

Hybrid FRP(Fiber Reinforced Polymer)로 보강된 철근 콘크리트 보의 휨거동에 관한 연구

Flexural Behavior of R.C Beams Retrofitted with Hybrid FRP(Fiber Reinforced Polymer)

박 은 정* 신 영 수**
Park, Eun Jung Shin, Yeong Soo

ABSTRACT

This study discusses the flexural performance of rehabilitated composite sections, consisting originally of R/C beams and subsequently strengthened by, Hybrid Fiber Reinforced Polymers(FRPs) and adhesives. Experimentations were performed with 8 specimens to compare the rehabilitated effect of the length of FRPs, 2plies of FRPs, and 3plies of FRPs.

The results show that the increase of the FRP strengthening length is effective on the flexural capacity and strength. Also, R.C beams retrofitted with hybrid FRPs are more effective on the increase of flexural capacity, strength, stiffness, and ductility than with a single kind of FRPs.

Keyword : Hybrid FRP, Carbon Fiber, Glass Fiber, strength, stiffness, ductility

1. 서론

철근 콘크리트 구조체는 시간이 경과함에 따라 시공중의 설계변경 및 시공불량, 구조물의 완공 후의 용도변경에 따른 하중증가, 구조물 지역의 환경변화, 시간의 경과에 따른 재료특성의 변화 등 설계에서 예측하지 못했던 여러 가지 변화를 받게 된다. 특히, 균열발생 및 시간경과에 따른 콘크리트의 노후화로 인한 성능저하가 발생한다. 구조물에 발생하는 구조성능의 변화 및 노후화에 대처하고 RC구조물의 안전성 확보 및 내용년수를 늘리기 위해 보수·보강 작업을 하게 된다. 다양한 보강공법 중 단일 탄소섬유나 유리섬유를 이용한 섬유 보강재 접착 공법에 대해서는 많은 연구가 진행되어 왔다. 그러나, 주로 사용되는 탄소섬유나 유리섬유는 각각 다른 특성을 가지고 있다. 즉, 탄소섬유는 고강도, 고탄성 재료로 두께가 매우 얇은 재료로 적용성이 우수한 반면, 화재에는 특히 약한 면을 보여준다. 유리섬유는 탄소섬유에 비해 저강도, 저탄성의 특성을 가지고 있고, 화재에 강한 면을 보여주는 재료로 내화성능을 가진 유리섬유 접착공법이 소개되고 있다. 이러한 보강 섬유재료의 특성을 이용하여 시공할 경우 적절한 보강효과가 유지되면서 화재에도 강하고 경제적인 보강공법이 개발될 수 있다.

본 연구에서는 탄소섬유와 유리섬유를 함께 보에 적용하여 이질 섬유재료 보를 보강함으로써 구조적 거동에 미치는 영향을 파악하고자 한다. 이를 위해 탄소섬유와 유리섬유의 접착 순서에 따른 구조적 거동을 단일섬유재료로 보강한 구조적 거동과 비교함으로써 적용성을 평가하고자 한다.

* 정회원, 이화여자대학교 건축학과 석사과정

** 정회원, 이화여자대학교 건축학과 교수

2. 실험 개요

시험체는 건설부 기준인 “극한강도설계법에 의한 철근콘크리트 구조설계 기준”에 의하여 설계하였다. 철근콘크리트 보는 단면치수 15cm × 25cm, 유효충(d=21cm), 철근량은 최대철근비($\rho_{max} = 0.75 \rho_b = 0.01466$)을 기준으로 압축철근 2-D10, 인장철근 2-D13, 길이 2.4m, 순지간길이 2.1m인 장방형 복근보로 제작하였으며, 시험체의 전단파괴를 방지하기 위하여 전단보강은 D10 철근을 10cm 간격으로 하였다. 시험체의 형상은 그림 1과 같다. 본 연구에서 가력 방법은 단순보 상태에서 4점 재하로 가력하였다. 부재의 거동을 평가하기 위하여 시험체의 중앙 및 4분점에 LVDT를 설치하여 수직 처짐을 측정하였으며, 부재 내부의 철근의 변형률은 전기식 변형률 gage를 그림 1과 같이 부착하여 측정하였다. 실제 실험에서의 가력 장치도는 그림 2와 같다.

