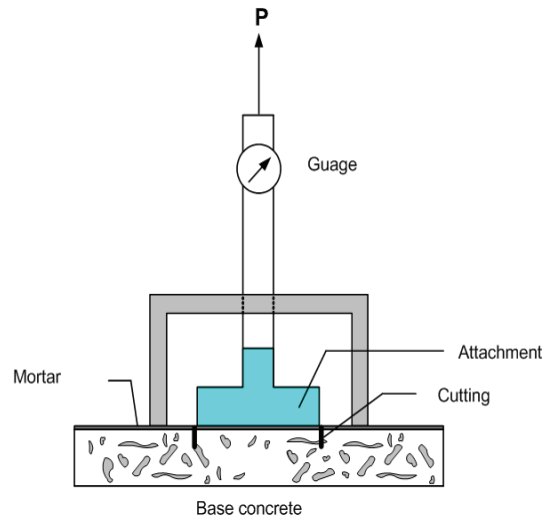


Fig. 2. Set-up for bond strength measurement

### 2.3.5 초음파속도

본 연구에서는 KS F 2731 “콘크리트 압축강도 추정을 위한 초음파 펄스 속도 시험방법”에 준하여 초음파속도를 측정하였다. 보수 모르타르의 초음파속도 측정 전경은 Fig. 3과 같다.



Fig. 3. Ultrasonic pulse velocity measurement

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 보수재의 미세구조

#### 3.1.1 XRD 분석

Fig. 4는 28일동안 양생된 4종류 보수재의 수화생성물을 관찰하기 위한 XRD 분석 결과를 도시한 것으로서, 결합재의 종류에

따라 수화물질이 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. OPC만을 적용한 R-1 샘플에서는 시멘트 경화시 생성되는 주요 수화물인 portlandite(Ca(OH)<sub>2</sub>)가 주피크로 검출되었으며, gypsum(CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O), calcite(CaCO<sub>3</sub>) 및 ettringite(Af)의 피크도 확인되었다.

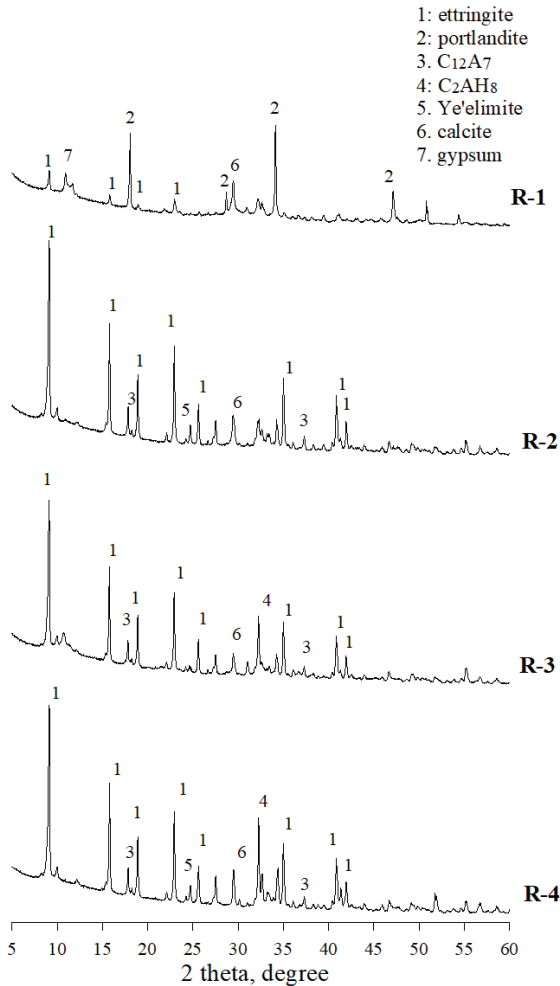
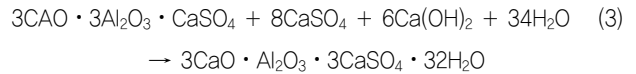
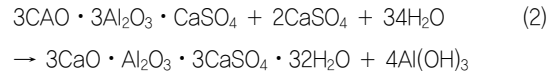


