

하이브리드 섬유보강재로 보강된 철근콘크리트 보의 휨거동

Flexural Behavior of Hybrid Fiber Reinforcement Strengthened RC Beams

이 성 태^{1)*}

이 진 용²⁾

Yi, Seong Tae

Lee, Chin Yong

Abstract

This study was performed to evaluate the flexural behavior of Hybrid fiber sheet (HFC) and Hybrid fiber bar (HFB) strengthened reinforced concrete (RC) beams. According to test results, Hybrid fiber reinforcement strengthened RC beams showed approximately 60 to 200% higher reinforcing effects than that of un-reinforced specimens. In addition, the reinforced beams showed the ideal failure pattern, which is failed presenting the ductile behavior after yielding of the reinforcing bar. More specifically, in the case of HFB reinforced RC beams, the difference with putting method was not apparent since HFB beams reinforced using the injection of epoxy and bonding of putty showed the similar failure patterns.

Keywords : Hybrid fiber reinforcement, HFC, HFB, Flexural behavior, RC beams

1. 서 론

오래된 콘크리트 구조물은 장기간에 거쳐 초과된 사하중 혹은 활하중 등에 의하여 균열이나 파손이 발생할 수 있으며, 외부로부터 침입한 불순물, 즉 콘크리트 내에 있는 철근을 부식시킬 수 있는 인자에 의하여 철근이 부식되고 부피가 팽창함으로써 콘크리트 단면이 탈락한다. 따라서 구조적으로 문제가 발생한 구조물의 경우에는 적절한 보강공법을 선택하여 보강을 하는 것이 중요하다. 그리고 최근 들어서 차량의 크기 및 적재량이 증가함으로써 교량의 성능을 2등급에서 1등급으로 개선하기 위한 공사가 많이 이루어지고 있다.

현재 국내에서 많이 사용되고 있는 공법은, 단면증설(오홍섭 등, 1996), 강판부착공법(오병환 등, 1997), 섬유부착공법(양인환 등, 2009), FRP 공법(황현복과 이정윤, 2007), 외부강선(한만엽 등, 2006)을 이용한 보강법 등이 있으며, 최근 들어서는 섬유바를 이용한 보강공법이 사용되고 있다. 그리고 국내에서 사용되고 있는 공법의 대부분은 선진국에서 도입된 공법이며 초창기에는 자재들도 외국에서 수입하여 사용을 하였으나, 기술이 축적됨

에 따라 현재에는 국산자재를 많이 이용하고 있다. 최근 많이 사용되는 섬유보강재로는 탄소섬유, 유리섬유와 아라미드섬유 등이 있으며 이를 이용한 연구(황진석, 1998, 장준환 등, 2007)도 다수 수행되어 왔다.

하이브리드 섬유보강재(Philips, 1976, Manders and Bader, 1981)를 사용하는 보강공법은 구조물 보강용 섬유로 사용되는 탄소섬유와 유리섬유를 적절한 비율로 제조된 하이브리드 섬유시트(Hybrid Fiber Sheet, HFC)와 탄소섬유와 유리섬유를 에폭시에 함침시켜 제작된 하이브리드 섬유바(Hybrid Fiber Bar, HFB)를 콘크리트 구조물에 부착시켜 필요한 내하력을 확보하는 보강공법이다. 하이브리드 섬유시트는 공장에서 제작된 섬유시트를 현장에서 구조물에 맞게 재단 및 함침하여 현장에 맞게 시공하여 보강구조물의 강도 향상과 연성을 확보하며 하이브리드 섬유바는 탄소섬유와 유리섬유를 적절한 비율로 에폭시에 함침시켜 공장에서 제작되며 앵커, 에폭시 및 접착제를 사용하여 콘크리트 표면에 부착하여 플레이트의 부착 성능을 향상시켜 보강 구조물의 높은 강도와 연성 확보를 가능하게 한다. 이와 같은 장점에도 불구하고 하이브리드 섬유시트 및 섬유바를 이용한 철근콘크리트 구조물의 보

1) 정회원, 인하공업전문대학 토목환경과 교수

2) 정회원, (주)케어콘 대표이사

* Corresponding author : yist@inhate.ac.kr 032-870-2237

• 본 논문에 대한 토의를 2010년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 2010년 11월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

강실험은 현재까지도 충분히 실시되지 않았으므로, 이 연구에서는 철근콘크리트 보에 이 재료들을 이용한 보강효과와 타당성과 적용성에 대한 연구를 실시하였다.

2. 실험

2.1 하이브리드 섬유시트(HFC)로 보강한 보

2.1.1 사용재료

하이브리드 섬유시트로 보강된 구조물은 구조물 보강용 탄소섬유와 유리섬유, 함침에폭시, 콘크리트 및 철근으로 구성되며 이 보강구조물의 성능은 구성재료의 역학적인 재료특성에 의해서 결정된다. 따라서 각 구성재료의 역학적 특성을 아래에 기술하였다.

