

PVA 섬유 보강 보수 모르타르의 내구성 평가

Evaluation on the Durability of PVA Fiber Reinforced Mortar for Repair

고경택* 류금성** 이장화*** 강수태** 윤필용*** 김진수****

Koh, Kyung Taek, Ryu, Gum Sung Lee, Jang Hwa Kang, Su Tae Yoon, Pil Yong, Kim, Jin Su

ABSTRACT

In this study, the repair method using PVA fiber reinforced mortar evaluated on durability performance. Test of salt injury, carbonation, freezing-thawing, chemical attack, permeability was performed. As for the test results, it was found that durability performance of the repair method using PVA fiber mortar showed more better than the existing repair method. Therefore, applying on the repair method using PVA fiber reinforced mortar, the repaired concrete structures can be increased to service life.

1. 서 론

최근 PVA 섬유 또는 강섬유 등을 다양으로 혼입한 다양한 고인성 섬유복합 모르타르가 개발되어 여러 분야에 적용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 고인성 섬유복합 모르타르는 1990년대 초반 미국 미시건 대학의 Victor Li 교수팀이 마이크로 역학(micromechanics)을 근거로 재료설계 개념을 도입하여 시멘트 복합체의 인장변형 성능을 획기적으로 개선한 ECC(Engineered Cementitious Composites)가 대표적이다. 이런 고인성 섬유복합 모르타르는 휨모멘트 또는 직접 인장 하에서 균열이 발생된 이후에도 강도의 저하 없이 변형률이 증가됨에 따라 응력이 증가되는 변형을 경화(strain hardening) 특성과 다수균열(multiple cracking) 특성을 보이며, 고성능 보수재료, 내충격성 재료, 강재의 피복재료 및 내진요소 등 다양한 용도로 활용될 수 있을 것이다.

고인성 섬유복합 모르타르는 고가인 PVA 섬유를 사용하기 때문에 경제성 저하되어 현장에서 대량으로 타설이 필요한 구조물 본체의 적용보다는 소량으로 대응할 수 있고 기존 제품에 대해서도 가격면에서 대항 가능한 단면복구재 등의 보수재료로 적용이 현 시점에서 유망한 것으로 판단된다. 저자 일부들은 PVA 섬유보강 고인성 모르타르를 사용한 습식 스프레이 공법을 개발하여 보수공법(이하 FCSM 공법)으로 활용하고자 시도하고 있다. 이러한 보수공법의 내구성에 대해 국내에서는 체계적으로 검토한 사례는 거의 없다. 따라서 본 연구에서는 FCSM 공법의 내구성을 평가하기 위해 염해, 탄산화, 동결융해, 화학저항성 및 수밀성 실험을 실시하였고, 비교를 위해 기존의 폴리머 보수 모르타르와 비교하였다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원

** 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원

*** 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 연구위원

**** 정회원, 원하중합건설(주) 과장

***** 정회원, 원하중합건설(주) 전무이사

2. 실험개요

표 1 대상 보수재료의 특징

2.1 사용재료

표 1은 본 연구에서 사용한 보수재료의 종류 및 그 특성을 나타내었다. 물-모르타르비(W/M)는 모든 보수재료에

종류	FCSM 공법	기존제품-R	기존제품-C
모르타르 기본 구성재료	무기계 재료	3원계 폴리머 수지	SBR계 폴리머
섬유	PVA 섬유	천연 셀룰로스 섬유	-
용도	보수, 보강	균열 및 박리보수, 충전용 모르타	방청 모르타 및 단면수복제

서 0.2로 통일하였다. FCSM 공법은 무기계 재료로 구성된 모르타르에 PVA 섬유를 1.2% 혼입하는 것을 특징으로 한다. FCSM 공법을 비교한 기존 보수제품에서 폴리머계로 구성된 모르타르에 천연 셀룰로스 섬유를 사용한 기존제품-R과 섬유를 사용하지 않은 기존제품-C를 대상으로 하였다.

2.2 시험방법

표 2는 내구성 시험 개요로서 시험은 수밀성능을 제외하고 KS규격에 따라 실시하였으며, 동결융해 시험이 종료된 다음에는 휨강도 변화를 검토하였다.