Fig. 4. XRD patterns of paste samples at 28 days of curing

한편, 알루미늄이트계 보수재(CSA & ACA)를 적용한 R-2, R-3 및 R-4 샘플의 XRD 패턴을 분석한 결과, R-1 샘플과는 다르게 portlandite의 피크가 거의 검출되지 않았으며, 주로 ettringite의 피크가 다량으로 검출되는 것으로 조사되었다. 뿐만 아니라, OPC 및 알루미늄이트계 보수재의 혼용으로 인하여 C<sub>12</sub>A<sub>7</sub> 및 C<sub>2</sub>AH<sub>8</sub>의 피크도 검출되는 것으로 확인되었다. 특히, C<sub>2</sub>AH<sub>8</sub>은 ACA를 결합재로 사용한 R-3 및 R-4 샘플의 XRD 패턴에서 뚜렷하게 관찰되었다. 이는 Nakagawa et al.(1990)의 연구결과에서도 보고되었듯이 수화시 portlandite의 소모로 인하여 ACA의 주성분인 C<sub>12</sub>A<sub>7</sub>이

반응하여 C<sub>2</sub>AH<sub>8</sub>이 주로 생성된 것으로 판단된다. 또, CSA를 결합재로 적용한 R-2 및 R-4 샘플에서는 다음 식 (2) 및 (3)에 의한 반응과 같이 Ye'elimite(3CaO<sub>3</sub> · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · CaSO<sub>4</sub>)의 수화반응으로 인하여 ettringite가 다량으로 생성되는 것을 확인할 수 있다 (Hargis et al, 2014).



### 3.1.2 SEM 분석

시멘트 경화체(cement matrix)의 수화 시 생성되는 수화물질, 미세균열, 공극량 등은 경화체의 강도, 투수성, 내구성에 영향을 미치게 된다(Aitcin 2000). 본 연구에서는 4종류 보수재를 적용한 재령 28일 페이스트 샘플의 수화물, 미세균열 등 미세구조 특성을 고찰하기 위하여 SEM 분석을 실시하였으며, 그 결과를 Fig. 5~8에 각각 나타내었다.

Fig. 5는 OPC 만을 결합재로 적용한 R-1 샘플의 미세구조(x 5,000)를 나타낸 것으로서, Fig. 4의 XRD 분석 결과에서도 나타났듯이 portlandite(CH), ettringite 및 비정질의 C-S-H가 다량으로 생성되었으며, 수화물 사이에 미세공극 및 미세균열도 다량으로 관찰되었다. 한편, CSA를 주 결합재로 적용한 R-2 샘플의 SEM 이미지를 나타낸 것이 Fig. 6으로써, 관찰된 샘플 표면 전역에 각 주상(subhedral)의 ettringite가 다량으로 생성되었음을 확인할 수 있으며, 이 수화물질의 생성에 따른 미세균열도 다수 관찰되었다.

Fig. 7은 ACA를 주 결합재로 적용한 R-3 샘플의 SEM 이미지를 나타낸 것으로서, 주로 침상(needle-like)의 ettringite가 생성되었으며, 조직구조도 상대적으로 치밀하게 구성된 것을 확인할 수 있다. 한편, R-4 페이스트 샘플의 SEM 분석결과를 나타낸 것이 Fig. 8로써, 다량의 ettringite 외에도 판상의 portlandite가 생성된 것으로 관찰되었다. 이러한 경향은 Fig. 4의 R-4 샘플에 대한 XRD 결과와는 다소 상이한 것으로 판단되며, 이에 대한 미세구조적 관점에서 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