1) 콘크리트

철근콘크리트 보강보 제작에 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 굵은 골재의 최대치수는 25mm였다. 콘크리트의 양생은 타설 후 보강보 실험을 실시 할 때까지 기건양생시켰으며, 양생기간은 1개월~2개월이었다. 콘크리트 압축강도 측정용 시편은 보강보 콘크리트 타설 시 원형 몰드(100×200mm)에 타설하였으며, 보강보와 동일하게 양생시켰다. 콘크리트 압축강도의 측정은 보강보 실험과 동일한 날에 KS F 2405의 기준을 준수하여 실시하였다. 2회에 걸쳐 실험실에 배달된 레미콘의 타설일자 별 압축강도는 큰 변화 없이 평균 24 MPa로 나타났다.

2) 철근

이 연구에 사용된 철근은 SD40으로 D13의 인장철근, D16의 압축철근, D10의 스티럽을 사용하여 보강보를 제작하였다.

3) 섬유

이 연구에 사용된 보강용 섬유는 탄소섬유와 유리섬유 2종류였다. 제조회사에서 제시한 탄소섬유 원재료의 인장강도와 탄성계수는 3,550 MPa와 235 GPa이고, 유리섬유 원재료의 인장강도와 탄성계수는 940 MPa와 37.7 GPa였다. Table 1은 각 섬유의 역학적 특성을 보여준다.

4) 하이브리드 섬유시트(HFC)

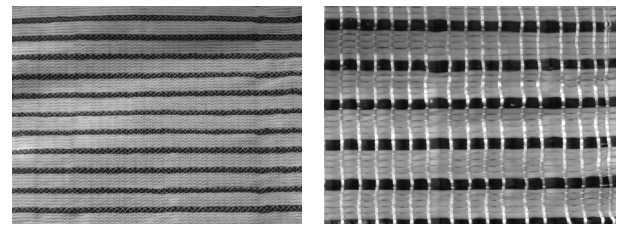
이 연구에 사용된 하이브리드 섬유시트는 탄소섬유와

Table 1 Mechanical properties of fiber

섬유	단위중량 (g/cm ³)	인장강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	파단변형률 (%)
탄소섬유	1.82	3,550	235	1.5
유리섬유	1.23	940	37.7	2.5

Table 2 Properties of HFC

보강재 종류	인장강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	파단율 (%)
하이브리드 섬유시트	750	26.8	2.8



(a) front (b) rear

Fig. 1 Appearance of HFC

Table 3 Properties of saturated epoxy

인장강도 (MPa)	굽힘강도 (MPa)	압축강도 (MPa)	인장전단부착강도 (MPa)
54.4	69.2	164	12

유리섬유를 혼합하여 일방향으로 배열한 후 직조되어 제작된 시트(sheet) 형태의 하이브리드 섬유복합체이다. 기존 연구(하상수 등, 2008)에서 가장 우수한 성능을 발휘하는 섬유의 중량비율(탄소섬유와 유리섬유의 비율)인 1:9로 제작되었고, 인장강도는 750 MPa이고 탄성계수는 26.8 GPa이다. Table 2는 하이브리드 섬유시트의 물성치를 보여준다. 한편, Fig. 1은 하이브리드 섬유시트의 모습을 나타낸다.

5) 함침에폭시

이 연구에서 사용되는 에폭시는 하이브리드 섬유시트를 콘크리트 구조물에 부착 및 고정시키는 역할을 한다. 즉, 배합된 에폭시를 섬유시트에 함침하여, 콘크리트 구조물에 부착, 경화시켜 구조물과 일체화시키는 역할을 한다.

2.1.2 HFC로 보강한 보의 실험과정

1) 보의 제작

하이브리드 섬유시트로 보강된 보의 실험에 사용된 철근콘크리트 보의 길이 2,400mm, 폭 250mm, 높이

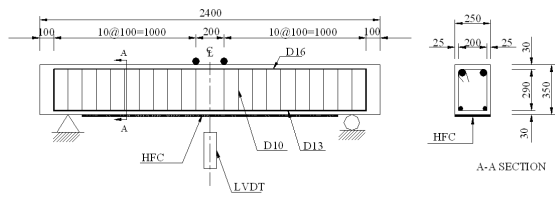


Fig. 2 Details of the specimen(unit : mm)

Table 4 Details of the specimens reinforced with HFC

보의 이름	보 설명	하이브리드 섬유시트 보강겹수	보강재 부착방법
Control	기준보	-	-
HFC-1	하이브리드 섬유시트 보강보	1	에폭시 함침
HFC-1.5	하이브리드 섬유시트 보강보	1.5	에폭시 함침
HFC-2	하이브리드 섬유시트 보강보	2	에폭시 함침

350mm 그리고 유효높이 320mm로 제작되었다. 인장철근으로 D13 2분을, 압축철근으로 D16 2분을 사용하였으며 철근 콘크리트 보의 전단파괴를 방지하기 위해 순수휨 구간을 제외한 보의 전 구간에 스테럽(D10)을 100mm 간격으로 배치하였다.

