

# ECC (Engineered Cementitious Composite)의 연성이 전단벽의 사인장 거동에 미치는 영향

## Influence of ECC ductility on the diagonal tension behavior (shear capacity) of shear-wall panel

하 기 주<sup>\*</sup> 신 종 학<sup>\*\*</sup> 김 윤 용<sup>\*\*\*</sup> 김 정 수<sup>\*\*\*\*</sup> 김 진 근<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
Ha, Gee-Joo Shin, Jong-Hack Kim, Yun Yong Kim, Jeong-Su Kim, Jin-Keun

---

### ABSTRACT

This paper presents a preliminary study on the influence of material ductility on diagonal tension behavior of shear-wall panels. There have been a number of previous studies, which suggest that the use of high ductile material such as ECC (Engineered Cementitious Composite) significantly enhanced shear capacity of structural elements even without shear reinforcements involved. The present study emphasizes increased shear capacity of shear-wall panels by employing a unique strain-hardening ECC reinforced with poly(vinyl alcohol) (PVA) short random fibers. Normal concrete was adopted as the reference material. Experimental investigation was performed to assess the failure mode of shear-wall panels subjected to knife-edge loading. The results from experiments show that ECC panels exhibit a more ductile failure mode and higher shear capacity when compared to ordinary concrete panels. The superior ductility of ECC was clearly reflected by micro-crack development, suppressing the localized drastic fracture typically observed in concrete specimen. This enhanced structural performance indicates that the application of ECC for a in-filled frame panel can be effective in enhancing seismic resistance of an existing frame in service.

---

### 1. 서 론

ECC는 1990년대 초반에 처음 소개된 이래 단기간 동안 괄목할만한 발전을 이루어 왔다. ECC의 대표적인 재료적 특성은 기존의 시멘트 복합재료에서 나타나지 않던 1축인장 변형률 경화(수 %의 연신율)로 표현되는 탁월한 연성이다. 현재 ECC 재료의 역학적 특성(인장, 압축, 전단, 피로, 크리프 등)에

---

\* 정회원, 경일대학교 건축학부 교수

\*\* 정회원, 경일대학교 건축학부 교수

\*\*\* 정회원, 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 연구교수

\*\*\*\* 정회원, 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 박사과정

\*\*\*\*\* 정회원, 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 교수

대한 자료 축적이 지속적으로 이루어지고 있으며 일반타설, 압출성형, 슛크리트 타설 등의 다양한 시공 공정의 가능성도 다수 보고되고 있다. 이와 같은 다양한 응용을 통하여 ECC의 적용범위는 더욱 확대될 것으로 기대하고 있다. 또한 ECC의 구조물 적용을 위하여 다양한 수준의 부재 실험이 수행되어 왔으며, 이를 통하여 ECC의 탁월한 연성이 부재 또는 구조물의 성능을 크게 개선할 수 있음이 증명되고 있다[2-4].

이 논문에서는 전단벽과 같은 거동을 보이는 프레임 면내 보강판에 대한 사인장실험을 수행하여 ECC 벽체의 전단 성능을 평가하고자 하며, ECC와 함께 FRC, 콘크리트로 제작된 보강판의 전단 성능을 비교하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 실험개요

실험에 사용된 보강용 섬유는 K사에서 생산한 PVA섬유(직경  $39\mu\text{m}$ , 길이 8mm, 인장강도 1620MPa, 탄성계수 38.9GPa)이다. 제1종 보통포틀랜드 시멘트와 고로슬래그미분말(BFS)이 결합재로 사용되었고, 잔골재로는 평균입도  $110\mu\text{m}$ 의 실리카 골재를 사용하였다. 섬유의 효과적인 분산을 위하여 셀룰로즈계 분리저감제(HPMC)와 카르복실계 고성능감수제(PCSP)를 혼화제로 첨가하였다. 모든 재료는 제조사에서 제공하는 그대로 사용하였으며, 사용된 배합은 표 1과 같다. 표 1에서 ECC, 일반 섬유보강재(FRC), 콘크리트의 배합은 동일한 28일 압축강도( $\sim 25\text{MPa}$ )를 목표로 설계되었다. 또한 FRC와 ECC의 배합은 서로 유사하지만, 마이크로역학에 따른 안정상태 균열조건을 만족하는 섬유보강재료가 ECC이고 그렇지 못한 것을 FRC이로 명명하였다. ECC의 재료 설계 과정과 1축인장 거동 특성은 기존의 논문을 통하여 논한 바 있다[5].