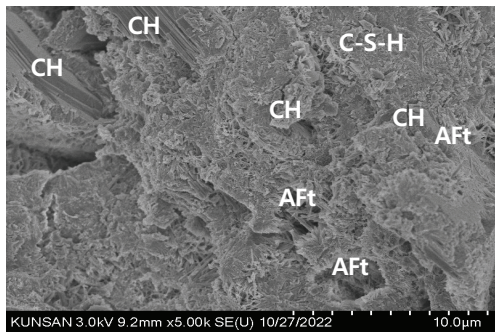


Fig. 5. SEM image for R-1 sample

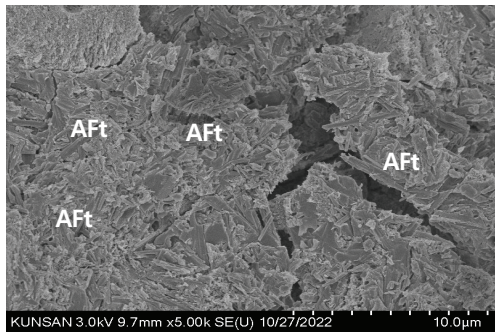


Fig. 6. SEM image for R-2 sample

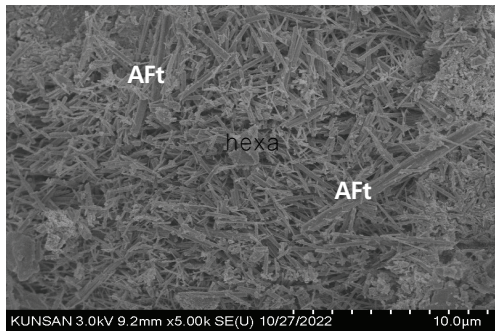


Fig. 7. SEM image for R-3 sample

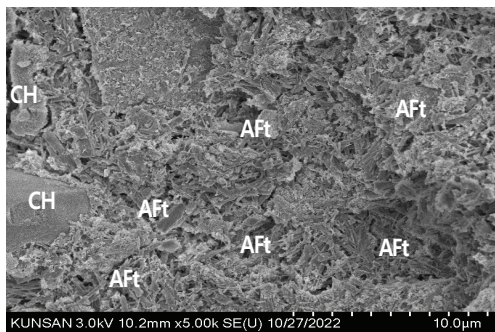


Fig. 8. SEM image for R-4 sample

## 3.2 보수 모르타르의 역학적 성능

### 3.2.1 응결특성

4종류 보수 모르타르의 초결 및 종결시간 측정 결과를 나타낸 것이 Fig. 9이다. 보수 모르타르의 종류에 따라 응결시간은 각각 상이하였으며, 대체적으로 ACA를 결합재로 적용한 보수 모르타르(R-3 및 R-4)의 응결시간이 작게 나타나는 경향을 보였다. OPC만을 결합재로 적용한 R-1 모르타르의 초결 및 종결 시간은 각각 약 4.3 및 6.6시간으로 관찰되었다. 한편, R-3 보수 모르타르는 CSA를 적용한 R-2 보수 모르타르에 비하여 초결은 약 1.6시간, 종결은 1.8시간 정도 작게 나타나는 것으로 관찰되었으며, ACA 및 CSA를 혼용하여 적용한 R-4 보수 모르타르와는 유사한 응결 특성을 나타내었다. 이는 ACA의 주성분인  $C_{12}A_7$ 의 매우 빠른 응결 촉진 특성에 기인한 것으로 판단된다(Nagagawa et al, 1990).