보강재의 보강겹수에 대한 보강보의 휨성능을 고찰하기 위하여 하이브리드 섬유시트를 1겹, 1.5겹 그리고 2겹으로 부착시켜 보강보를 제작하였으며, 모든 보강보는 하이브리드 섬유시트를 보 바닥면에 에폭시를 사용하여 부착시켜 고정시켰다. 하이브리드 섬유시트 보강보의 철근배근도, 보강재 부착위치 및 단면을 Fig. 2에 나타내었다. 한편, Table 4에는 기준보를 포함한 하이브리드 보강보를 정리하여 나타내었다.

하이브리드 섬유시트로 보강한 보의 제작순서는 다음과 같다. ① 하이브리드 섬유보강시트를 부착할 콘크리트 면을 그라인더나 사포를 사용하여 표면의 요철이나 오물을 제거하여 표면을 정리한다. ② 정리된 콘크리트 표면에 프라이머를 도포하여 섬유부착을 용이하게 한다. ③ 하이브리드 섬유시트를 보의 크기에 맞게 재단하고 함침 에폭시를 배합비에 맞춰 계량한 후 충분히 교반한다. ④ 교반된 에폭시를 재단된 하이브리드 섬유시트에 충분히 함침시킨 후 보에 부착시킨다. ⑤ 보와 하이브리드 섬유시트의 완벽한 부착을 위해 표면에 발생한 기포를 찾아 롤러를 이용하여 제거한다. ⑥ 에폭시의 완벽한 경화를 위해 일주일 이상 양생한 후 휨 실험을 실시한다.



Fig. 3 Overall view of test set-up

2) 하중재하 및 실험방법

1,000kN 용량의 만능실험장치(UTM)를 사용하여 4점 휨실험을 실시하였다. 단순지지 경계조건을 만족하도록 보의 양쪽 단부에서 200mm 떨어진 곳에 힌지와 롤러를 설치하여 보를 지지하였다. 하중은 보의 중앙에서 좌우 100mm 씩 떨어진 곳에 강제 가력장치를 이용하여 가했으며, 이때 두 가력점 사이는 순수 휨을 받는 구간이 된다. 하중을 균등하게 분포시키기 위해 가력장치 아래의 봉과 맞닿는 콘크리트 면을 깨끗이 정리하였다. 작용하중은 만능실험장치의 하중계에 의해 측정되었고 작용하중에 대한 보의 처짐은 보의 중앙 하부에 설치된 변위계(LVDT)를 이용하여 측정하였다. 하이브리드 섬유(시트 혹은 바)의 인장변형률을 측정하기 위하여 하이브리드 섬유 하부의 중앙에 전기저항식 변형률 게이지를 부착하였다. 또한 콘크리트의 압축변형률을 측정하기 위하여 보의 압축상단에 2개의 콘크리트 게이지를 중앙위치에 부착하였다. 측정된 변형률은 하이브리드 섬유 보의 분석에 사용되며 특히 보강재 파단변형률을 산정하는데 사용될 것이다. Fig. 3은 보강보의 설치 및 가력모습을 보여준다. 철근의 변형률 측정을 위해 인장/압축철근에도 2개씩의 철근게이지를 부착하였다.

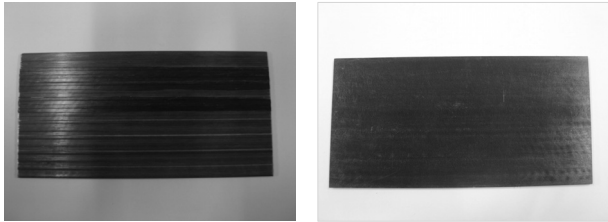
2.2 하이브리드 섬유바(HFB)로 보강한 보

2.2.1 사용재료

하이브리드 섬유바로 보강된 구조물은 구조물 보강용 탄소섬유와 유리섬유, 주입에폭시, 앵커, 콘크리트 및 철근으로 구성되며 이 보강구조물의 성능은 구성재료의 역학적 특성에 의해서 결정된다. 콘크리트, 철근 및 섬유의 역학적 특성은 섬유시트로 보강한 경우와 동일하므로 반복된 기술을 생략하였고 기타 구성재료의 특성을 아래

Table 5 Properties of HFB

인장강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	폭 (mm)	두께 (mm)
750	26.8	100	3



(a) front (b) rear

Fig. 4 Appearance of HFB

Table 6 Properties of anchor

직경(mm)	길이(mm)	재질
8	27	Stainless steel

에 설명하였다.

