

# 브레이스에서 고인성시멘트 복합체와 강봉으로 구성된 접합요소의 구조성능

## Structural Performance of Connection element composed of High Performance Fiber Reinforced Cementitious composites and Steel Bars in Brace

이영오\* 양일승\*\* 한병찬\*\* 박완신\*\*\* 윤현도\*\*\*\* 문연준\*\*\*\*\*  
Lee, Young Oh, Yang, Il Seung Han, Byung Chan Park, Wan Shin Yun, Hyun Do Moon, Youn Joon

### ABSTRACT

Steel braced frames retrofit method has been broadly used due to their effectiveness in both light weight and construction periods. However, steel braced frames retrofit method has difficulties in application on the inner frames of buildings to be retrofitted consequently, there have been demands for the braced frames retrofit method that can be broadly and easily applicable to both inner and outer frames of the buildings. The objective of this study is to develop and evaluate the seismic retrofit method applicable to the inner frame also by dividing the reinforcing frames into three unit. From the cyclic test of specimens, the test results clearly showed that steel brace using HPFRCCs and steel bars ensure the better cyclic compressive performance than the normal braced members.

### 1. 서 론

최근 단섬유에 의한 시멘트·콘크리트의 보강기구에 대한 연구와 각종 고성능 단섬유의 개발이 급속히 진행되고 있으며, 변형경화특성과 다수균열 특성을 갖춘 고인성시멘트복합체(이하, HPFRCCs)가 개발되었다<sup>1)</sup>. 내진성능이 부족한 건물의 보강을 위한 방안으로 내진벽 신설과 함께 철골브레이스를 통한 보강방법이 널리 사용되고 있다. 기존의 철골브레이스를 사용한 보강방법은 철골브레이스를 사용한 프레임을 공장에서 제작하여, 현장에서 기존 골조에 삽입하여 고정하기 때문에 건물 외주에 접하지 않은 골조부위에의 적용은 어렵다. 따라서 기존의 창문 등을 제거하고 프레임을 설치한 후 다시 창문 등을 설치하기 때문에 공기가 길고, 공사비가 비싸지는 단점이 있다. 따라서, 보강프레임을 3개의 유니트로 나눔으로서 다루기 쉽고, 건물내부에서의 설치도 가능한 시스템을 제안하였다<sup>2)</sup>. 3개의 유니트를 접속하는 부위에는 HPFRCC를 타설함으로써 축압축력을 전달하도록 하고, 축인장력에 대해서는 강봉을 사용하여 전달시킨다. 고인성시멘트복합체의 경우, 시멘트 복합체에 고인성 특성을 부여하여 인장력으로 발생하는 균열을 섬유로 적절하게 보강함으로써 균열이 국부적으로 집중되지 않도록 하고, 미소균열을 폭넓게 확산시킴으로써 복합체에 변형경화특성을 갖도록 하고 있다. 이러한 특성은 콘크리

\* 정회원, 충남대학교 건축공학과, 석사과정

\*\* 정회원, 충남대학교 건축공학과, 박사과정

\*\*\*\* 정회원, 동신대학교 건축공학과 교수, 공학박사

\*\* 정회원, 충남대학교 건축공학과 연구원, 공학박사

\*\*\*\* 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수, 공학박사

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

트가 인장하중에 대해 취성적 파괴를 막을 수 있으며, 반복하중 하에서도 강성이나 내력 저하를 피할 수 있다. 그러나, 접합부에 인성이 취약한 보통콘크리트를 사용할 경우, 강봉의 인장항복 시 발생한 콘크리트의 균열이 다시 압축력을 받을 경우 조기에 압괴와 박리가 발생하며 내진보강 브레이스로서 적절한 구조성능을 발휘하지 못하게 된다. 본 연구에서는 기존건물에 HPFRCC와 강봉을 사용한 내진보강에 대한 연구의 일환으로 브레이스 접합부에 대한 실험적 검토를 행하였다.