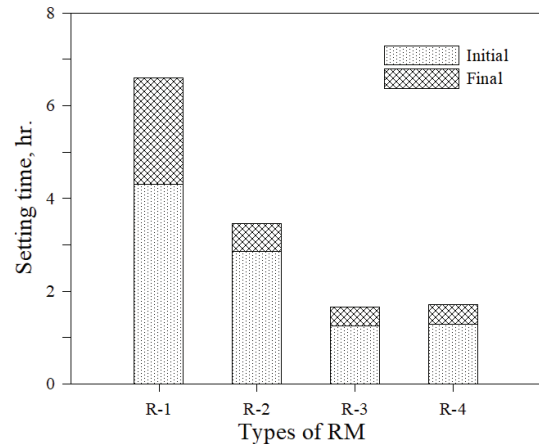


Fig. 9. Setting time of RM

### 3.2.2 강도특성

Fig. 10은 4종류 보수 모르타르의 재령별 압축강도 측정 결과를 도시한 것으로서, 재령이 증가함에 따라 압축강도가 증가하는 경향을 나타내었다. 이 그림에서 알 수 있듯이 R-3 보수 모르타르는 재령에 관계없이 나머지 3종류 모르타르보다 높은 압축강도 값을 나타내었으며, R-1 모르타르는 상대적으로 낮은 강도발현을 보였다. 특히, 초기재령(1일)에서 R-3 (14.7 MPa) > R-4 (13.8 MPa) > R-2 (10.0 MPa) > R-1 (6.7 MPa)의 순으로 모르타르의 압축강도가 크게 나타났으며, 이러한 경향은 재령 3일에서도 유사하게 관찰되었다. 그러나, 재령 7일에서 R-2 및 R-4 모르타르의 압축강도는 서로 유사하게 나타났으며, 재령 28일에서는 오히려 R-2 모르타르의 압축강도가 R-4 모르타르에 비하여 크게 나타나는 것

로 관찰되었다. 압축강도 결과에 따르면, ACA계 결합재를 적용한 보수 모르타르는 초기강도 발현에 다소 유리한 것으로 판단된다.

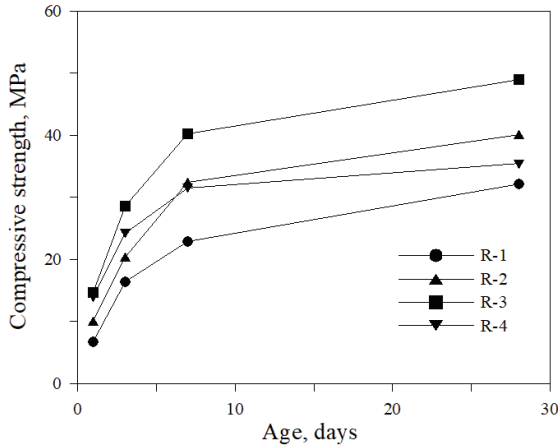


Fig. 10. Compressive strength of RM

보수 모르타르의 휨강도 특성을 나타낸 것이 Fig. 11로써, Fig. 10에 나타난 보수 모르타르의 압축강도 발현 특성과 마찬가지로 재령에 관계없이 R-3 모르타르의 휨강도가 가장 크게 나타나는 것으로 관찰되었다. 예를 들어, 재령 28일에서 R-3 모르타르의 휨강도는 약 12.1 MPa로써, R-1, R-2 및 R-4 모르타르의 약 7.4, 10.0 및 8.6 MPa보다 우수한 휨강도 성능을 나타내었다.

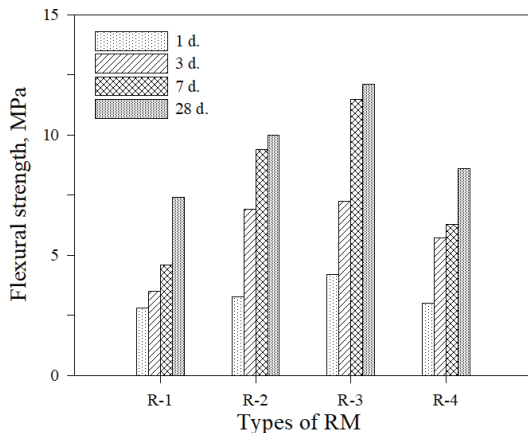


Fig. 11. Flexural strength of RM

균열, 탈락, 단면손상 등 열화된 콘크리트 구조물의 유지보수에 사용되는 보수재의 특성 중 부착강도는 가장 중요한 요소 중 하나이며, KS F 4936에 따르면 콘크리트 구조물의 열화 단면의 성능회복을 위한 보수재의 부착강도는 1.0 MPa 이상의 최소기준을 설정