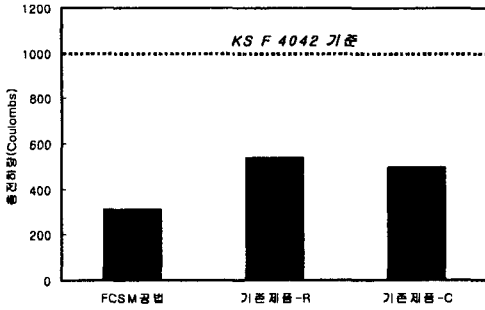
표 2 내구성 평가 시험개요

시험항목	시험규격	시험체	실험조건	평가항목	
염화이온 침투 저항 성능	KS F 2711	φ100×50mm	전압:60V 직류 시간:6시간	총전하량 확산계수	
탄산화 억제 성능	KS F 2584	φ100×100mm	온도: 20±2℃ 습도: 60±5% CO ₂ : 5±0.2%	탄산화깊이 탄산화속도	
동결융해 저항성능	KS F 2456	100×100×400mm	온도조건:+4.5~-18℃ 사이클:300	상대동탄성계수 질량변화 휨강도 변화	
화학저항성	내알칼리성능	KS F 4042	40×40×160mm	용액:포화Ca(OH) ₂ 온도:50±2℃ 침지기간:91일	압축강도
	황산염 침해 저항성	ASTM C 1012	50×50×50mm 40×40×160mm	용액:10%Na ₂ SO ₄ 침지기간:150일	길이변화 질량변화 압축강도
수밀성능	투수성	Torrent장치	200×200×100mm	시험체 5개면 에폭시 실링 직접가압	투수계수
	투기성	GWT-4000kit			투기계수

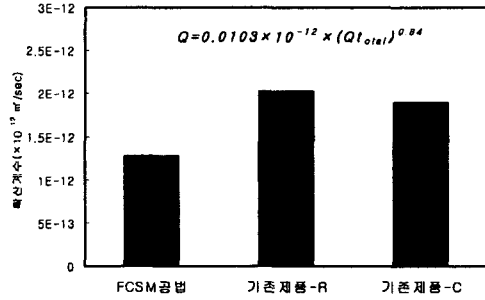
3. 시험결과 및 고찰

3.1 염화물 차단성능

그림 1은 보수재료 종류에 따른 염화물 차단성능 결과이다. 보수공법에 관계없이 KS F 2711의 평가기준에서 <매우 낮음>으로 평가되었으며, KS F 4042 기준인 총전하량 1,000 Coulombs 이하를 모두 만족하는 것으로 나타났으나, 대상 보수공법 중에서 FCSM 공법이 염화물 차단성능이 가장 우수한 것으로 분석되었다. Baker의 경험식을 이용하여 계산한 염소이온 확산계수의 결과에서도 FCSM 공법의 염소이온 차단 성능은 기존 제품에 비해 1.5배 정도 향상되는 것으로 나타났다.



(a) 충전하량

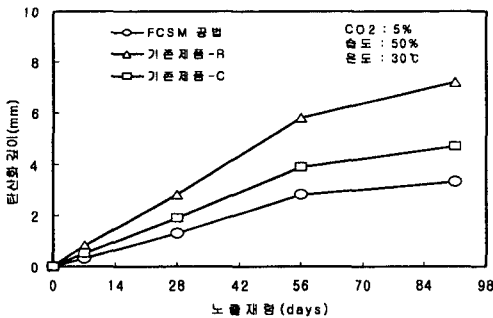


(b) 염소이온 확산계수

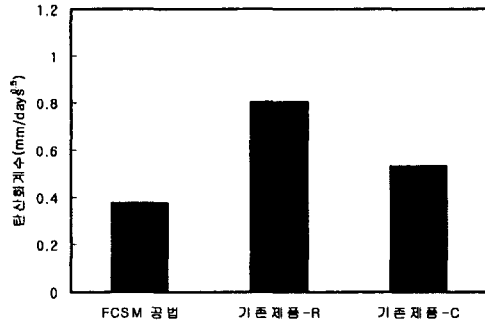
그림 1 염소이온 차단 성능 결과

3.2 탄산화 억제 성능

그림 2는 탄산화 억제 성능 결과이다. 시험재령 91일까지 측정된 결과에 의하면 FCSM 공법은 3.3mm, 기존제품-C는 4.7mm, 기존제품-R은 7.2mm의 탄산화가 진행된 것으로 나타났다. 이처럼 FCSM 공법이 기존 보수제품에 비해 탄산화 억제 성능이 우수한 것은 매트릭스 자체의 치밀화 및 PVA 섬유 혼입에 의한 매트릭스 네트워크 형성에 의해 이산화탄소 가스가 보수재료 내부로 침입하기 어려웠기 때문으로 사료된다. 그리고 축진 탄산화 시험결과를 토대로 탄산화 계수의 결과에 의하면, FCSM 공법은 기존 보수제품에 비해 1.4배~2.1배 정도 탄산화에 대한 억제 성능이 우수한 것으로 나타났다.