표 1 콘크리트, FRC, ECC의 배합설계와 28일 압축강도

Material	C	W	S	BFS	PCSP	HPMC	$V_f$ (%)	$f'_c$ (MPa)
Concrete	1.0	0.69	2.5*	0	0	0	0	24
FRC	1.0	0.60	0.8	0.25	0.02	0.001	1	25
ECC	1.0	0.60	0.8	0.25	0.02	0.001	2	25

여기서 C는 시멘트, W는 물, S는 실리카 골재, BFS는 고로슬래그 미분말, PCSP는 고성능 감수제, HPMC는 분리저감제,  $V_f$ 는 섬유의 부피비,  $f'_c$ 는 28일 압축강도이다. 표에서 나타난 섬유(부피비)를 제외한 모든 비율은 중량비이다. \*콘크리트 배합에서 S는 잔골재와 굵은골재의 합이다.

### 2.2 사인장 실험

사인장 실험체와 Loading shoe의 형상은 그림 1과 같다. ASTM E 519[6]에서 규정과 유사한 형상인  $600\text{mm} \times 600\text{mm} \times 100\text{mm}$ 의 정사각형 패널을 실험체로 선정하였으며 각 변수마다 2개의 실험체를 제작하였다. 사인장 실험은 재령 28일에 수행되었고, 실험에 사용된 기기는 1000kN 용량의 로드셀이 부착된 만능재료시험기에서 0.6mm/min의 변위제어로 수행되었다. 그림 2에서 나타낸 바와 같이 2개의 LVDT가 대각선의 수직, 수평방향에 부착되어 변위를 측정하였다. 사인장 실험을 할 때에는 하중이 전달되는 면에 석고로 캡핑(capping)을 하여 하중이 접촉면에서 균일하게 가해지도록 하였다.

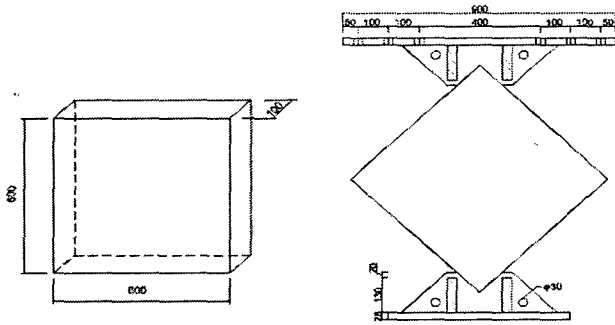


그림 1 사인장 실험체와 Loading shoe의 형상

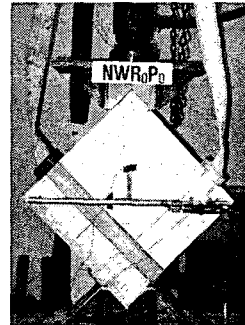


그림 2 실험장치와 변위측정 위치

### 3. 실험결과 및 분석

ECC, FRC, 콘크리트 전단벽의 사인장 성능을 비교해본 결과 파괴모드, 변형능력(연성), 내력에서 ECC 전단벽이 콘크리트 전단벽보다 현저하게 우수한 성능을 나타내었다. 콘크리트 전단벽은 최고하중 근처에 도달하면 Loading shoe 주위에서 집중되는 거시균열(macro cracks)이 형성되면서 급속히 균열이 전파되어 최고하중에 도달하였다. 그림 3에서 알 수 있듯이 콘크리트 전단벽은 최고하중 이후에 콘크리트가 급격히 파괴되면서 하중이 감소하였다. 실험이 끝난 후에 몇 부분으로 쪼개졌으며, 파괴는 Loading shoe 주위의 응력집중구간에서 시작되어 하중 흐름 방향의 인장변형 집중구간으로 진전되었다. 실험체에는 하중 흐름을 따라 큰 압축응력이 발생하고 이로 인하여 직교방향으로 인장 변형이 나타나는데, 이 변형이 거시균열로 집중된 후 진전하여 콘크리트 보강판은 갑작스런 취성 파괴를 나타낸 것이다.

반대로, ECC 전단벽은 ECC 고유의 특성인 인장 변형률 경화거동과 높은 인성/연성으로 인하여 균열이 집중되지 않고 미세균열로 분산되는 연성적인 파괴모드를 보였다. 이러한 연성 파괴는 그림 5(하중-변위 곡선)의 뚜렷한 비선형 구간으로 나타났다. 이러한 결과를 통하여 재료의 연성이 증진되면

