

# 고인성 시멘트복합체의 인장성능평가에 관한 연구

## A Study on the Estimation of Tensile Properties of High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites

한병찬\* 김재환\* 임승찬\*\* 전용재\*\*\* 정연석\*\*\*\* 권영진\*\*\*\*\*

Byung-chan Han Jae-Hwan Kim Seung-Chan Lim Yong-Jae Joen Yun-Suk Chung Young-Jin Kwon

### ABSTRACT

In this study, it was proposed a direct tensile testing machine(DTTM) to be simple and to be applied to High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites(HPFRCCs), and it was examined the tensile properties of HPFRCCs by this machine.

As a results, it was confirmed that a direct tensile test of HPFRCCs could be certainly carried out DTTM to be developed in this study. Also, tensile strength and yield strength of HPFRCCs were similar regardless of specimens thickness. And, all specimens revealed the stable strain-hardening behavior and multiple cracking in flexible and tensile loads. But, deviation of strain at ultimate tensile strength increased with the increase of specimen thickness.

### 1. 서론

고인성 시멘트복합재료(이하, HPFRCC ; High performance fiber reinforced cementitious composite)는 인장력을 받아도 취성적으로 파괴되지 않고, 변형(또는 변위)의 증대와 함께 인장하중(또는 인장응력)이 증가하는 변형경화거동(Strain-hardening behavior)과 복수의 미세한 균열이 분산 발생하는 멀티플크랙(Multiple cracking)특성을 나타내는 특징이 있다. 이와 같은 기존의 모르타르나 콘크리트와 다른 특성을 이용목적이나 사용조건에 대응하여 유효하게 활용하기 위해서는 인장중국변형(인장피크 변형), 인장응력-변형곡선, 균열성장(폭, 개수, 간격) 및 이들 인장성능에 대한 치수효과 등을 명확히 함과 동시에 인장성능의 평가시험방법을 확립하는 것이 중요하다.

따라서, 본 연구에서는 변형경화거동을 나타내는 HPFRCC를 대상으로 단벨형상의 공시체를 이용한 간단한 인장시험방법을 제안하고, 또한 제안된 시험방법에 의해 HPFRCC의 1축 직접인장시험을 실시하여 HPFRCC의 인장성능이나 시험체 두께의 영향에 대하여 실험실증적으로 검토하였다.

### 2. 1축 직접인장시험과 시험장치의 제안

#### 2.1 인장시험에 요구되는 성능과 문제점

HPFRCC의 인장성능 평가에는 균열(폭, 개수, 간격), 인장강도, 인장항복강도, 인장중국변형이 매우 중요하다. 인장시험에 있어서 이들 항목을 안정적으로 계측하기 위해서는 이하의 3가지 문제에 대한 대책이 필요하다. 우선, ① 접합(고정)부분의 파괴를 일으키지 않고 시험기로부터 공시체에 인장력을 전달할 것, ② 공시체의 (<)자형 변형을 억제할 것, ③ 초기균열 발생후 변형경화 부분의 거동을 안정적으로 제어하는 것이 중요하다.

\* 정회원, (주) AMS엔지니어링, 기술이사 · 공학박사

\*\* 정회원, 일본 (주) DEROS 기술연구소, 책임연구원 · 공학박사

\*\*\* 정회원, (주) 발해건설, 대표이사

\*\*\*\* 정회원, 한국원자력안전기술원, 책임연구원 · 공학박사

\*\*\*\*\* 정회원, 호서대학교 안전공학부 소방방재학과, 교수 · 공학박사

이에 본 연구에서는 상기의 문제점을 해결함과 동시에 공시체에 생기는 복수 균열을 용이하게 관찰하는 것을 목적으로 하여, 조작성이나 안전성을 배려한 간단한 인장재하시험장치를 개발하였다.

### 2.2 인장시험장치와 조작순서

개발된 인장시험장치를 그림 1 및 사진 1에 나타낸다. 강제 프레임 상하의 접합구에 의해 단밸형상의 공시체 안쪽 모서리를 고정하여 인장력을 전달시키는 구조로 설계하였다. 또한, 공시체의 정착/탈착을 용이하게 하기 위해 상하의 접합구와 함께 한 쪽 접합구를 밀판에 고정시켰고, 다른 쪽의 접합구는 좌우로 슬라이드(약 5mm)할 수 있는 구조로 하였다.