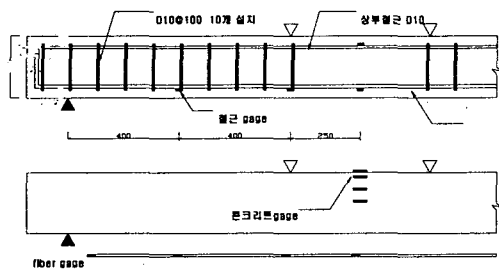


그림 1 시험체와 변형률 측정 위치

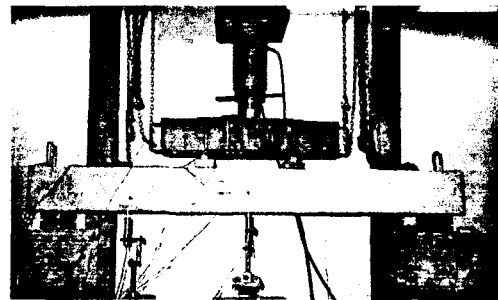


그림 2. 실제 가력 장치도

보 시험체는 섬유 종류와 조합, 보강길이 등을 고려하여 기본 시험체를 포함, 표 1과 같이 총 8개로 구성하였으며, 시험체별 변수는 2점의 FRP에서의 섬유조합 변화, 3점의 FRP에서의 섬유조합 변화 등으로 볼 수 있다. 또, 표 2에서 실제 실험한 콘크리트 및 철근의 강도를 나타내었다. 보강재료의 성능은 실제 공사에서의 과정과 동일하게 접착용 에폭시를 함침시켜 판상으로 제작하여 실험하였다. 보강 재료의 재료적 성능은 표 3과 같다.

표 1. 시험체 개요

구분	시험체치수 (cm)	배근			Mn	보강 매수
		인장 철근	압축 철근	스터립		
CONTR	15×25×240	2-D13	2-D10	D10@100	1.8	0
CC	15×25×240	2-D13	2-D10	D10@100	3.1	2
GG	15×25×240	2-D13	2-D10	D10@100	2.5	2
CG	15×25×240	2-D13	2-D10	D10@100	2.8	2
GC	15×25×240	2-D13	2-D10	D10@100	2.8	2
CCG	15×25×240	2-D13	2-D10	D10@100	4.3	3
GCG	15×25×240	2-D13	2-D10	D10@100	3.6	3
GCC	15×25×240	2-D13	2-D10	D10@100	4.3	3
비 고	C : Carbon fiber (탄소섬유), G : Glass fiber (유리섬유)					

표 2 콘크리트/철근 재료강도

재료	종류	강도 kgf/cm ²
콘크리트	압축	325.8
	할렬인장	21.9
철근	인장	D10 4523
		D13 5240

표 3 섬유 보강재의 재료적* 성능

시험항목	단위	탄소섬유	유리섬유
탄성계수	kgf/cm ²	2.35×10 ⁶	7.2×10 ⁶
강도	kgf/cm ²	8679.24	6612.99
강도	kgf/cm	512.03	569.3
두께	cm	0.059	0.086
파단 신율	%	2.0	3.0

3. 실험결과 및 분석

3.1. 하중-처짐의 관계

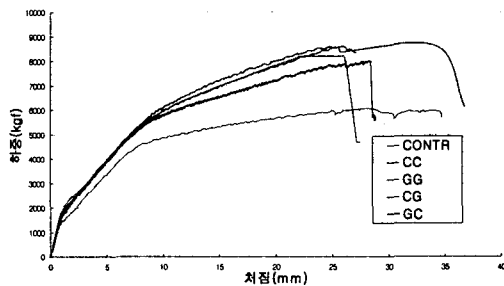


그림 3. 하중-처짐 곡선 (2점)