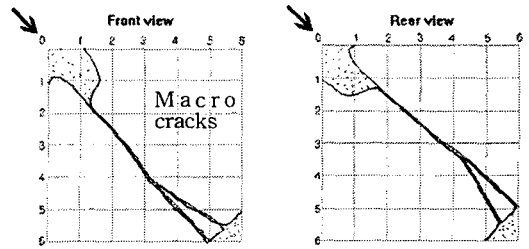
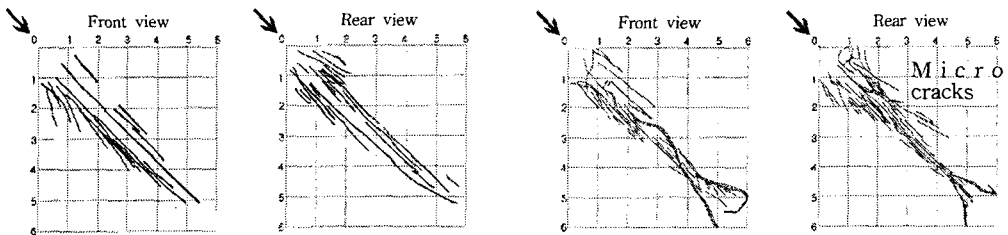


그림 3 콘크리트 전단벽 실험체의 파괴양상



(a) FRC

(b) ECC

그림 4 FRC 또는 ECC 전단벽 실험체의 파괴양상

부재(벽체)의 거동이 연성적으로 변화하고, 하중전달능력(구조강도, 내력)이 크게 개선됨을 알 수 있다. ECC 전단벽에서는 직접인장 실험에서 관찰된 바와 유사하게 다수의 미세 균열(micro cracks, 균열폭  $\sim 60 \pm 20 \mu\text{m}$ )이 측정되었다. 또한, Loading shoe주위(응력집중 구간)와 인장변형 집중구간에서 형성된 미세 균열로 인하여 ECC 전단벽은 큰 변형능력과 우수한 하중전달능력을 나타내었다. ECC 전단벽은 콘크리트 전단벽에 비하여 5배의 변형능력과 약 1.5배 내력을 나타내었다.

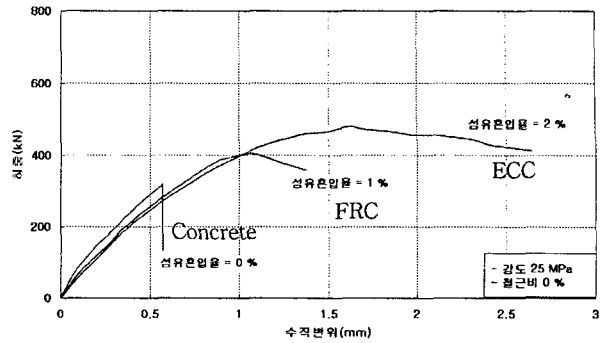


그림 5 사인장하에서의 하중-변위곡선

#### 4. 결론

이 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) ECC 전단벽은 콘크리트 전단벽에 비하여 5배의 변형능력과 1.5배의 내력을 나타내었다.
- 2) ECC 재료의 높은 연성으로 인하여 응력과 변형률 집중 구간에서 효과적으로 균열을 분산하면서 부재의 취성적인 파괴모드를 연성 파괴모드로 전환시켰다.

#### 감사의 글

이 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설기술연구개발사업(과제번호: 03산학연A06-04)에 의한 것임을 밝히며, 지원에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. Kanda, T., Saito, T., Sakata, N. and Hiraishi, M., "Fundamental properties of directed sprayed retrofit material utilizing fiber reinforced pseudo strain hardening cementitious composites.", Proceedings of the Japan Concrete Institute, Vol.223, No.1, 2001., pp.475~480.
2. Fischer, G. and Li, V. C., "Deformation behavior of fiber-reinforced polymer reinforced engineered cementitious composite (ECC) flexural members under reversed cyclic loading conditions.", ACI Structures Journal., Vol.100, No.1, 2003, pp.25~35.
3. Kim, Y.Y., Fischer, G., and Li, V.C., "Performance of Bridge Deck Link Slabs Designed with Ductile Engineered Cementitious Composite (ECC)", ACI Structural Journal, Vol.101, No.6, 2004, pp.792-801.
4. Quin, S., Kim, Y.Y., and Li, V.C., "Influence of Concrete Material Ductility on the Behavior of Stud Shear connection", in Fracture Mechanics of Concrete Structures Proceedings FRAMCOS-5, April, 2004, pp. 1045-1050.
5. 김윤용, 김정수, 김희신, 김진근, 하기주, "마이크로 역학에 의하여 설계된 고인성 섬유복합 모르타르의 역학적 특성", 한국콘크리트학회, 2004년도 가을학술발표회 논문집, 2004.11.6, pp.825-828.
6. ASTM, "Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages", ASTM E-519, 1993, pp.911~913.