1) 하이브리드 섬유바(HFB)

이 연구에 사용된 하이브리드 섬유바는 탄소섬유와 유리섬유를 혼합하여 에폭시로 함침한 후, 가압 압출 성형하여 제작된 바 형태의 하이브리드 섬유복합체이다. 기존 연구(하상수 등, 2008)에서 가장 우수한 성능을 발휘하는 섬유의 중량비율(탄소섬유와 유리섬유의 비율)인 1:9로 제작되었고, Table 5는 하이브리드 섬유바의 물성치를 보여준다. 한편, Fig. 4는 하이브리드 섬유바의 모습을 나타낸다.

2) 앵커

이 연구에서 사용되는 하이브리드 섬유바를 콘크리트 구조물에 부착 및 고정시키는 역할을 하는 앵커의 직경은 8mm이고 길이는 27mm이다.

3) 주입에폭시

주입에폭시는 하이브리드 섬유바 주변을 접착제로 빈틈없이 밀봉시키고 에폭시를 주입하여 콘크리트 면과 하이브리드 섬유바 사이를 부착시키는데 사용된다.

4) 접착제

접착제는 하이브리드 섬유바 표면에 전체적으로 골고루 발라서 콘크리트 표면에 즉시 부착시켜 이 둘을 고정

Table 7 Properties of injection epoxy

인장강도 (MPa)	굽힘강도 (MPa)	압축강도 (MPa)	인장전단부착강도 (MPa)
54.4	69.2	164	12

Table 8 Properties of putty

인장강도 (MPa)	굽힘강도 (MPa)	압축강도 (MPa)	인장전단부착강도 (MPa)
47.5	52.0	101.1	12.8

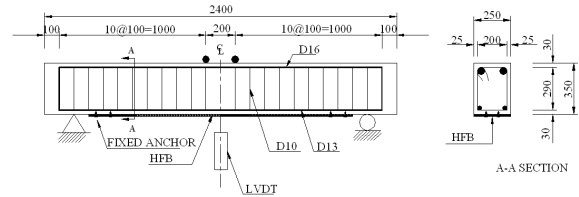


Fig. 5 Details of the specimen(unit : mm)

하는데 사용된다. 점도가 높은 마요네즈 성상의 접착제로서 하이브리드 섬유바의 뒷면에 도포한다.

2.2.2 HFB 보강된 보의 실험 과정

1) 보의 제작

하이브리드 섬유바로 보강된 보의 실험에 사용된 철근콘크리트 보의 상세는 HFC의 경우와 동일하다. 보강재의 보강량과 보강재 접착재료의 종류에 따른 보강보의 휨성능을 고찰하기 위하여 하이브리드 섬유바를 1개와 2개로 나누었으며 모든 보강보는 하이브리드 섬유바의 단부에 타정식 고정앵커를 설치하여 고정시켰는데, 섬유바가 1개인 경우와 2개인 경우, 앵커의 개수는 각각 4개와 8개였다. 또한 부착방법도 보강재와 콘크리트 면에 에폭시를 주입하여 부착시킨 보와 접착제로 부착시킨 보로 나누어 부착시켰다. 보강보의 철근배근도, 보강재 부착위치, 고정앵커 설치위치 및 단면을 Fig. 5에 나타내었으며, Table 9에는 기준보를 포함한 하이브리드 보강보를 정리하여 나타내었다.

2) 에폭시를 주입한 HFB 보강보의 제작

하이브리드 섬유바로 보강한 보중 에폭시를 이용하는 보의 제작 순서는 다음과 같다. ① 섬유보강재를 부착할 콘크리트 면을 그라인더나 사포를 사용하여 표면의 요철이나 오물을 제거하여 표면을 정리한다. ② 하이브리드 섬유바를 위치시키고 타정식 앵커를 사용하여 단부에 앵커를 타정하여 콘크리트와 하이브리드 섬유바를 고정시

Table 9 Details of the specimens reinforced with HFB

보의 이름	보 설명	하이브리드 섬유바 개수	보강재 부착방법
Control	기준보	-	-
HFB-1-E	하이브리드 섬유바 보강보	1	에폭시 주입
HFB-1-P	하이브리드 섬유바 보강보	1	접착제 부착
HFB-2-E	하이브리드 섬유바 보강보	2	에폭시 주입
HFB-2-P	하이브리드 섬유바 보강보	2	접착제 부착

킨다. ③ 양 끝단에 에폭시 주입구와 배출구를 삽입시키고 하이브리드 섬유바 외부에 접착제를 사용하여 빈틈없이 밀봉시킨다. ④ 접착제가 완전히 경화되면 주체와 경화제를 충분히 배합하고 주입 에폭시를 주입기를 사용하여 주입하고 배출구에서 에폭시가 나오면 주입구와 배출구를 막고 최소 7일간 완전 경화시킨다. ⑤ 경화가 완료되면 그라인더를 이용하여 주입구를 제거하고 마감하여 보강보를 완성한다.