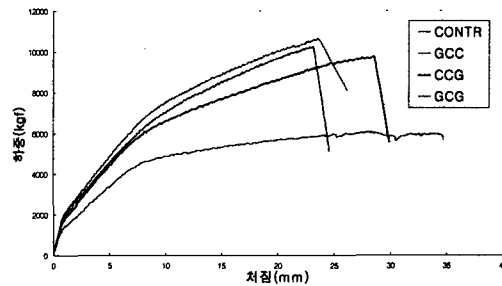


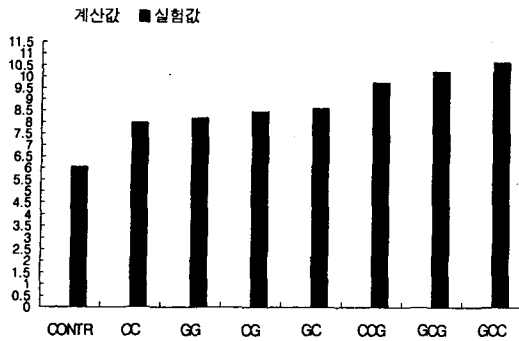
그림 4. 하중-처짐 곡선 (3점)

섬유 보강 매수의 차이에 따른 시험체의 거동과 기준 시험체와의 비교를 위한 하중-처짐 Graph는 그림 3과 그림 4에 나타내었다. 모든 시험체는 섬유 보강재가 2점, 3점인 것과 무관하게 기준 시험체 이상의 항복점과 최대 내력을 발휘하였으며, 2점 보강인 경우에, CG와 GC가 거의 유사하게 각각 5.73tonf, 5.72tonf의 항복 하중과 8.61tonf의 최대내력으로 기준 시험체 뿐만 아니라 CC, GG의 단일 섬유 보강재의 조합일 때보다 큰 항복하중과 최대 내력을 나타내었다. 이 때, CG와 GC의 최대 내력은 같은 값으로 강도 증진에는 두 가지의 섬유 조합이 같은 효과를 나타내었으나, GC로 보강된 경우의 보가 보다 연성적인 거동을 하였다.

3점 보강 시에는 강도 면에서는 GCC로 보강된 보가 6.5tonf의 항복하중과 10.63tonf의 최대 내력을 발휘하였으며, 반면, CCG로 보강된 보가 최대내력은 9.76tonf로 GCC로 보강된 보보다 다소 낮지만, 가장 연성적인 거동을 하였다.

3.2. 시험체의 실제 내력검토

그림 5에서는 시험체에 대한 실험 결과에서 최대 내력에 대한 결과값을 이론값과 비교한 것을 도표와 표로 나타내었다. 이 때, 대체적으로 실험값이 계산값과 5%이내의 편차 속에 분포하였다. 2점으로 보강한 경우, 단일 섬유로 보강한 CC와 GG 시험체가 계산값보다 다소 작은 값을 나타낸 데 비해, GC와 CG로 보강한 보는 계산값보다 큰 값으로, 계산값과 1%이내의 오차 범위에 드는 결과를 보여줌으로써 거의 유사한 결과를 나타내었다. 3점으로 보강한 경우에도, 모두 계산값과 오차 5%이내에 드는 편차를 보였으며, 특히 GCC로 보강한 보의 경우는 계산값과 거의 유사하면서 계산값보다 더 큰 내력을 보였다.



(a) 도표

	계산값	실험값	실험값/계산값
CONTR	4.54	6.06	1.335
CC	8.63	7.98	0.925
GG	10.32	8.19	0.794
CG	8.54	8.61	1.008
GC	8.54	8.61	1.008
CCG	10.2	9.76	0.957
GCG	10.92	10.26	0.94
GCC	10.2	10.63	1.042

(b) 표

그림 5. 계산값과 실험값의 비교

3.3. 보의 길이에 따른 FRP의 변형률 분석

그림 6은 보의 길이에 따라 2겹의 FRP의 변형률을 분석한 것인데, 기준 시험체의 파괴 하중인 6.06tonf를 4등분한 1.5tonf단위로 나누어서, 그리고 파괴하중이 가장 낮은 CC보의 파괴 하중에 관하여 분석하였다. 그림 6의 (a), (b), (c), (d), (e)에서 살펴보면, 단부에서 중앙으로 갈수록 변형률이 커졌으며, 중앙부를 지나 단부로 갈수록 변형률이 다시 줄어들었다. 가장 큰 최대내력을 발휘하였던 GC로 보강된 보의 변형률이 대체적으로 중앙부에서 가장 작은 값을 나타내며 안정적인 값으로 분포함을 알 수 있었다. 즉, GC로 보강된 보가 Hybrid FRP 중에서 강도 증진에서는 거의 비슷한 경향을 보였던 CG와 비교하였을 때, 강성 증진의 측면에서는 보다 효과적이었다.