## 2. 실험 계획 및 방법

### 2.1 실험 계획

내진보강 브레이스를 HPFRCC로 접합하는 접합부의 구조성능을 파악하기 위하여 그림1에는 나타난 시험체를 제작하였다. 시험체의 단면은 200x200mm이고, 주근으로 PC강봉( $\phi$ 23)을 사용하였으며 현장에서 시공성을 향상시키기 위하여 길이조절이 가능한 전나사선으로 하였다. 또한, 섬유를 포함한 HPFRCC의 타설에 따른 시공성을 향상시키기 위하여 접합부의 후프근은 생략하였으며, 철골부분(H-200x200x19x 19mm)은 실험 중에 탄성범위 안에서 거동하도록 충분히 강하게 설계하였다. 본 실험에서의 주요한 변수는 표1에 나타난 것과 같이 H/B

(H:HPFRCC를 충전한 접합부의 높이, B:접합부의 폭)와 섬유의 종류다. PVA400, PVA600, PVA200 시험체는 폴리비닐알코올(PVA: Poly-Vinyl Alco hol)섬유를 체적비의 1.7%를 투입하였으며, H/B가 2.0, 3.0, 1.0으로 변화를 주었다. PESC400 시험체는 H/B가 2.0으로 폴리에틸렌(PE:Polyethylene)과 강섬유(SC:Steel Cords)를 각 체적비당 1.0%를 혼입한 HPFRCC를 사용하였다. 또한, PE400 시험체는 H/B가 2.0으로 PE를 1.0%투입하였으며, MOR400 시험체는 H/B가 2.0으로 섬유를 사용하지 않은 모르타르 시험체이다. PVA400S 시험체는 H/B가 2.0으로 PC강봉과 PVA섬유를 사용한 시멘트 복합체와의 부착력을 없애기 위해 시스관(Sheath pipe)을 사용하였다. 고인성시멘트 복합체는 시험체를 횡 방향으로 놓고 타설하였으며, 공기 중에서 양생하였다. 본 연구에서는 물 시멘트비(W/C)가 45%인 시멘트복합체에 각각의 섬유를 혼입하였다. 시멘트는 조강포틀랜드시멘트(비중 3.14)를 사용하였고, 세골재는 접착제용 규사 7호(비중2.61, 직경 105-120 $\mu$ m)를 사용하였다. 각 섬유의 특성과 형상은 표2에 나타내고 있다.

표1. 브레이스 접합부 시험체의 일람

시험체명	H(mm)	H/B	재료
PVA400	400	2.0	PVA-HPFRCC
PVA600	600	3.0	
PVA200	200	1.0	
PESC400	400	2.0	PESC-HPFRCC
PE400			PE-HPFRCC
MOR400			MORTAR
PVA400S			PVA-HPFRCC (시스관 사용)

표2. 섬유의 형상 및 특성

종류	비중	길이 (mm)	직경 ( $\mu$ m)	형상비	인장강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)
PVA	1.30	12	39	307	1600	40
PE	0.97	15	12	1250	2500	75
SC	7.85	32	405	79	2300	206

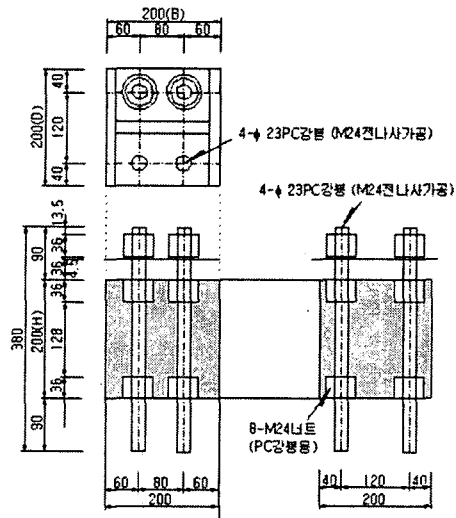


그림1. 브레이스의 부분 시험체

## 2.2 소재실험

고인성시멘트복합체의 압축강도와 탄성계수는 표3에 나타내고 있는 바와 같이 합성섬유의 영향으로 섬유를 투입하지 않은 모르타르에 비해서 압축강도와 탄성계수가 작다. 직접인장강도 실험은 일본 건축연구소(Building Research Institute)의 후쿠야마 등이 제안한 장치<sup>3)</sup>를 사용하여 실시하였다. 그 결과는 표3에서 나타내고 있으며, PVA-HPFRCC시험체는 최대인장 하중 후에 내력이 급격히 저하하지만 이 이후에는 0.3%까지는 완만하게 내력이 저하하고 있다. 한편, PE-HPFRCC와 PESC-HPFRCC시험체는 높은 강도 및 인장변형률 1.2%까지 변형경화 특성을 보이고 있으며 그 이후에도 완만한 강도저하를 나타내었다. PC강봉에 대해서는 인장시험을 실험구간 200, 400, 600mm에 대해서 각각 3개씩 행하였다. 인장시험 결과는 표4에 나타내고 있으며, 항복내력에 대해서는 0.2% 오프셋(Offset)방법을 사용하였다.