3) 접착제로 부착한 HFB 보강보의 제작

하이브리드 섬유바로 보강한 보중 접착제를 이용하는 보의 제작 순서는 다음과 같다. ① 섬유보강재를 부착할 콘크리트 면을 그라인더나 사포를 사용하여 표면의 요철이나 오물을 제거하여 표면을 정리한다. ② 하이브리드 섬유바 표면에 마요네즈 성상의 접착제를 두껍게 도포한다. ③ 하이브리드 섬유바를 콘크리트 표면에 부착시키고 타정식 앵커를 사용하여 단부에 앵커를 타정하여 콘크리트와 하이브리드 섬유바를 고정시킨다. ④ 압력으로 외부로 유출된 접착제를 제거하고 최소 7일간 완전 경화시켜 보강보를 완성한다.

하이브리드 섬유바를 이용하는 경우에 대한 하중재하 및 실험방법은 HFC로 보강한 경우와 동일하여 반복된 언급을 생략하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 하이브리드 섬유시트(HFC)로 보강한 보

철근콘크리트 구조물의 인장축에 보강된 하이브리드 섬유시트는 구조물의 부족한 내하력을 증가시켜 안정성을 확보하고, 과도한 처짐 및 균열을 억제시켜 사용성을

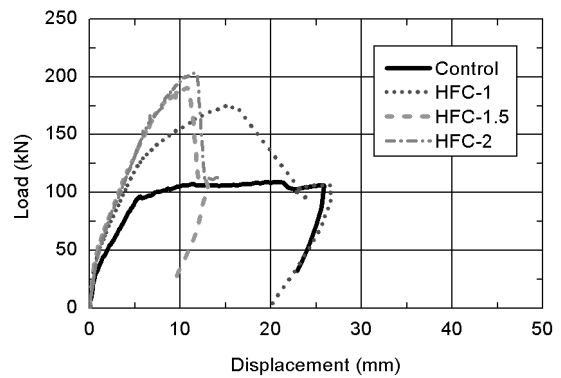


Fig. 6 Load-displacement curves(HFC)

증가시킨다. 본 연구에서 얻은 자료와 분석결과는 다음과 같다.

- 보강재로 사용된 하이브리드 섬유시트의 부착접수에 따른 보의 하중-변위곡선
- 보강재로 사용된 하이브리드 섬유시트의 부착접수에 따른 보의 항복하중과 최대하중 및 해당 변위
- 보강재로 사용된 하이브리드 섬유시트의 부착접수에 따른 보의 파괴형태

하이브리드 섬유시트로 보강된 보는 무보강보에 비해 보강접수에 따라 59~86% 높은 보강효과를 보였으며, 특히 섬유시트가 1겹 보강된 보의 무보강보보다 59%정도로 보강효과가 높았고 1.5겹과 2겹은 74와 86%의 보강효과로 많은 차이를 보이지 않아 보강효과가 비슷한 것으로 나타났다. 1겹과 2겹의 보강효과는 2겹 보강이 27% 높은 것으로 나타났다(Fig. 6).

Table 10에는 각 보의 항복 및 극한상태에서의 하중과 변위를 나타내었다. 이 표에서 “*”는 하이브리드 보강제의 콘크리트 면에 대한 부착이 완벽하지 않아 부착파괴가 먼저 일어났으며 보강재가 파괴되는 극한파괴에는 도달하지 않아 해당 값을 구하지 못했음을 나타내고 있다. 따라서 섬유시트의 단부 탈락방지를 위한 방안이 필요하다고 판단되었다. 한편, Fig. 7은 각 보의 파괴 후 균열양상을 보여주고 있다. 기준보와 비교하여 보강접수가 증가할수록 균열이 더 분산됨을 확인할 수 있었다.

3.2 하이브리드 섬유바(HFB)로 보강한 보

철근콘크리트 구조물의 인장축에 보강된 하이브리드 섬유

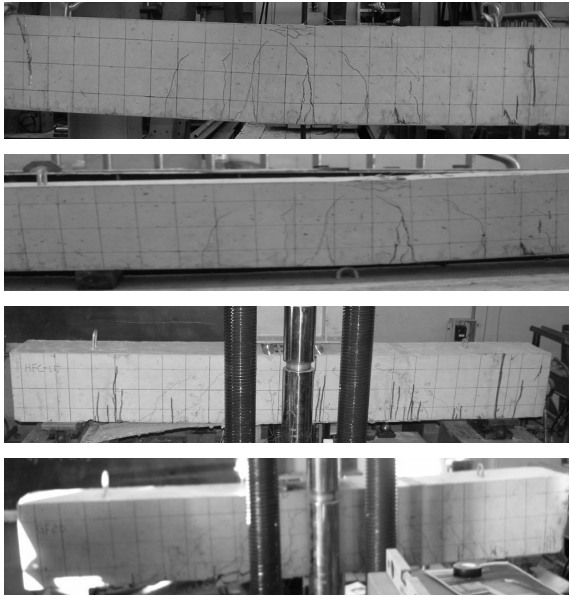


Fig. 7 Failure patterns(HFC)