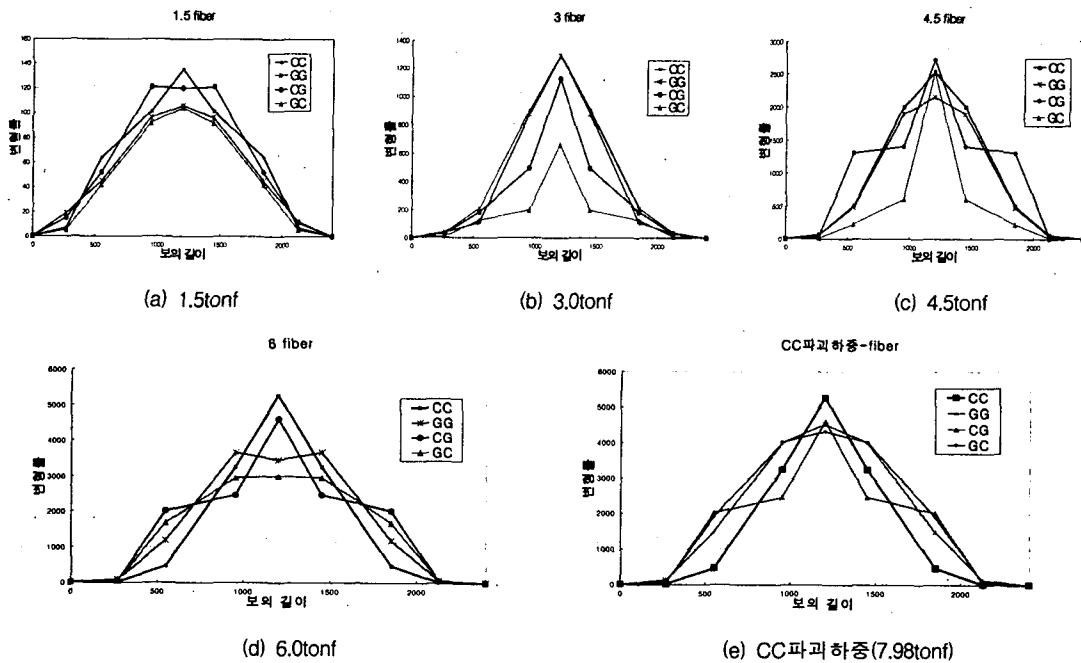


그림 6. 보 길이에 따른 2겹 보강섬유의 변형률

그림 7은 보의 길이에 따라 3점의 FRP의 변형률을 분석한 것인데, 역시 기준 시험체의 파괴 하중인 6.06tonf를 1.5tonf단위로 나누어서, 그리고 파괴하중이 가장 낮은 CCG보의 파괴 하중에 관하여 분석하였다. 그림 7의 (a), (b), (c), (d), (e)에서 살펴보면, 단부에서 중앙으로 갈수록 시험체 간의 변형률의 차이와 한 시험체 내의 변형률이 커졌으며, 중앙부를 지나 단부로 가면서 다시 줄어들었다. 가장 큰 최대내력을 발휘하였던 GCC섬유의 조합이 대체적으로 중앙부에서 가장 작은 값을 나타내며 안정적인 변형률값으로 분포하여, 보의 강성증진에 있어 가장 효과적이었으며, 하중-처짐 곡선으로부터 연성적인 거동임을 알 수 있었던 CCG로 보강된 보의 경우 가장 많은 변형률을 발생 시킴으로 강성증진에는 그다지 효과적이지 않았다.