하고 있다. 또, 한국도로공사 품질기준안에 따르면, 콘크리트 포장의 보수를 위한 보수재의 최소 부착강도를 약 1.4 MPa 이상(교통 개방 시)으로 규정하고 있다.

Fig. 12는 결합재 종류에 따른 보수 모르타르의 부착강도 발현 특성을 도시한 것으로써, 재령 3일에서 R-1 모르타르의 부착강도가 약 0.3 MPa로 측정된 것에 비하여 CSA 및 ACA를 각각 적용한 R-2 및 R-3 모르타르의 부착강도는 각각 약 1.1 및 1.6 MPa로 나타남으로써 상대적으로 우수한 부착성능을 보였다. 특히, R-3 모르타르는 재령 7 및 28일에서도 약 2.3 및 3.3 MPa의 부착강도 값을 나타냄으로써, 본 연구에서 검토된 4종류 보수 모르타르 중 가장 우수한 부착강도 값을 나타내었다.

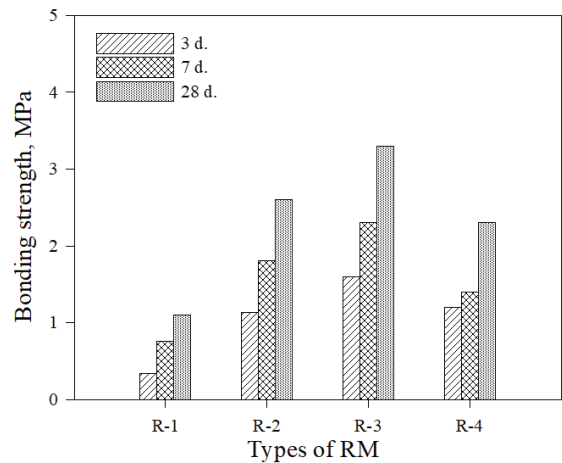


Fig. 12. Bonding strength of RM

이상과 같이 4종류 보수 모르타르의 강도 특성을 고찰한 결과, ACA를 적용한 R-3 모르타르가 압축, 휨 및 부착 성능이 가장 우수하였으며, CSA 및 ACA를 혼용한 R-4 모르타르는 CSA를 적용한 R-2 모르타르의 강도특성과 비교적 유사한 것으로 조사되었다.

### 3.2.3 초음파속도

Fig. 13은 KS F 2731에 준하여 4종류 보수 모르타르의 재령별 초음파속도 측정결과를 나타낸 것이다. 이 그림으로부터 재령의 증가와 더불어 모르타르의 초음파속도는 증가하는 경향임을 알 수 있으며, 재령에 관계없이 R-3 모르타르의 초음파속도가 다소 크게 나타나는 경향을 나타내었다. 특히, 재령 28일에서 R-3의 초음파속도는 약 4.46 km/s로써, R-1(약 3.88 km/s), R-2(약 3.95 km/s) 및 R-4(약 3.86 km/s) 모르타르에 비하여 매우 우수한 초음파속도 값을 나타내었다.