(a) 탄산화 깊이

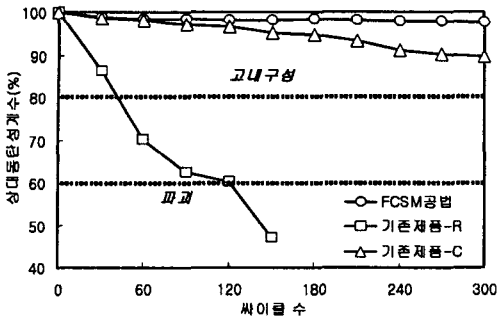


(b) 탄산화 속도결과

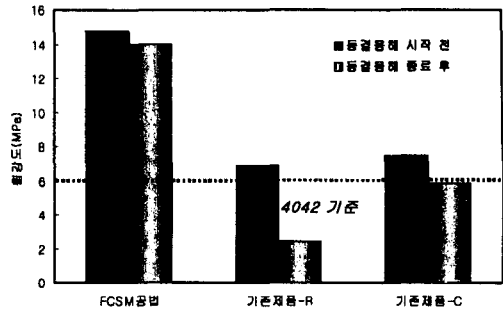
그림 2 탄산화 억제 성능 결과

3.3 동결융해 저항성능

그림 3은 보수재료 종류에 따른 동결융해 저항성 시험결과이다. 기존제품-R은 동결융해 사이클 초기부터 동결융해 저항성이 저하되어 동결융해 120사이클에서 동결융해 작용에 의해 파괴되는 시점인 상대동탄성계수가 60% 정도로 저하되는 것으로 나타났으나, FCSM 공법은 상대동탄성계수가 98% 정도로 동결융해에 대한 저항성이 상당히 우수한 것으로 나타났다. 동결융해 시험을 실시하기 전에는 보수제품의 종류에 관계없이 KS F 4042의 기준인 6MPa 이상을 만족하였으나, 기존 보수제품은 동결융해 시험을 종료 후 모두 6MPa 이하로 관련 기준을 만족 못하는 것으로 나타났다. 이에 반해 FCSM 공법은 동결융해 시험 전후에 상관없이 휨강도 변화는 거의 없고, KS 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 이처럼 기존 보수제품은 동결융해 작용에 의해 열화가 발생하여 휨강도가 KS 기준값 이하로 저하되어 보수층의 균열 등의 발생할 소지가 있으나, FCSM 공법은 동결융해 작용을 받더라도 거의 문제가 없는 것으로 분석되었다.



(a) 상대동탄성계수



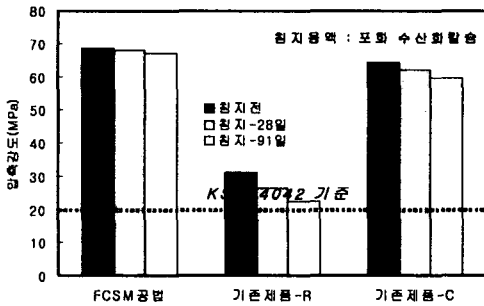
(b) 휨강도 변화

그림 3 동결융해 저항성 결과

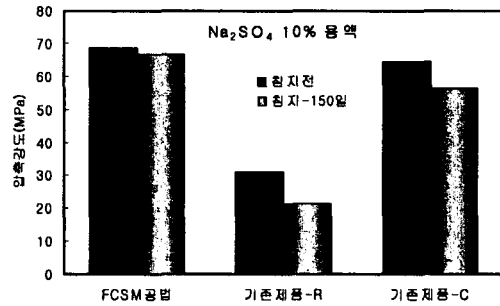
3.4 화학저항성능

그림 4는 화학저항성능 결과이다. 실험대상 보수제품은 포화 수산화칼슘 용액에 침지된 재령에 관계없이 KS F 4042 기준인 20MPa 이상을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 기존 보수제품들은 수산화칼슘에 침지하는 재령이 증가할수록 강도의 저하가 커지는 경향이 있으며, 특히 보수 제품-R의 경우에는 침지 재령 91일에 27% 정도의 강도 저하가 있는 것으로 보인다. 이에 반해 FCSM 공법은 수산화칼슘에 91일간 침지시키더라도 강도저하가 거의 없는 것으로 나타났다.

황산나트륨 10% 수용액에 150일 침지시킨 기존 보수제품에서는 황산염 침해에 의해 강도 저하가 발생하나, FCSM 공법은 거의 강도 저하가 없는 것으로 나타났다. 이처럼 FCSM 공법의 황산염 침해에 대한 저항성이 향상되는 것은 신청기술의 경화체 자체가 치밀하여 황산염 침투가 어려워지고, 또한 PVA 섬유에 의해 에트링가이트 생성으로 발생하는 팽창과괴에 의한 조직의 이완을 방지하기 때문으로 분석된다.



(a) 내알칼리 성능



(b) 황산염 침해에 대한 성능

그림 4 화학저항 성능 결과

4. 결론

본 연구에서는 FCMS 공법과 기존의 폴리머 보수공법에 대해 내구성을 비교한 결과, FCMS 공법은 기존의 보수공법에 비해 염해, 탄산화, 동결융해 저항성, 화학저항성 및 수밀성 등 내구성이 우수한 것으로 나타났다. 따라서 PVA 섬유 보강 보수 모르타르를 보수공법으로 사용할 경우에는 구조물의 성능 향상 및 내구성 증진에 기여할 것으로 판단된다.