표3. 고인성시멘트복합체의 재료특성

재료	섬유 (투입률 %)	압축강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	인장강도 (MPa)
MORTAR	-	58.14	19.6	-
PVA-HPFRCC	PVA(1.7)	48.31	18.2	4.3
PE-HPFRCC	PE(1.0)	50.53	18.3	3.4
PESC-HPFRCC	PE(1.0)+SC(1.0)	50.81	20.3	2.5

표4. PC강봉의 길이에 따른 인장성능

길이	초기강성 (kN/mm)	항복내력 (MPa)	최대강도 (MPa)	최대강도시 변위(mm)
200	368.0	920.4	1091.5	10.52
400	178.5	926.6	1089.0	25.60
600	122.4	926.9	1085.9	36.85

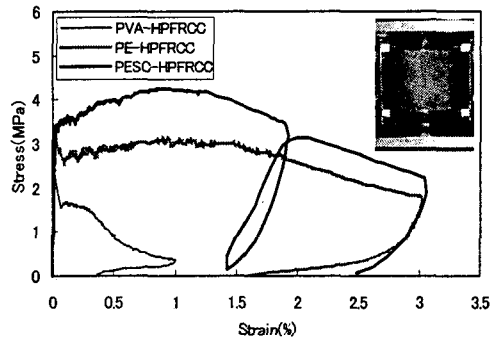


그림2. 고인성시멘트복합체의 직접인장시험

## 2.3 가력 및 측정

가력은 2,000kN 사보(Sabo)형 시험기를 사용하여 인장과 압축을 반복하여 가력하였다. 인장력은 고인성부(H)에 대해서 상하의 강판 사이에 변위계를 2개 설치하여 측정길이에 대해서 +1/1600, +1/800, +1/400, +1/200, +1/100, +1/67, +1/50, +1/33, +1/25, +1/20, +1/15의 각 변위까지 2회씩 재하하였으며, 그 이후에는 PC강봉의 파단까지 단조재하 하였다. 한편, 압축력은 인장시의 하중까지 가력(예를 들면, +1/1600에서 인장력이 -180kN의 경우, 압축력은 +180kN까지 가력)을 행하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

HPFRCC를 이용하여 접합한 내진 보강 브레이스 접합부의 축하중과 축 변형 관계를 그림4에 나타내고 있으며, 실험결과는 표5와 같다. 여기서, 축변형은 접합부의 길이(H)에 대한 변형을 나타낸다. 사진1에는 파괴정상을 나타내고 있다. PVA400 시험체는 최대인장하중이 -1698.0으로 최대하중 이후에도 내력의 급격한 저하는 보이지 않았으며, 다수균열(Multiple crack)이 발생하였으며, +1/12의 변형에서 PC강봉이 파단하였다. PVA600 시험체는 최대인장하중이 -1739.2kN으로 다수균열이 발생하였으며 +1/15의 2번째 사이클 도중에 PC강봉이 파단되었다. 그리고, H/B가 1.0인 PVA200 시험체는 최대인장하중이 -1725.6kN으로 2개의 횡방향 크랙과 종방향의 크랙이 발생하였으며, +1/10에서 PC강봉이 파단되었다. PESC400 시험체는 최대인장하중이 -1728.8kN으로 다수균열과 종방향 균열이 발생하였으며, +1/12에서 PC강봉이 파단되었다. 또한, PE400시험체는 최대인장하중이 -1728.8kN이고, +1/15의 2번째 사이클에의 도중에 PC강봉이 파단되었다. 섬유로 보강하지 않은 MOR400 시험체는 최대인장하중이 -1627.8kN으로 약간의 균

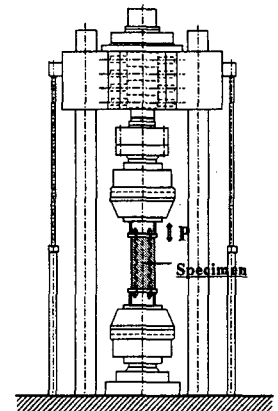
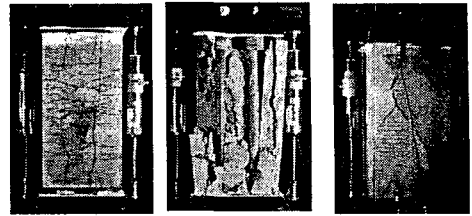


