

# 시험체 형상이 고인성시멘트복합체 인장거동에 미치는 영향

## Influence of Specimen Shapes on Tensile Behaviors of High Performance Fiber Reinforced Cement Composites

양 일 승\*                      윤 현 도\*\*                      한 병 찬\*  
 Yang, Il-Seung              Yun, Hyun-Do              Han, Byung-Chan  
 신 홍 철\*\*\*                      박 완 신\*\*\*\*                      김 선 우\*\*\*\*  
 Shin, Hong-Chul              Park, Wan-Shin              Kim, Sun-Woo

### ABSTRACT

Social requirements to the civil and building structures have been changed in accordance with the social and economic progress. It is very important to develop the innovative structural materials and technology that the social requirements appropriately. Ductility of High Performance Fiber Reinforced cementitious Composites(HPFRCC), which exhibit strain hardening and multiple crackling characteristics under the uniaxial tensile stress are drastically improved. Because ductility in tensile test are very different according to specimen shapes, three types of the direct tensile test are performed. The tensile test are performed using the tensile test specimen, dumbbell-shaped specimen, and cylinder specimen. As a result, tensile performance in HPFRCC is very good comparing to cylinder specimen because of direction characteristics of fibers. It is necessary to clarify the examination method of suiting to the usage.

### 1. 서 론

최근 주목받고 있는 고인성시멘트복합체(이하, HPFRCC)는 시멘트 복합체에 단섬유를 1~2%정도 혼합해서 복합체에 발생하는 균열을 섬유로 적절하게 보강하여 균열이 국부적으로 집중되지 않도록 하며 미소균열을 폭넓게 확산(Multiple crack)시킴으로서 복합체에 변형경화특성(Strain hardening)을 갖도록 하는 고성능, 고인성재료이다. (그림 1)<sup>1)-3)</sup>. 이런 특성은 콘크리트가 인장하중에 대해 취성적으로 파괴되는 것을 막을 수 있으며, 반복하중 하에서도 강성이나 내력의 저하를 지연시킬 수 있는 획기적인 재료라 할 수 있다. HPFRCC의 인장성능을 평가하기 위한 여러 가지 시험 방법들이 국내·외적으로 제안되고 있으며, 다수의 연구보고가 있지만, 표준화된 시험방법은 아직 없다<sup>4)</sup>. 또한, 동일한 배

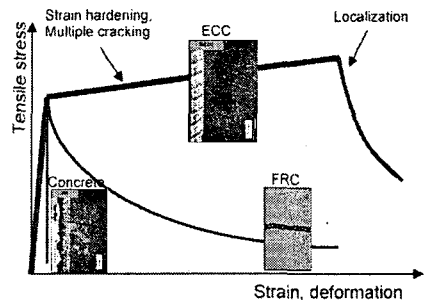


그림 1 HPFRCC의 역학적 특성

\* 정회원, (주)AMS엔지니어링, 공학박사

\*\* 정회원, 충남대 건축공학과 교수, 공학박사

\*\*\* 정회원, 대우건설기술연구소, 공학박사

\*\*\*\* 정회원, 충남대 건축공학과 대학원 박사과정

본 연구는 건설교통부 2003년 건설핵심기술연구개발사업 연구비지원(03산학연 A10-01)에 의한 연구의 일부임

합조건 하에서도 시험체의 형상이나 사용 목적에 따라 HPFRCC에 혼입되는 단섬유(Short fiber)가 방향성을 갖게 되며, 그에 따라 인장변형 성능이 전혀 다르다. 본 논문에서는 동일한 배합조건 하에서 기존에 사용되어지고 있는 직접인장시험 방법들에 대한 직접인장실험을 행하여 그 성능을 비교하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구에서 대상으로 하는 직접 인장시험체의 형상을 그림 2와 같다. 그림 2(a)는 인장시험형으로 금속재료의 인장시험편과 유사하며 시험체의 두께는 13mm이다. 그림 2(b)는 단벨형 시험체로 시험구간의 단면은 40x40mm이다. 마지막으로 그림 2(c)는 공시체형(직경 100mm, 길이 200mm)로서 기존 압축공시체를 사용할 수 있으며, 기존의 직접인장 시험체가 접착제를 사용하여 시험체를 고정하는 경우가 많지만, 본 시험방법은 FRP 시트를 단부에 접착시켜 구속시키기 때문에 시험체가 경량으로 다루기 쉽다. 실험에서의 주요변수는 표 1에 나타낸 바와 같이 시험체의 형상과 HPFRCCs의 종류이다. HPFRCCs 제조를 위한 섬유는 강섬유 및 합성섬유를 사용하였다. 합성섬유로는 고장력 폴리에틸렌(Polyethylene, 이하 PE) 섬유를 체적비당 1.5%로 혼입하여 사용하였으며, 하이브리드 HPFRCC는 고장력 폴리에틸렌(Polyethylene, 이하 PE)섬유와 강섬유(Steel Cords, 이하 SC)를 각 체적비당 0.75%로 혼입하였다.