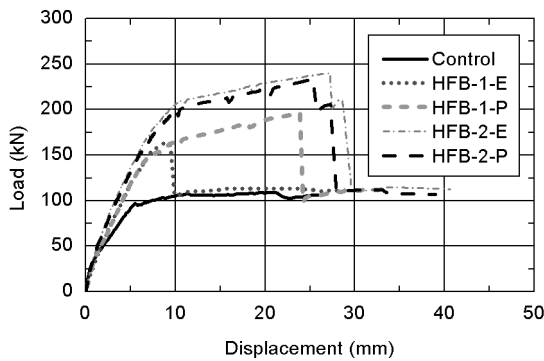


Fig. 8 Load-displacement curves(HFB)

유바는 구조물의 부족한 내하력을 증가시켜 안정성을 확보하고, 과도한 처짐 및 균열을 억제시켜 사용성을 증가시킨다. 본 연구에서 얻은 자료와 분석결과는 다음과 같다.

- 보강재로 사용된 하이브리드 섬유바의 양과 부착방법에 따른 보의 하중-변위곡선
- 보강재로 사용된 하이브리드 섬유바의 양과 부착방법에 따른 보의 항복하중과 최대하중 및 해당 변위
- 보강재로 사용된 하이브리드 섬유바의 양과 부착방법에 따른 보의 파괴형태

하이브리드 섬유바로 보강된 보는 무보강보에 비해 약 2배 이상의 높은 보강효과를 보였으며, 특히 섬유바 2개로 보강한 보는 1개로 보강한 보에 비교하여 보강효과가 27~39%정도 더 높은 것으로 나타났다(Fig. 8). 그리고

Table 10 Test results and evaluation (HFC)

보의 이름	항복점		극한상태	
	하중(kN)	변위(mm)	하중(kN)	변위(mm)
Control	97	5.54	109	21.12
HFC-1	132	6.05	*	*
HFC-1.5	182.5	9.03	*	*
HFC-2	200.5	10.77	*	*

Table 11 Test results and evaluation(HFB)

보의 이름	항복점		극한상태	
	하중(kN)	변위(mm)	하중(kN)	변위(mm)
Control	97	5.54	109	21.12
HFB-1-E	164.5	9.06	*	*
HFB-1-P	142.5	6.5	196	23.91
HFB-2-E	209	10.54	240	27.21
HFB-2-P	197.5	10.18	233	25.4

보강된 보는 항복점 이후 연성적인 거동을 보이며 파괴되는 이상적인 파괴모습을 보여주었다. 하이브리드 섬유바를 에폭시 주입과 접착제로 부착한 보강보는 비슷한 파괴거동을 보여줌으로써 부착방식에 따른 차이가 거의 없는 것으로 나타났으며, 하중 변화에 따른 변위를 조사한 결과, 하이브리드 섬유바로 보강된 보가 무보강보에 비해서 약 2배 정도 변위가 큼을 알 수 있었다(Table 11). Table 11에서 “*”는 하이브리드 보강재의 콘크리트 면에 대한 부착이 완벽하지 않아 부착파괴가 먼저 일어났으며 보강재가 파괴되어 극한파괴에 도달하지 않아 해당 값을 구하지 못했음을 나타내고 있다. 한편, Fig. 9는 각 보의 파괴 후 균열양상을 보여주고 있는데, 기준보와 비교하여 보강 접수가 증가할수록 균열이 더 분산됨을 확인할 수 있다.

Fig. 10과 11은 HFC와 HFB에서의 보강 접수가 같을 때의 하중-변위곡선들을 나타내고 있다. 하이브리드 섬유시트와 섬유바를 1겹과 2겹으로 보강된 보로 나누어 각각의 경우를 비교한 결과 항복점까지의 거동이 비슷한 모습을 보여준다(Fig. 10, 11). 이는 두 보강재의 보강섬유량 및 단면적이 거의 비슷하기 때문이다. 그러나 섬유시트의 경우 보강재의 탈락으로 인한 부착파괴가 발생하여 보가 조기 파괴되어 섬유바와 같은 연성적인 파괴모습은 보여주지 못하였다.