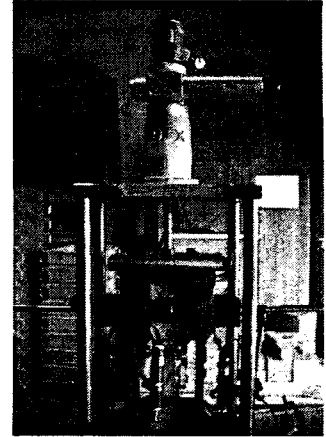
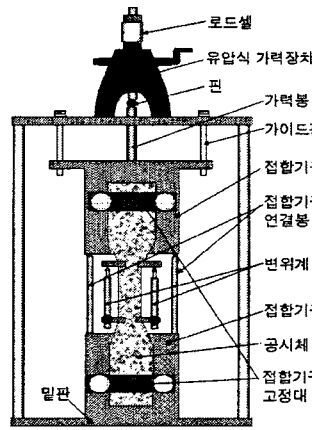


그림 1. 인장시험장치의 모식도 사진 1. 인장시험장치의 외관

더욱이, 부착시험장치의 가력부분을 강제 프레임 위에 설치하고, 가력봉을 연결하여 공시체에 인장력을 부여하였다. 인장시험의 경계조건으로서는 하측 접합구는 강제 프레임의 밀판에 고정시킨 “고정 지지”로 하고, 상측 접합구는 가력봉에 힌지를 설치하여 “핀지지”로 하였다. 또한, 인장시험에 있어서 하중-변위관계는 공시체에 직접 부착된 변위계와 프레임에 설치된 로드셀에 의해 측정하였다.

### 3. 인장성능과 치수효과 검증에 관한 실험

#### 3.1 실험개요

##### (1) 사용재료 및 공시체 형상

HPFRCC의 배합 및 물성을 표 1에 나타낸다. HPFRCC의 매트릭스로는 프리믹스된 폴리머시멘트모르타르에 굵은골재( $G_{max}=10\text{mm}$ , 단위량  $323\text{kg/m}^3$ )를 혼입한 것을 이용하였다. 섬유(혼입율 2.0vol.%)로는 길이 12mm, 직경  $40\mu\text{m}$ 의 PVA(Polyvinyl Alcohol) 섬유를 사용하였다. 단위수량은  $257\text{kg/m}^3$ 로 하였으며, 슬럼프플로우는 420mm, 공기량은 6.8%이었다. 한편, HPFRCC를 비빈 후 나무망치로 진동을 부여하여 공시체를 제작하였으며, 2일후 탈형하여 시험재령까지  $20\pm 3^\circ\text{C}$ 에서 기증양생하였다.

또한, 그림 2은 인장시험용 단밸형상 공시체의 형상과 치수를 나타낸 것이며, 공시체 치수는 평면치수를 일정하게 하고, 두께를 13, 30, 50mm의 3종류로 변화시켜 각각 공시체를 5개씩 제작하였다.

##### (2) 인장재하시험 및 균열관찰의 개요

인장재하시험시 변위계측길이는 중앙의 80mm로 하고, 공시체의 양측면에 설치된 고감도 변위계(1/1,000mm)에 의해 계측하였으며, 재하속도는 0.5mm/min로 설정하였다. 또한, 균열폭의 관찰은 마이크로스코프(VH-5000)를 이용하였으며, 인장변형을 0.25%, 0.63%, 0.95%, 1.25%, 1.88%, 2.5%, 3.13%,

표 1. HPFRCC의 배합 및 물성

실험요인 및 수준		단 위 량 ( $\text{kg/m}^3$ )					Slump Flow (mm)	공기량 (%)	압축 강도 (MPa)	탄성 계수 (GPa)
샘플명	시험체두께 (mm)	분체재료 <sup>1)</sup>	굵은골재	폴리머	물	PVA섬유				
PVA-13	13	1225	323	71	257	26	420	6.8	34.4	16.3
PVA-30	30									
PVA-50	50									

