

고인성 섬유보강 시멘트 복합체를 사용한 내진요소의 구조성능

The Structural Behavior of Seismic Devices using High Performance Fiber Reinforced Cement Composites

양 일 승* 윤 현 도** 한 병 찬*
Yang, Il-Seung Yun, Hyun-Do Han, Byung-Chan
박 완 신*** 김 선 우**** 문 연 준*****
Park, Wan-Shin Kim, Sun-Woo Moon, Yeon-Jun

ABSTRACT

Structural performance of the seismic devices made by steel bar and high performance fiber reinforced cement composites(HPFRCCs) was experimentally observed. These dampers will be applied for reducing damage as well as seismic response. The advantages of the HPFRCCs damper is selective structural performance, strength, stiffness, and ductility by changing configuration, bar arrangements and type of materials used. The experimental results indicate that elemental ductility is much increased with decreasing damage when the HPFRCCs are applied to the damper. It means cementitious damper for structural control is available which has much merit in performance and cost.

1. 서 론

최근 보다 내구적이고 구조성능이 뛰어난 건설 신재료(Advanced structural materials)의 개발 및 구조물への 활용성에 관한 연구가 국내 건설 산업에서 주목받고 있다. 이러한 측면에서 고인성 섬유보강시멘트복합체(High performance fiber reinforced cement composites, 이하 HPFRCCs)¹는 철근부식 및 내진 성능이 증시되고 있는 다양한 용도의 철근콘크리트 구조물에 적용가능성이 높은 신재료로 평가되고 있으며 이에 대한 국내외에서의 활발한 연구가 진행되고 있다. 본 연구는 이러한 HPFRCCs의 구조부재 활용성에 관한 연구의 일환으로 HPFRCCs를 이용한 내진요소(Seismic devices)²를 개발하고 그 성능을 규명하고자 하였다. 내진요소에 사용코자 하는 HPFRCCs는 시멘트 복합체에 단섬유를 1~2%정도 혼입해서 복합체에 발생하는 균열을 섬유로 적절하게 보강하여 균열이 국부적으로 집중되지 않도록 하며 미소 균열을 폭넓게 확산(multiple crack)시킴으로서 복합체에 변형경화특성(Strain hardening)을 갖도록 하는 고성능, 고인성 특성을 가지고 있다. 이런 특성은 콘크리트가 인장하중에 대해 취성적으로 파괴하는 것

* 정회원, 충남대 건축공학과 강사, 공학박사

** 정회원, 충남대 건축공학과 교수, 공학박사

*** 정회원, 충남대 건축공학과 대학원 박사과정

**** 정회원, 충남대 건축공학과 대학원 석사과정

***** 정회원, 동신대 건축공학과 교수, 공학박사

을 막을 수 있으며, 반복하중 하에서도 강성이나 내력을 저하를 지연할 수 있는 획기적인 재료라 할 수 있다. 이와 같은 HPFRCCs를 이용한 내진요소의 구조성능을 확인하기 위하여 내진요소 실험체를 제작하여 성능평가를 실시하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

그림 1에 본 연구에서 대상으로 하는 내진요소에 대한 실험체의 형상 및 치수를 나타내었다.

본 실험에서의 주요변수는 H/B(H = HPFRCCs를 충전한 접합부의 높이, B = 접합부의 폭)와 섬유유 종류이며, 고인성부에서의 주근은 HPFRCCs를 사용한 접합부에서 철골의 시공오차를 보정하기 위하여 나사형 철근을 사용하였다. 또한, 섬유유를 포함한 HPFRCCs의 타설에 따른 시공성을 향상시키기 위하여 접합부에 횡보강근은 배근하지 않았으며, 철골부분은 실험 중 탄성범위 내에서 거동하도록 충분히 강하게 설계하였다. HPFRCCs제조를 위한 섬유유는 강섬유 및 합성섬유를 사용하였다.