3.3 균열직후의 하중에 대한 비교

본 장에서는 참고문헌 9(El-Mihimy and Tedesco,

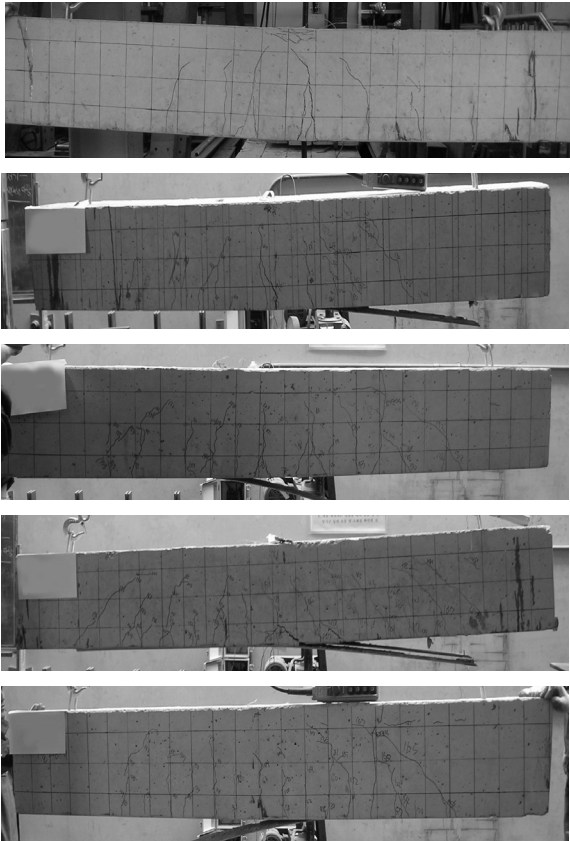


Fig. 9 Failure patterns(HFB)

Table 12 Comparison of failure loads

보의 이름	보강겹수	항복하중 (kN)	극한하중 (kN)	ACI 균열직후 하중 (kN)
HFC-1	1	132	*	142.95
HFB-1-E	1	164.5	*	
HFB-1-P	1	142.5	196	
HFC-2	2	200.5	*	195.6
HFB-2-E	2	209	240	
HFB-2-P	2	197.5	233	

2000)에 따른 균열직후의 하중과 본 논문에서 구한 항복 하중 및 극한하중과 비교를 실시하였다. 여기서, 균열직후 하중은, 본 논문의 항복하중과 유사함을 확인할 수 있다.

4. 결론

하이브리드 섬유보강재(시트, 바)로 보강한 보는 무보강보에 비해 약 60~200% 이상의 높은 보강효과를 보여주었다. 또한 인장철근의 항복이후 변위는 증가하지만 하중은 감소하지 않다가 최종 파괴되는 연성적인 거동을 보여줘 기존 단섬유 보강재의 취성적인 파괴보다 안정적인

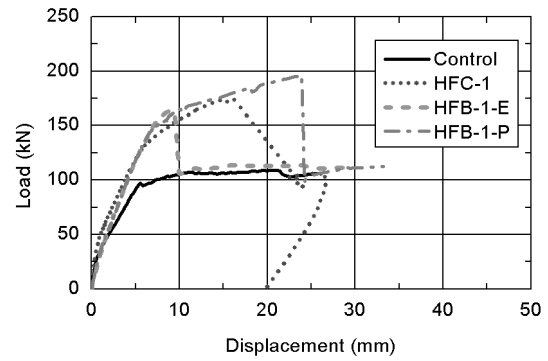


Fig. 10 Load-displacement curves(1 ply)

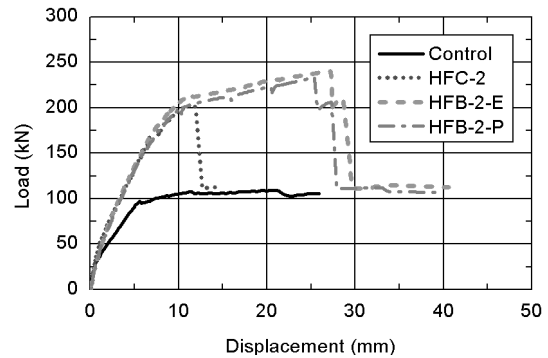


Fig. 11 Load-displacement curves(2 plies)

파괴형태를 보여주었다. 이로부터 하이브리드 섬유보강재가 높은 보강효과와 안정적인 연성파괴를 보여줘 우수한 성능을 가지고 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 하이브리드 섬유시트의 경우 섬유시트와 콘크리트의 부착에서 탈락하는 모습을 보여줘 시트의 부착 시 단부를 더 보강해줘야 할 것으로 생각된다.