주1) 분체재료는 시멘트, 플라이애시, 실리카흄, 탄산칼슘, 규사, 수축저감제, 증점제로 구성됨

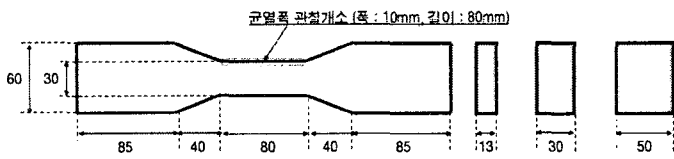


그림 2. 인장시험용 시험체의 형상과 치수

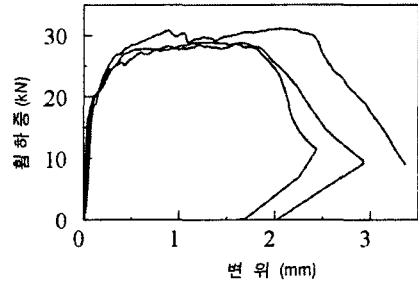


그림 3. 휨하중-변위곡선

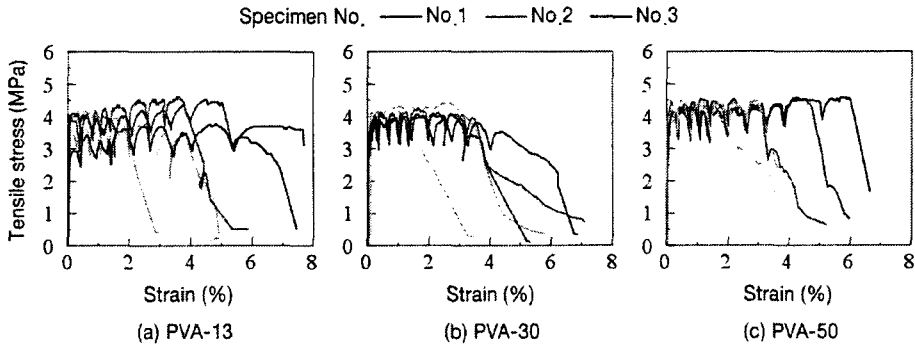


그림 4. 1축인장시험에 의한 인장응력-변형곡선

3.75%, 5.0%의 단계에서 재하를 정지하고 관찰하였다. 관찰구간은 공시체 밀면(거푸집면)의 측면영역 (폭 10mm, 길이 80mm)으로 설정하고, 디지털카메라(배율 25배)를 이동시켜 균열을 계측하였다.

### 3.2 압축 및 휨시험결과 및 고찰

표 1 및 그림 3에 HPRC의 압축 및 휨시험결과를 각각 나타낸다. 즉, HPRC의 압축강도는 34.4MPa, 탄성계수는 16.3GPa이었다. 휨시험은 3등분점 재하시험에 의해 실시하였으며, 그림 4와 같이 균열발생 후에 변위(처짐)의 증대와 함께 하중이 증가하는 변형경화특성이 명확하게 나타났다. 또한, 휨시험 후 복수의 미세균열이 발생하고 있는 것을 육안으로 확인할 수 있었다.

### 3.3 인장시험결과 및 고찰

#### (1) 인장응력-변형관계의 치수효과

인장공시체의 두께에 따른 인장응력-변형의 관계를 그림 4에 나타낸다. 모든 공시체 두께에 있어서 초기균열 발생후 취성적으로 파괴되지 않고 변형의 증대와 함께 인장응력이 증가하는 변형경화특성을 나타내었으나, 인장중국변형은 비교적 큰 편차를 보였다. 또한, 평균인장강도는 약 4MPa 정도로 공시체의 두께 차이에 따른 차이는 거의 확인되지 않았으나, 공시체 두께 13mm의 경우 다른 시험체에 비해 인장강도의 편차가 큰 것으로 나타났다.

한편, 공시체의 두께 차이에 따른 인장항복강도의 차이는 거의 확인되지 않았으며, 인장중국변형은 두께 13 및 30mm의 경우, 대부분 3~4% 정도이었지만, 두께 50mm의 경우 2~6% 정도로 편차가 큰 것으로 나타났다.

