

탄소섬유복합체로 보강된 RC부재의 보강재 강성에 따른 휨 보강성능

Flexural Performance of RC Beams Strengthened with Different Amount of CFRP Composite

유 영 찬* 최 기 선** 김 금 환***
You, Young Chan Choi, Ki Sun Kim, Keung Hwan

ABSTRACT

It is generally reported that most of RC beams strengthened with simply bonded FRP composite is failed by FRP debonding. Also, the flexural performance of RC member strengthened with FRP composite can be calculated using the effective strain of FRP. The effective strain as a result of the debonding failure depends on many variables, such as FRP stiffness including the thickness(t_f) and modulus of elasticity(E_f), the amount of FRP but the FRP stiffness is reportedly the most influential. The purpose of this paper, therefore, is to examine effects of FRP stiffness on the flexural strengthening of RC beams. 4 different stiffness of CFRP composite including CFRP sheet and laminae were selected.

From the tests, it was found that the flexural performance of RC beams strengthened with CFRP composite can be calculated based on the effective strain of the CFRP composite and the effective strain is inversely proportional to the CFRP stiffness.

1. 서 론

구조물의 성능향상을 목적으로 적용되는 FRP보강공법은 가장 보편적으로 사용되는 단순 부착식 공법뿐만 아니라 매립공법, 비부착 프리스트레싱 보강공법 등 거의 모든 경우에서 기존부재와의 일체화를 이루기 위해 직·간접적으로 에폭시 수지를 이용한 접착 방식을 채택하고 있다. 이에 따라 필연적으로 신·구 부재 사이에서 발생하는 부착성능에 대한 문제가 야기되며, 이를 해결하기 위한 실험적·이론적 연구가 다양하게 진행되어져왔다.

한편 FRP보강공법에 대한 수요가 증가하면서 각국에서 FRP보강공법에 대한 설계지침이 전문학회를 중심으로 제정되고 있다. 그러나 현행 설계지침에서도 FRP복합체의 부착파괴를 고려한 설계식은 대체로 보수적인 설계제한치를 제시하고 있을 뿐이며, 일부 지침¹⁾에서 보강재 강성을 변수로 하는 관계식을 제시하고 있지만 실제 거동과는 상당한 차이가 발생하는 것으로 보고되고 있다²⁾. 본 연구에서는 FRP복합체의 박리파괴 시의 응력조건을 규명하기 위한 연구의 일환으로 탄소섬유복합체를 대상으로 실험적 검증을 실시하고 합리적인 평가에 의해 부착파괴를 고려한 적정 유효변형률을 산정하였으

* 정희원, 한국건설기술연구원 건축·도시연구부 수석연구원, 공학박사

** 정희원, 한국건설기술연구원, 건축·도시연구부 연구원

*** 정희원, 한국건설기술연구원, 건축·도시연구부 연구위원, 공학박사

며, FRP복합체의 휨 보강설계를 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

2. 연구내용 및 방법

단순 접착에 의해 보강된 부재는 일반적으로 FRP 복합체의 박리파괴가 지배적인 것으로 보고되고 있으며, 이때 FRP 복합체의 휨 보강성능은 박리 파괴시의 유효변형률로 계산되어질 수 있다. 기존 연구결과에 의하면 박리파괴에 의한 FRP 복합체의 유효변형률은 다양한 변수에 영향을 받으나, 보강재의 강성에 의한 영향이 가장 큰 것으로 보고되고 있다. 이때 보강재의 강성을 결정하는 요인은 보강재의 두께(t_f), 보강매수(n), 탄성계수(E_f)로 구성되며, 보강재 종류에 따라서 두께와 탄성계수가 다르게 제작되고 있다. 따라서 본 연구에서는 각기 다른 보강재 두께와 탄성계수를 갖는 탄소섬유복합체를 대상으로 보강매수를 증가시켜 다양한 보강재 강성에 따른 유효변형률의 변화를 분석하고자 하였다.