### 2.2 사용재료 및 배합

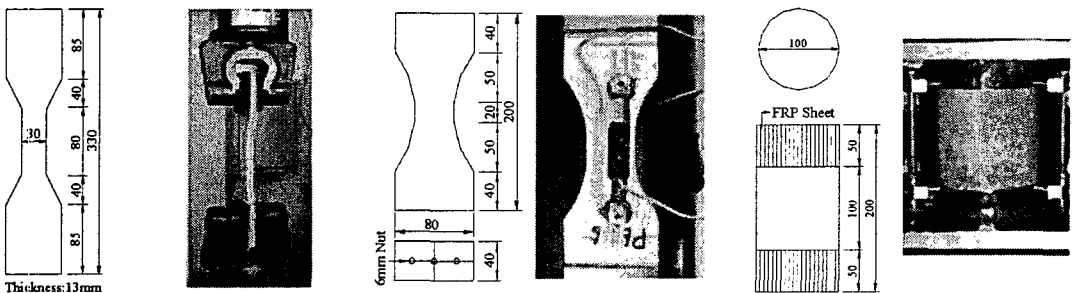
HPFRCC의 일반적인 거동특성인 변형경화 특성 및 다수 균열 분산 특성을 구현하기 위하여, 본 연구에서는 물시멘트비(W/C)가 45%, 골재시멘트비(S/C)가 40%인 시멘트 복합체에 표 2에 나타나 있는 합성섬유 및 강섬유를 혼입하였다. 단, 섬유의 혼입량은 요구되어지는 HPFRCC의 성능에 따라 다르지만, 비빔성능을 저해하지 않은 범위에서 최대한 섬유를 투입하였다. 시멘트는 T사의 조강 포틀랜드 시멘트(비중 3.14)를 사용하였고, 세골재는 S사에서 생산된 접착제용 규사 7호(비중 2.61, 직경 105-120 $\mu$ m)를 사용하였다. 압축시험 결과, PE-HPFRCC의 압축강도는 50.53MPa이고 탄성계수는 18.3GPa이었다. 또한, PESC-HPFRCC의 압축강도와 탄성계수는 50.81MPa, 20.3GPa정도이다.

표 1 주요한 변수

시험체명	고인성시멘트 복합체	시험체형상
PE-T	PE-HPFRCC	인장시험편형
PE-D		단벨형
PE-C		공시체형
PESC-T	PESC-HPFRCC	인장시험편형
PESC-D		단벨형
PESC-C		공시체형

표 2 사용된 섬유특성

섬유종류	직경 ( $\mu$ m)	길이 (mm)	비중	인장강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)
PE	12	15	0.97	2500	75
SC	405	32	7.85	2300	206



(a) 인장시험형

(b) 단벨형

(c) 공시체형

그림 2 인장시험체 형상

### 2.3 직접인장 시험체의 설치

단벨형(Dumbbelled-shape) 시험체는 그림 3(a)에 나타난 바와 같이 변속기를 통해서 얻어지는 작은 회전을 직선의 움직임으로 변환시켜 인장력을 가한다. 또한, 시험체의 단부에 로드셀(Load cell)을 설치하여 하중을 측정하였다. 공시체형 시험체는 그림 3(b)에 나타난 것과 같으며 일본 건축연구소의 후쿠야마 등이 제안한 장치<sup>4)</sup>를 사용하여 실시하였으며, 가력은 2,000kN용량의 만능시험기를 이용하였다.