#### (2) 균열발생경향과 치수효과

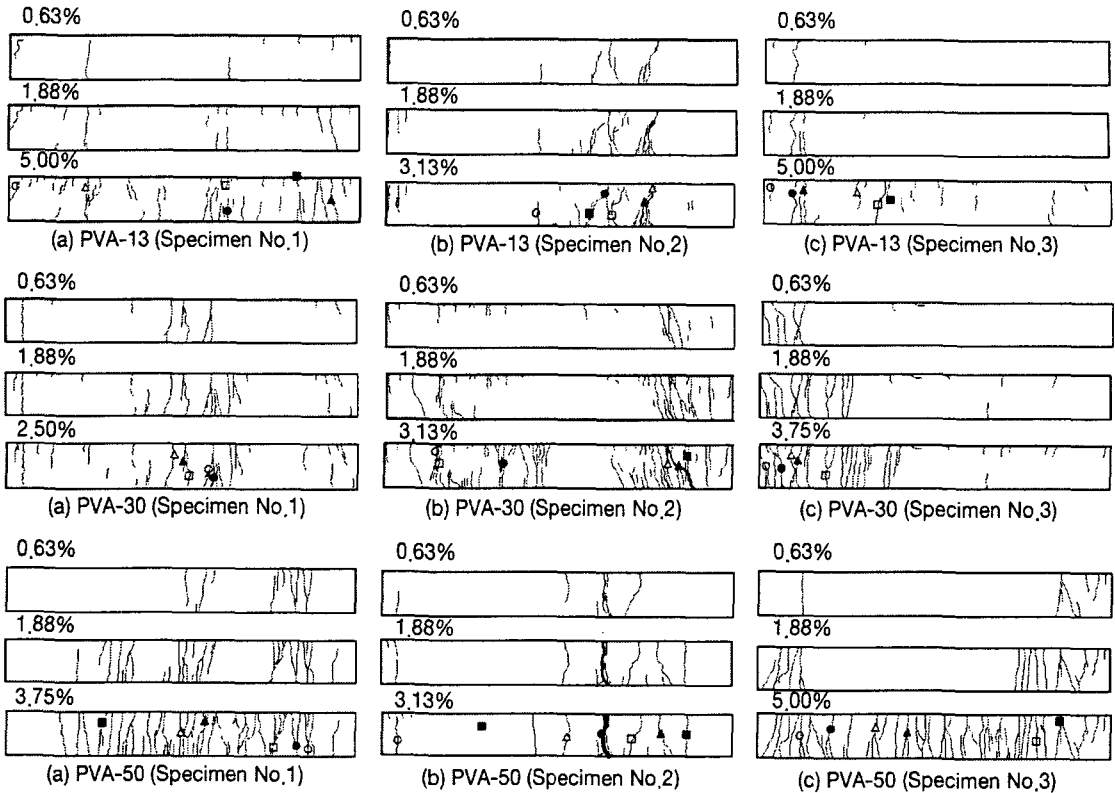


그림 5. 각 변형률에 있어서 균열발생 상황 (균열관찰영역 = 10 × 80 mm)

인장변형이 0.63%, 1.88% 및 인장종국변형 단계에서의 균열발생상황을 그림 4에 나타낸다. 모든 공시체에 있어서 멀티플크랙이 발생함과 동시에 변형의 증가에 따라 균열개수도 증가하였으며, 인장종국 변형이 클수록 균열개수도 증가하고, 균열발생영역도 확대되는 결과를 얻었다.

한편, 공시체 두께 13mm 중 No.3의 경우 인장종국변형률은 5% 이상이였지만, 3% 정도인 다른 공시체에 비하여 균열발생수가 적은 것으로 나타났다. 이는 공시체의 두께 차이에 의한 영향보다 마이크로스코프에 의한 균열의 관찰영역이 좁은 범위이었기 때문인 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

(1) 본 연구에서 제안한 시험장치에 의해 인장시험을 실시한 결과, 모든 공시체가 점토길이 내에서 파괴가 발생되어 인장시험을 확실하게 실시하는 것이 가능하였다.

(2) 모든 시험체 두께에 있어서도 변형경화특성이 확인되었으며, 공시체 두께의 차이에 따른 인장강도나 인장항복강도의 차이는 거의 확인되지 않았지만, 인장종국변형은 공시체 두께가 두꺼울수록 편차가 크다는 결과를 얻었다.

#### 참고문헌

- 1) 日本コンクリート工学協会, 高靱性セメント複合材料に関するシンポジウム, 高靱性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会, 2003.12