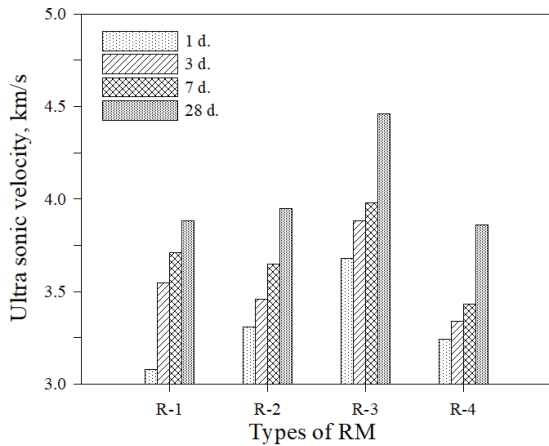


Fig. 13. Ultrasonic velocity of RM

한편, R-1 및 R-2 모르타르의 초음파속도 결과를 비교해보면, 초기재령(1일)에서는 R-2 모르타르(약 3.31 km/s)가 R-1 모르타르(약 3.07 km/s)에 비하여 다소 크게 낮으나, 이후의 재령에서는 서로 유사한 결과를 나타내는 것으로 관찰되었다. 또, ACA 및 CSA를 혼용하여 적용한 R-4 보수 모르타르의 초음파속도는 재령 1일을 제외하면 R-1 모르타르보다 다소 낮은 결과를 나타내는 것으로 조사되었다.

Fig. 14는 4종류 모르타르의 압축강도와 초음파속도의 상관관계를 도시한 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 보수 모르타르의 압축강도와 초음파속도는 좋은 선형관계가 있는 것으로 관찰되었다. 이는 Moura et al.(2023)의 연구결과에서도 나타났듯이 초음파속도 평가는 시멘트질 재료(cement based-material)의 압축강도 추정을 위한 좋은 파라미터가 될 수 있다고 판단된다.

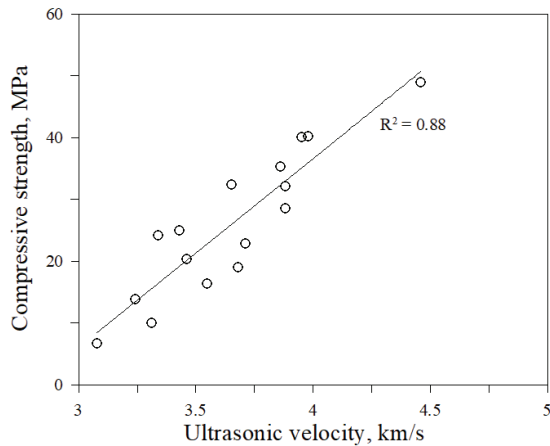


Fig. 14. Relationship between compressive strength and ultrasonic velocity of RM

#### 4. 결론

본 연구는 CSA 및 ACA를 적용한 보수재의 미세구조 및 역학적 성능을 실험적으로 고찰한 것이며, 실험 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. XRD에 의하여 4종류 보수재의 수화생성물을 분석한 결과, ACA를 결합재로 사용한 R-3 및 R-4 샘플에서는 portlandite의 소모로 인하여 ACA의 주성분인  $C_{12}A_7$ 이 반응하여  $C_2AH_8$ 이 주로 생성되었으며, CSA를 결합재로 적용한 샘플에서는 Ye'elimitte의 수화반응으로 인하여 ettringite가 다량으로 생성되는 것으로 관찰되었다.
2. SEM 분석 결과, CSA를 적용한 R-2 샘플에서는 각주형 ettringite가 다량으로 생성된 반면, ACA를 적용한 R-3 샘플에서는 침상의 ettringite가 생성되었으며, 조직구조도 상대적으로 치밀한 것으로 관찰되었다.
3. 보수 모르타르의 응결시간 측정결과, ACA 적용 보수 모르타르는  $C_{12}A_7$ 의 응결 촉진 특성으로 인하여 응결시간이 빠르게 나타나는 것으로 관찰되었다.
4. 4종류 보수 모르타르의 강도특성을 분석한 결과, ACA를 결합재로 적용한 보수 모르타르가 초기재령부터 우수한 압축강도 특성을 나타내었으며, 특히, R-3 보수 모르타르는 재령에 관계 없이 4종류 보수 모르타르 중 가장 우수한 부착강도 발현 경향을 나타내었다.
5. 보수 모르타르의 초음파속도는 재령이 증가함에 따라 증가하였으며, R-3 모르타르의 초음파속도가 가장 우수한 것으로 조사되었다. 그러나, R-4 보수 모르타르는 재령 1일을 제외하면 R-1 모르타르보다 오히려 초음파속도가 다소 낮은 결과를 나타내는 것으로 조사되었다.