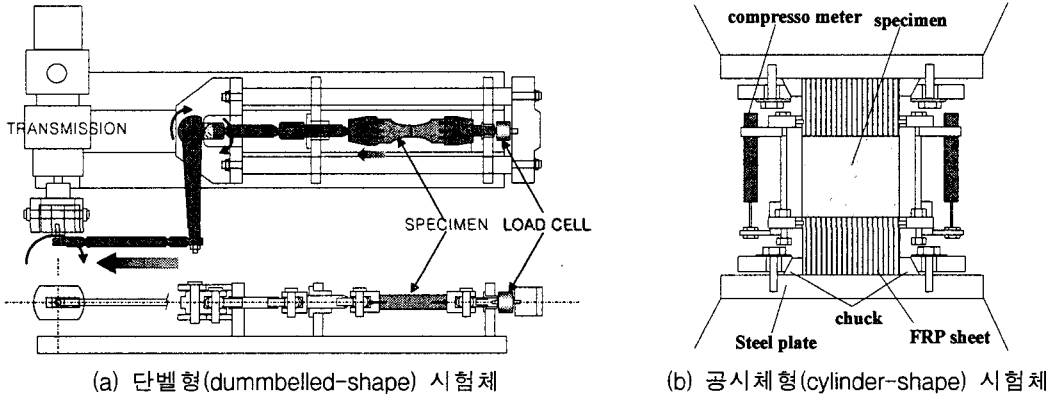


그림 3 인장시험체 설치상황

### 3. 실험결과 및 분석

직접인장 하에서 시험체의 형상에 따른 PE-HPFRCCs의 응력과 변형률의 관계는 그림 4에 나타내었다. 모든 시험체에서 다수균열 현상과 변형경화(Pseudo Strain Hardening)현상이 나타났다. 그러나, 동일한 배합조건임에도 불구하고 시험체의 형상에 따라 변형성능은 큰 차이가 났다. 인장시험형 시험체의 변형률은 1.8%정도, 단벨형시험체는 1.4%, 그리고 공시체형 시험체는 0.8%정도였다. 그러나, 항복응력과 최대내력에 있어서는 동일한 형상의 시험체에서도 차이가 있으며, 시험체 형상에 따른 경향성은 없었다. PESC-HPFRCC의 시험체 형상에 따른 직접인장 시험결과는 그림 5에 나타내고 있으며, 전반적인 거동은 PE-HPFRCC의 응력-변형률 관계와 유사하였다. 그리고, 인장실험 후의 콘크리트 인장균열 상황을 사진 1에 나타내었다. 그리고 변형률에 있어서는 인장시험형 시험체는 2.0%정도, 단벨형시험체는 1.6%, 그리고 공시체형 시험체는 1.2%정도였다. PE-HPFRCC시험체와 마찬가지로 항복내력과 최대내력에 있어서는 특별한 경향은 나타나지 않았다. 동일한 배합과 동일한 시험조건에서도 오차가 있기 때문에 재료의 비빔성능이나 시험체 제작상의 품질의 안정화가 이루어져야 할 것으로 판단되며, 특수한 형틀이나 시험장치가 없더라도 간단하게 할 수 있는 시험방법을 모색할 필요가 있다.

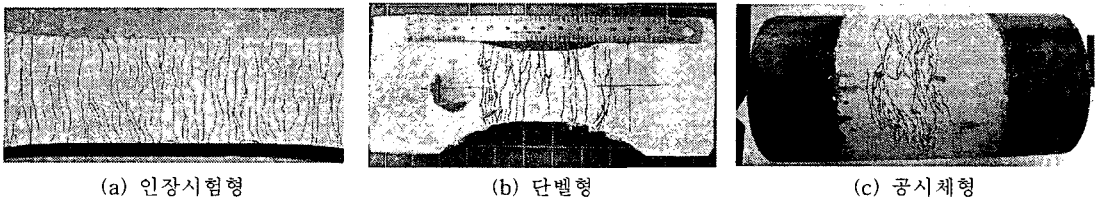
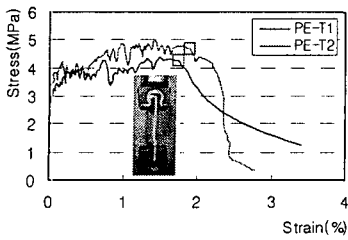
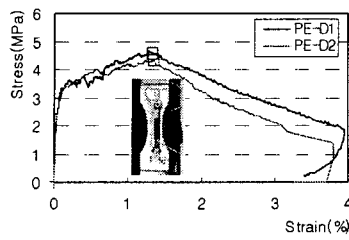