A1~A4실험체는 고장력 폴리에틸렌(Polyethylene, 이하 PE) 섬유유와 강섬유(Steel Cords, 이하 SC)를 각 체적비당 1.0%로 혼입한 HPFRCCs를 사용하였으며, H/B를 1.00, 1.25, 0.75, 0.50로 변화를 주었다. A5(PESC200S)실험체는 A1(PESC200)실험체에 대하여 유리섬유 시트(GFS : Glass Fiber Sheet)를 3중으로 감아서 횡보강을 하였다. 또한, A6(PVA200)실험체는 H/B가 1.0으로 폴리비닐알코올(Poly-Vinyl Alcohol, 이하 PVA)섬유유를 1.7% 혼입한 실험체이고, A7(PE200)실험체는 H/B가 1.0으로 PE를 1.0% 혼입한 실험체이다. A8(MOR200)실험체는 H/B가 1.0인 섬유유로 보강되지 않은 모르타르 실험체이다. 마지막으로 A9(RPC200)실험체는 H/B가 1.0으로 초고강도의 반응성 분체 콘크리트(Reactive Powder Concrete, 이하 RPC)³를 사용하여 실험체를 제작하였다.

2.2 가력방법

가력은 그림 2에 나타낸 것과 같이 횡전단 가력장치를 사용하여 반복 가력을 행하였다. 우선, 접합요소의 강성저하 및 손상상태를 파악하기 위하여 낮은 부재 회전각(1/400~1/200)의 강제 변위를 3~5회 반복적으로 도입하였다. 그 후에 고인성 시멘트 복합체를 충전한 형상비(H/B=0.5~1.25)가 작은 접합부에 에너지 소산기구로서의 역할에 대한 가능성을 평가하기 위하여 부재 회전각 1/100~1/10범위의 변위이력을 도입하는 반복 재하실험을 수행하였다. 또한, 축력은 $0.1N_o(N_o=f_{ck} \times B \times D$: 접합요소부분의 항복내력)를 유지하도록 오일잭으로 제어하였다.

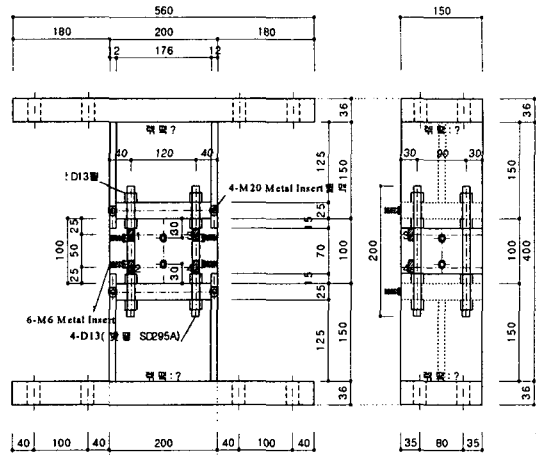


그림 1. 내진요소 실험체 (unit : mm)

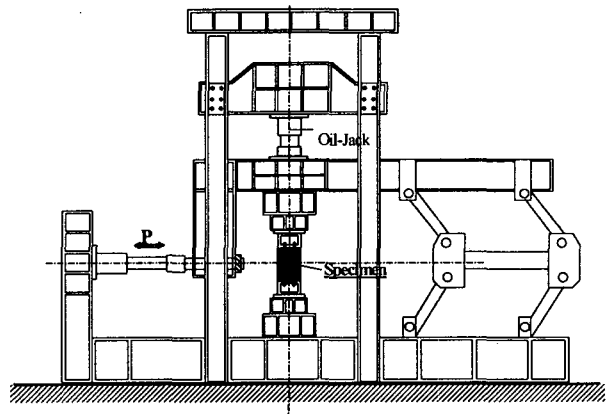


그림 2. 내진요소 실험체의 설치상황

2.3 재료시험 결과

고인성 시멘트 복합체의 물리적 특성을 검토하기 위하여 압축실험과 더불어 직접인장시험(Direct tensile test)을 행하였다. HSPFRCCs의 압축강도 및 탄성계수는 표 1에 나타난 바와 같이 합성섬유의 영향으로 섬유를 혼입하지 않은 모르타르에 비해서 저하된다. 고강도인 RPC는 압축강도가 134.17MPa, 탄성계수는 50.7GPa로써 일반 모르타르에 비해서 2.5배 높게 나타났다. 직접인장강도실험은 일본 건축연구소의 후쿠야마 등이 제안한 장치⁴를 사용하여 실시하였다. 재하속도는 1mm/400sec로서 변위제어(Displacement control) 방식으로 가력하였다. HSPFRCCs의 직접인장 시험에 결과는 그림 3에 나타내었다. PVA-HSPFRCC 시험체는 최대인장 하중 후 내력이 급격히 저하되는 특성을 보이고 있으나 인장변형률 0.3%까지는 완만하게 내력이 저하하였다. 한편, PE-HSPFRCC와 PESC-HSPFRCCs 시험체는 인장변형률 1.2%까지 변형경화 특성을 보이고 있으며, 그 이후에도 완만한 강도저하를 나타내었다. RPC의 경우, 인장강도는 높지만, 최대강도이후 급격한 강도저하를 보였고, 미소균열도 분산되지 않았다. 강재에 대한 인장 실험결과는 표 2에 나타내었다.