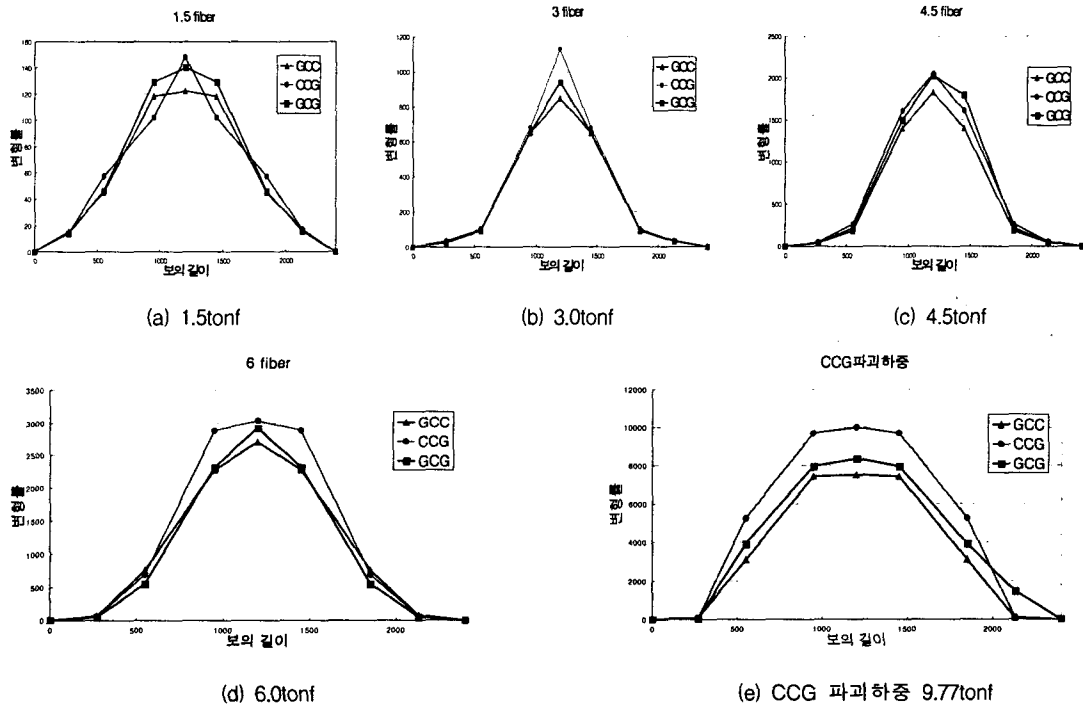


그림 7. 보 길이에 따른 3점 보강섬유의 변형률

4. 결론

본 연구로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 2점의 FRP 이질적인 재료 GC와 CG로 보강된 보가 단일재료 GG, CC로 보강된 보와 비교하였을 때, 강도가 증진되었을 뿐 아니라, GG, CC의 경우보다 훨씬 연성적인 거동을 하였다. 또, 2점의 조합 중에서는 GC로 보강된 보가 가장 연성적인 거동을 하며 이 때 강성 또한 증진될 수 있었다.
- (2) 3점의 조합에서 GCC로 보강된 보가 강도와 강성 증진에 가장 효과적이었으며, CCG로 보강된 보의 강도 증진 면에서는 그 효과가 GCC보다 조금 떨어지지만, 가장 연성적인 거동을 보였다.
- (3) 단일 섬유 조합에 비해 이질적인 섬유의 조합이 강도, 강성 증진의 측면에서, 그리고 최대

내력의 비교 결과, 보다 보강 효과가 우수함을 알 수 있었으며, 보강 순서에 있어서는, 유리 섬유를 시험체에 먼저 붙인 경우가 탄소섬유를 먼저 붙인 경우보다 보강 효과가 우수하였다.

5. 참고문헌

1. Laura De Lorenzis, Brian Miller & Antonio Nanni, "Bond of Fiber-Reinforced Polymer Laminates to Concrete", ACI Materials Journal, May-June 2001.
2. Kin-tak Lau, Libo Yuan, Li-min Zhou & Jingshen Wu, Chung-ho Woo, "Strain monitoring in FRP laminates and concrete beams using FBG sensors", Composite Structures 51(2001), 9-20
3. E.Andreou, R.Delpak & DB Tann, "Strengthening of R/C Beams with Different FRPs" University of Glamorgan, UK. Structural Faults & Repair conference, 2001
4. Sarah E. Mouring & Oscar Barton, Naval Academy, D.Kevin Simmons, "External Retrofit of R/C Beams using Carbon Fiber Reinforced Polymer Laminates", Stanford Univ, USA. Structural Faults & Repair conference, 2001
5. 김지현, "탄소섬유시트로 보강된 철근 콘크리트보의 휨보강에 관한 해석적 연구" 한양대학교 대학원 석사학위 논문, 1999
6. 이수진, "FRP로 외부 보강된 철근 콘크리트 보의 보강 변수에 관한 연구" 이화여자대학교 대학원 석사학위 논문, 2001.