- 1) 하이브리드 섬유시트로 보강된 보는 무보강보에 비해 보강겹수에 따라 59~86%의 높은 보강효과를 보였으며, 특히 섬유시트 1겹 보강된 보는 무보강보다 59%정도로 보강효과가 높았고 1.5겹과 2겹은 74와 86%의 보강효과로 많은 차이를 보이지 않아 보강효과가 비슷한 것으로 나타났다. 1겹과 2겹의 보강효과는 2겹 보강이 27% 높은 것으로 나타났다. 그러나 하이브리드 섬유시트와 콘크리트 사이에 부착파괴가 일어나는 문제점이 발생하였다. 따라서 섬유시트의 단부 탈락방지를 위한 방안이 필요하다.
- 2) 하이브리드 섬유바로 보강된 보는 무보강보에 비해 약 2배 이상의 높은 보강효과를 보였으며, 특히 섬유바 2개로 보강한 보는 1개로 보강한 보에 비교하

여 보강효과가 27~39%정도 더 높은 것으로 나타났다. 그리고 보강된 보는 항복점 이후 연성적인 거동을 보이며 파괴되는 이상적인 파괴모습을 보여주었다. 하이브리드 섬유바를 에폭시 주입과 접착제로 부착한 보강보는 비슷한 파괴거동을 보여줌으로써 부착방식에 따른 차이가 거의 없는 것으로 나타났으며, 하이브리드 섬유바로 보강된 보가 무보강보에 비해서 약 2배 정도 변위가 크을 알 수 있다.

3) 하이브리드 섬유시트와 섬유바를 1겹과 2겹으로 보강된 보로 나누어 각각의 경우를 비교한 결과 두 보강재의 보강섬유량 및 단면적이 거의 비슷하므로 항복점까지의 거동이 비슷한 모습을 보여준다. 그러나 섬유시트의 경우 보강재의 탈락으로 인한 부착파괴가 발생하여 조기 파괴되어 섬유바와 같은 연성적인 파괴모습은 보여주지 못했다.

감사의 글

이 논문은 2009학년도 인하공업전문대학 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. 양인환, 조창빈, 강수태, 김병석, "강섬유로 보강된 초고성능 콘크리트의 휨 거동에 대한 실험 연구", 콘크리트학회 논문집, Vol. 21, No. 6, 2009, pp.737~744.

2. 오병환, 조재열, 강동욱, "강관 휨보강된 철근콘크리트보의 구조적 거동", 콘크리트학회 논문집, Vol. 9, No. 5, 1997, pp. 233~244.

3. 오홍섭, 심중성, 이차돈, 최완철, 홍기섭, 신영수, "단면증설된 R/C보의 보수·보강 효과 연구", 한국콘크리트학회 1996년도 가을 학술발표회 논문집, Vol. 8 No. 2, 1996, pp.416~424.

4. 장준환, 김성도, 조백순, 정진환, "유리섬유-강관 복합재료(GSP)로 보강된 RC 보의 전단거동에 관한 실험적 연구", 한국구조물진단학회 논문집, Vol.11, No.1, 2007, pp.130~140.

5. 한만엽, 신재우, 강태현, 진경석, 강상훈, "외부강선을 이용한 연속교 보강공법의 실험적 연구", 한국콘크리트학회 2006년도 가을 학술발표회 논문집, Vol. 18 No. 2, 2006, pp.117~120.

6. 하상수, 최동욱, 이진용, 김길희, "유사연성 하이브리드 FRP 시트를 이용한 RC 보의 휨 강도", 한국콘크리트학회지 Vol.20, No.2, 2008, pp.239~247.

7. 황진석, "탄소섬유시트 보강 보의 실험 및 해석적 연구", 한국구조물진단학회 논문집, Vol.2, No.4, 1998, pp.177~185.

8. 황현복, 이정윤, "FRP로 보강된 철근콘크리트 보의 유효 변형률 예측에 대한 실험적 연구", 콘크리트학회 논문집, Vol. 19 No. 2, 2007, pp.145~151.

9. El-Mihilmy, M. T. and Tedesco, J. W., "Deflection of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Plates", ACI Structural Journal, V. 97, No. 5, 2000, pp.679~688.

10. Manders, P. W. and Bader, M. G., "The Strength of Hybrid Glass/Carbon Fibre Composites: Part 1-Failure Strain Enhancement and Failure Mode", Journal of Materials Science, Vol. 16, No. 10, 1981, pp.2233~2245.

11. Philips, L. N., "The Hybrid Effect-Does it Exist", Composites, Vol. 7, No. 1, 1976, pp.7~8.

(접수일자 : 2010년 3월 18일)
(심사완료일자 : 2010년 4월 15일)

요 지

이 연구에서는 콘크리트 구조물의 섬유보강재인 하이브리드 섬유시트(HFC)와 하이브리드 섬유바(HFB)의 성능을 평가하였다. 실험결과에 의하면, 하이브리드 섬유보강재(시트, 바)로 보강된 보는 무보강보에 비해 약 60%~2배 이상의 높은 보강효과를 보였고 보강된 보는 항복점 이후 연성적인 거동을 보이며 파괴되는 이상적인 파괴모습을 보여주었다. 특히, 하이브리드 섬유바 보강의 경우 하이브리드 섬유바를 에폭시 주입과 접착제로 부착한 보강보는 비슷한 파괴거동을 보여줌으로써 부착방식에 따른 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.

핵심 용어 : 하이브리드 섬유보강재, HFC, HFB, 휨거동, 철근콘크리트 보