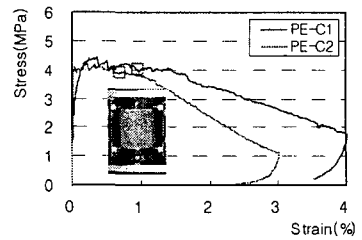
그림 4 PESC-HPFRCC의 균열상황



(a) 인장시험형

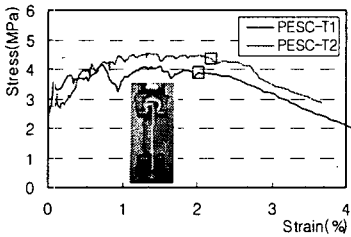


(b) 단별형

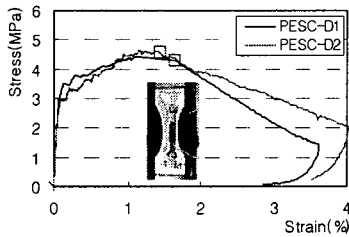


(c) 공시체형

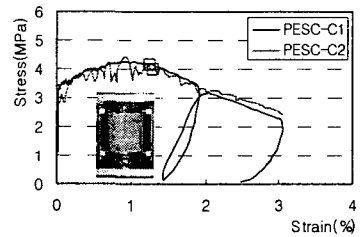
그림 4 PE-HPFRCC의 직접인장시험



(a) 인장시험형



(b) 단별형



(c) 공시체형

그림 4 PESC-HPFRCC의 직접인장시험

#### 4. 결 론

시험체 형상에 따른 고인성시멘트복합체의 인장성능을 평가하기 위하여 인장시험형, 단별형, 그리고 공시체형 시험체를 제작하여 직접인장실험을 행하였으며 다음과 같은 실험결과를 얻었다.

- (1) 인장변형능력은 동일한 배합조건임에도 불구하고 인장시험형 > 단별형 > 공시체형 순으로 높게 나타났다.
- (2) 인장변형성능에 대한 평가방법은 사용목적에 맞추어 시험체 형상을 고려할 필요가 있다. 즉, 인장시험형 실험은 스프레이나 압출성형을 통한 제품의 평가에 적합할 것으로 판단되며, 구조부재의 경우는 공시체형 시험체가 가장 적합할 것으로 판단된다.
- (3) 고인성시멘트복합체의 직접인장성능을 평가하기 위해서는 특수한 형태의 형틀이나 가력장치가 필요하기 때문에 실험이 용이하지 않다. 따라서, 간단하게 할 수 있는 시험방안을 모색하거나, 휨시험이나 할렬시험 등과 같이 간접적으로 평가할 수 있는 방안을 모색할 필요가 있다.

#### 참고문헌

1. Lim, Y. M. and Li, V. C./ Durable Repair of Aged Infrastructures Using Trapping Mechanism of Engineered Cementitious Composite, J. of Cement and Concrete Composites, vol.19, No.4, 1997, pp.375~385.
2. Li, V. C., "Reflections on the Research and Development of Engineered Cementitious Composites (ECC), Proceedings of the JCI International Workshop on Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composites (DFRCC)-Application and Evaluation, JCI 2002.10.
3. 訪取田晴彦, 福山洋, 梁一承(2002), セメント系部材の履歴特性コントロールに関する基礎的研究, コンクリート工學年次論文報告集, Vol. 20
4. 佐藤幸博, 福山洋, 訪取田晴彦(2001), 高靱性型セメント系複合材料の一軸壓縮繰り返し試験方法の提案, 日本建築學會構造系論文集, No.539