그림3. 시험체 설치상황

표5. 브레이스 부분 시험체의 실험결과

시험체명	초기강성 (kN/mm)	최대하중 (kN)	최대하중시의 변위(mm)	파괴형상
PVA400	399.7	-1698.0	-15.90	PC강봉의 파단
PVA600	331.2	-1739.2	-17.91	
PVA200	630.2	-1725.6	-12.88	
PESC400	429.8	-1720.6	-12.01	
PE400	427.9	-1728.8	-15.90	
MOR400	390.9	-1627.8	-7.92	PC강봉의 좌굴
PVA400S	392.3	-1710.8	-15.65	PVA-HPFRCC압괴



(a) PVA400 (b) MOR400 (c) PVA400S  
사진 1. HPFRCC 접합부 시험체의 파괴형상

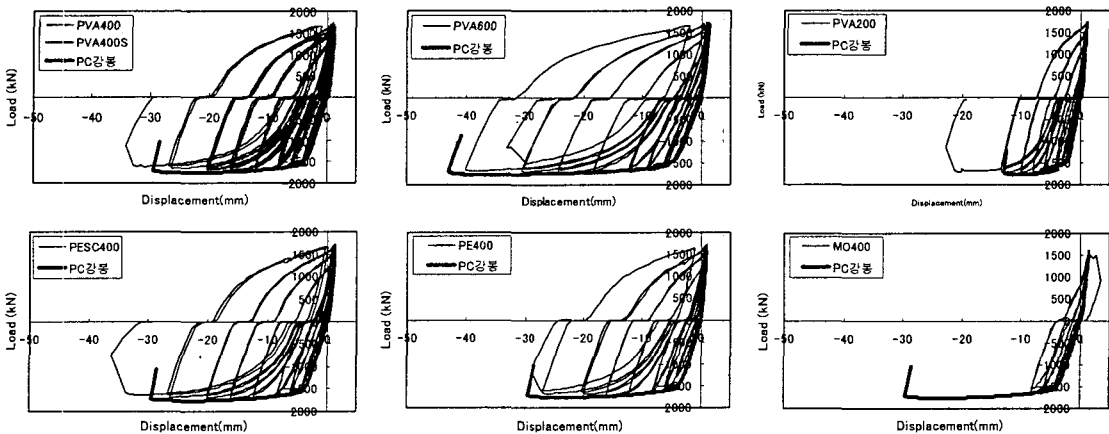


그림4. HPFRCC접합부의 축하중과 축변형의 관계

열과 종방향 균열이 발생하였다. +1/100의 1사이클에서 모르타르의 일부가 탈락되었으며, +1/50의 2사이클에서 모르타르가 탈락되어 PC강봉의 구속효과를 상실하여 PC강봉의 좌굴에 의해 내력이 저하되었다. 마지막으로 고인성부와 PC강관과의 부착력을 없애기 위하여 시스관을 사용한 PVA400S 시험체는 최대 인장하중이 -1710.8kN으로 종방향 크랙만이 관찰되었다. PVA-HPFRCC에 의한 섬유보강으로 박리현상은 없었지만, -1/20의 2번째 사이클에서 고인성시멘트의 압괴에 의해 내력이 저하되었다.

#### 4. 결 론

고인성시멘트복합체와 강봉으로 구성된 브레이스 접합부에 대한 실험을 행한 결과, 단섬유를 투입한 고인성시멘트복합체를 사용한 브레이스 중간부 접합부는 PC강봉의 변형성능을 충분히 발휘할 수 있었다. 한편, 섬유를 투입하지 않은 시험체(MOR400)와 고인성시멘트복합체와의 부착력을 없애기 위해 시스관에 PC강봉을 설치한 시험체는 횡변위가 하중초기 단계부터 발생하여 고인성부에서 파단되었다.

#### 참고문헌

1. 訪取田晴彦, 福山洋, 磯雅人(2001), 構造物の高靱性化に向けた高靱性纖維補強セメント複合材料の開発, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.23.
2. 梁一承, 西山功ほか(2003), 高靱性型セメント系複合材料と鋼棒による鐵骨部材接合部の強度靱性, 日本建築學會大會學術講演概要集, C-2, pp.1073-1074
3. 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