#### Conflicts of interest

None.

#### 감사의 글

본 논문은 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었습니다(과제번호 RS-2022-00142566). 이에 감사드립니다.

## References

- Aitcin, P.C. (2000). Cement of yesterday and today concrete of tomorrow, *Cement and Concrete Research*, **30**, 1349–1359.
- Bernardo, G., Telesca, A., Valenti, G.L. (2006). A porosimetric study of calcium sulfoaluminate cement pastes cured at early ages, *Cement and Concrete Research*, **36(6)**, 1042–1047.
- Bye, G.C. (1999). *Portland cement*, 2<sup>nd</sup> Ed. Thomas Telford, 206.
- Hargis, C.W., Kirchheim, A.P., Monterio, P.J.M., Gartner, E.M. (2013). Early age hydration of calcium sulfoaluminate in the presence of gypsum and varying amount of calcium hydroxide, *Cement and Concrete Research*, **48**, 105–115.
- Hargis, C.W., Telesca, A., Monteiro, P.J.M. (2014). Calcium sulfoaluminate hydration in the presence of gypsum, calcite, and vaterite, *Cement and Concrete Research*, **65**, 15–20.
- Hwang, J.N., Lee, S.T., Park, K.P., Ha, S.W. (2018). Performance of combined organic and inorganic hybrid mortars as repair materials for concrete road facilities, *International Journal of Highway Engineering*, **20(6)**, 109–116.
- Hyun, J.H., Noh, J.H., Kim, H.S., Kim, Y.Y. (2017). Durability characteristics of Latex modified concrete for bridge deck pavement produced with CSA-based admixture for traffic opening at the age of 24 hours, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **29(6)**, 625–631.
- Kim, M.G., Sung, J.G. (2008). Application of mobile mapping system for effective road facility maintenance and management, *Korean Journal of Remote Sensing*, **24(2)**, 153–164.
- Moura, M.A.N., Junior, A.L.M., Ferreira, G.C.S. (2023). Ultrasonic testing on evaluation of concrete residual compressive strength: A review, *Construction and Building Materials*, **373**, 130887.
- Nakagawa, K., Terashima, I., Asaga, K., Daimon, M. (1990). Influence of  $\text{Ca(OH)}_2$  and  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  on hydration reaction of amorphous calcium aluminate, *Cement and Concrete Research*, **20(5)**, 824–832.
- Vasquez, I.B., Trauchessec, R., Tobon, J.I., Lecomte, A. (2020). Influence of ye'elinite/anhydrate ratio on PC-CSA hybrid cements, *Materials Today Communications*, **22**, 100778.

### CSA 및 ACA계 결합재를 적용한 보수재료의 미세구조 및 역학적 성능

본 연구에서는 CSA 및 ACA계 결합재를 사용한 보수재료의 미세구조분석 및 역학적 성능 평가를 실시하였다. XRD 분석을 통하여 보수재의 수화생성물을 정성적으로 평가하였으며, SEM 분석을 통하여 미세조직구조를 시각적으로 확인하였다. 또, 4종류 결합재를 적용한 보수 모르타르의 응결시간을 측정하였으며, 소정의 재령에서 보수 모르타르의 강도 및 초음파속도를 각각 측정하였다. 실험결과에 따르면, ACA를 적용한 보수 모르타르의 강도 및 초음파속도가 가장 우수한 경향을 나타냄으로써 열화된 콘크리트 구조물의 무기계 보수재료로 사용 가능할 것으로 판단된다.