표 1: 고인성 시멘트 복합체의 압축강도 실험결과

| 재료 | 섬유종류 (혼입률 %) | 압축강도 (MPa) | 탄성계수 (GPa) |
|--------------|-----------------|---------------|---------------|
| MORTAR | - | 58.14 | 19.6 |
| PVA-HSPFRCC | PVA(1.7) | 48.31 | 18.2 |
| PE-HSPFRCC | PE(1.0) | 50.53 | 18.3 |
| PESC-HSPFRCC | PE(1.0)+SC(1.0) | 50.81 | 20.3 |
| RPC | SC(2.0) | 134.17 | 50.7 |

표 2. 강재의 재료특성

| 재료 | 항복강도 (MPa) | 인장강도 (MPa) | 탄성계수 (GPa) | 재질 |
|------|---------------|---------------|---------------|-------|
| 철골부재 | 289.5 | 425.4 | 207.8 | SS400 |
| 철근 | 356.0 | 515.0 | 191.0 | SD300 |

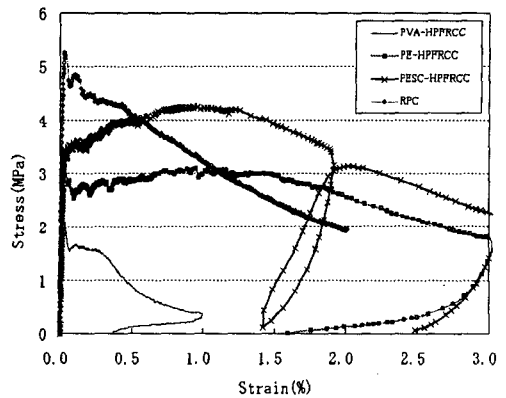


그림 3 직접 인장시험 결과

3. 실험결과 및 분석

내진요소 각 실험체에 대한 전단력-접합요소 변형각의 관계를 그림 4에 나타내었다. 여기서, 전단력은 수평하중을 전단면적으로 나눈 값이다. 전반적인 내진요소 실험체의 거동특성을 분석하면 다음과 같다. 합성섬유(PVA 혹은 PE)를 혼입한 HSPFRCCs의 내진요소 실험체 A6, A7은 소진폭에서 접합요소의 강성저하 및 손상의 축적은 확인되지 않았지만, 소진폭에서의 실험 후에 행한 커다란 진폭의 초기단계에서 전단 파괴되었다. 따라서 내진요소로서 사용하기 위해서는 휨 보강근 등을 사용할 필요가 있는 것으로 판단된다. 한편, 합성섬유(PE)와 강섬유(SC)를 혼입한 내진요소 실험체는 소진폭에서의 강성저하 및 손상축적은 없으며, 커다란 진폭에 대해서도 합성섬유만 혼입된 실험체에 비해 뛰어난 변형능력을 보였다. 섬유를 혼입하지 않은 A8(MOR200)은 내력과 강성이 섬유 보강한 실험체의 0.6배정도로 +1/125rad.에서 전단파괴하였다. 파괴형식은 휨보강근을 사용하지 않았기 때문에 대부분의 실험체가 전단파괴되었다. 그러나, H/B가 작은 A4(PESC100)실험체는 철골부와의 접촉부로부터 슬립변형이 발생한 파괴형식인 편칭왜어형식으로 파괴되었다. 또한, 글래스섬유를 3중으로 감아서 보강한 A5(PESC200S)와 고강도/고강성인 시멘트를 사용한 A9(RPC200)에서는 휨 항복 후, 접합요소의 단부에서 시멘트의 압괴로 내력이 저하하는 특성을 보였다.

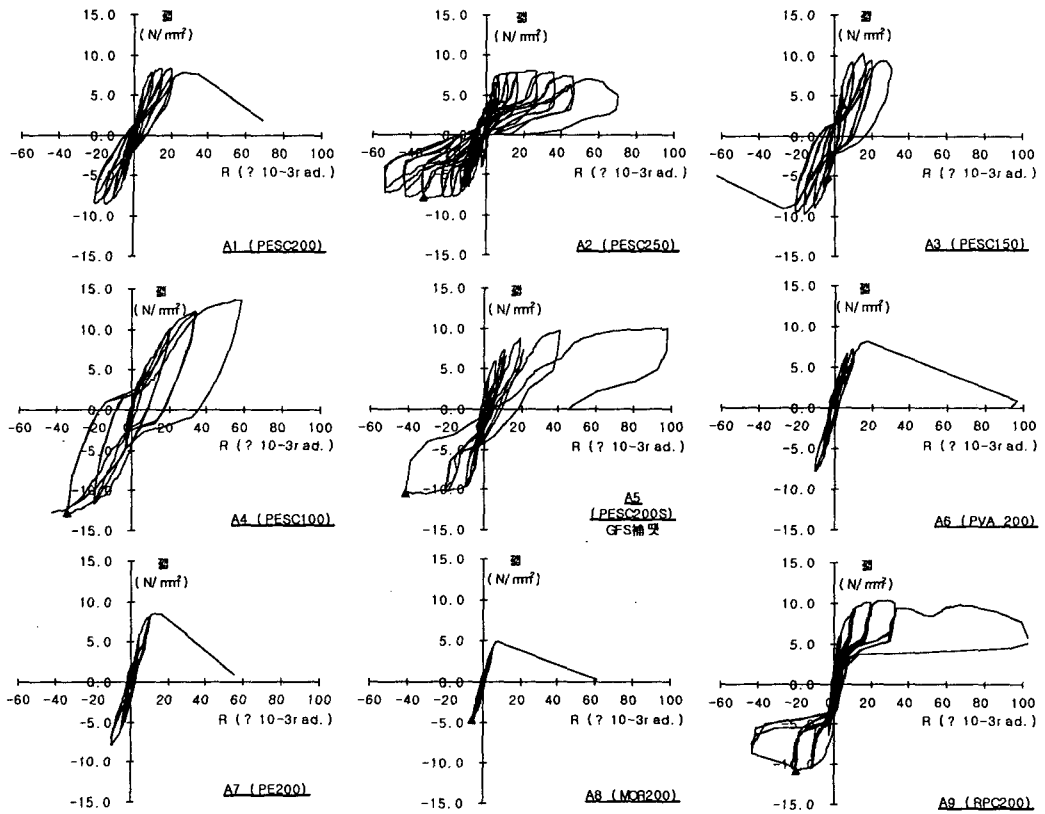


그림 4 실험체 별 전단력과 변형각 관계 곡선

4. 결론

철골조의 중앙 접합부에 설치한 고인성 시멘트 복합체(HPFRCs)의 내진요소에 대한 구조성능을 평가하기 위하여 휨전단 실험을 행하여 다음과 같은 실험결과를 얻었다.

- (1) 섬유를 혼입한 고인성 시멘트 복합재료를 이용한 내진요소의 경우, 작은 부재 회전각에서는 반복하중에 의한 고인성 시멘트의 강성저하와 손상의 축적 등은 나타나지 않았다.
- (2) 합성섬유만을 혼입한 내진요소는 부재 회전각이 커짐에 따라 전단파괴를 일으켜서 내진요소로서 충분한 에너지 소산능력을 발휘하지 못하였지만, 합성섬유(PE)와 강섬유(SC)를 혼입한 내진요소 실험체는 반복하중에 대한 저항성능이 뛰어나며 에너지 소산능력도 개선되었다.

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. 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, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol. 20
3. 小幡一博, 菅野俊介ほか(2002), 超高強度コン크리트の壓縮特性に関する實驗的研究日本建築學會大會學術講演梗概集, C-2
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返し試驗方法の提案, 日本建築學會構造系論文集, No.539