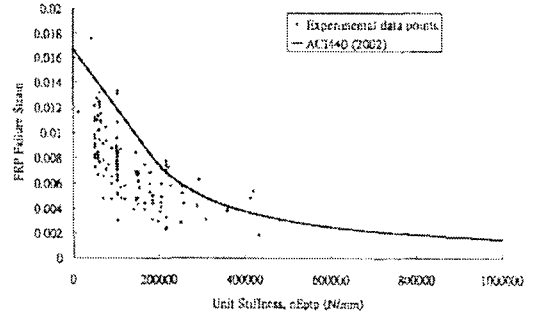


그림 1 보강재 강성에 따른 유효변형률 Christopher²⁾

3. 실험

실험체 제작에는 설계압축강도 30MPa의 레미콘을 사용하였으며, 인장, 압축 및 전단철근은 항복강도가 400MPa인 D10, D13 철근을 사용하였다. 보강재는 1방향 탄소섬유쉬트와 탄소섬유판을 사용하였으며, 동일회사의 함침용 에폭시 수지를 이용하여 보강하였다. 실험체의 단면치수는 200×300mm로 인장축과 압축축 피복두께를 30mm로 하였으며, 지점간 거리 3,000mm, 전체 실험체 길이는 3,400mm로 계획하였다. 압축철근은 2-D10, 인장철근은 3-D13으로 배근하였다. 또한, 전단 보강근은 휨 파괴를 유도하기 위하여 D10 철근을 100mm 간격으로 배근하였다. 실험체는 무보강 실험체를 포함하여 총 5개를 제작하였다. 탄소섬유쉬트 보강실험체는 1~3매를 적층시공하여 보강재 강성에 대한 영향을 평가하였으며, 탄소섬유판은 현업에서 상용화되고 있는 두께 1.2mm 제품을 대상으로 하며, 사전양생형으로 생산되기 때문에 적층시공하지 않고 보 폭 방향으로 병렬 부착하였다. 대표적인 실험체의 형상 및 치수를 나타내면 그림 1과 같다.

4. 실험결과

4.1 파괴유형

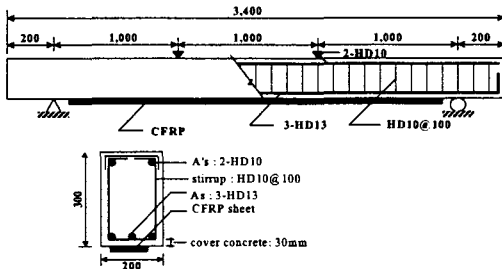


그림 2 실험체 형상 및 치수

표 1 실험체 상세 제원

실험체명	FRP 종류	n (ply)	t_f (mm)	b_f (mm)	l_f (mm)	비고
SCON-L	-	-	-	-	-	기준실험체
SFCL1-L	CFRP sheet	1	0.111	150	2,850	쉬트적층1매
SFCL2-L		2				쉬트적층2매
SFCL3-L		3				쉬트적층3매
SFCP1-L	CFRP plate	1	1.2	50	-	판1매
SFCP2-L		1		100		판2매폭방향

보강재 강성에 따른 대표적인 파괴양상을 나타내면 그림 3 및 그림 4와 같다. 탄소섬유쉬트 1매를 보강한 실험체는 중앙부에서 탄소섬유쉬트의 파단에 의해 최종파괴가 발생한 반면, 탄소섬유쉬트로 2매 이상 보강한 실험체에서는 모두 탄소섬유복합체의 박리파괴에 의해 최종파괴되었다. 박리파괴 양상은 철근항복 후 중앙부 순수 휨구간과 전단스팬 내 가력점 부위에서 박리가 발생하였으며, 가력점 부위의 박리가 단부로 진행되면서 최종파괴되었다. 특히 보강재의 강성이 작은 쉬트형의 탄소섬유복합체는 박리발생 후 단부로 진행되는 상황이 육안으로 관찰할 수 있을 정도로 서서히 진행되는 반면, 보강재 강성이 큰 플레이트형은 가력점 부위에서 FRP 복합체의 초기 박리발생 후 단부로 급격히 진행되면서 파괴되었다.

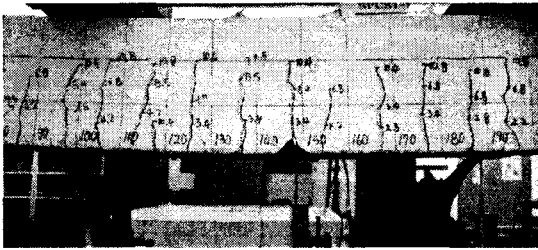


그림 3 탄소섬유쉬트 1매 실험체의 FRP 파단파괴



그림 4 탄소섬유판 2매 실험체의 FRP 박리파괴

4.2 하중-변위 관계

탄소섬유쉬트 및 탄소섬유판의 보강재 강성을 변수로 실험한 결과를 분석하여 나타내면 그림 5~그림 6과 같다. 실험결과로부터 보강재 강성이 증가할수록 항복하중 및 최대하중은 증가하는 것으로 나타났으나 P_f 로 표현되는 탄소섬유복합체의 보강성능은 보강재 종류에 따라 상이하게 나타났다. 즉, 탄소섬유쉬트로 보강된 실험체는 보강매수에 따라 보강성능이 비례적으로 증가하지 않는 것으로 나타난 반면 탄소섬유판으로 보강된 실험체는 그림 6에서 나타난 바와 같이 탄소섬유판 1매 보강과 2매 보강의 휨 보강성능(P_f)이 비례적으로 증가한 것으로 나타났다. 이러한 현상은 두께와 탄성계수의 곱으로 표현되는 보강재 강성($n_f \cdot t_f \cdot E_f$)이 탄소섬유쉬트의 경우 적층보강에 따라 보강매수가 증가할수록 강성이 증가하는데 비해 탄소섬유판은 병렬 보강에 의해 2매 보강의 경우도 보강재의 강성은 1매와 동일하므로 1매당 보강효과는 동일한 것으로 나타났다. 따라서 본 실험결과에 의하면 탄소섬유복합체의 보강성능은 보강재 강성과 직접적인 상관관계가 있는 것으로 판단된다.

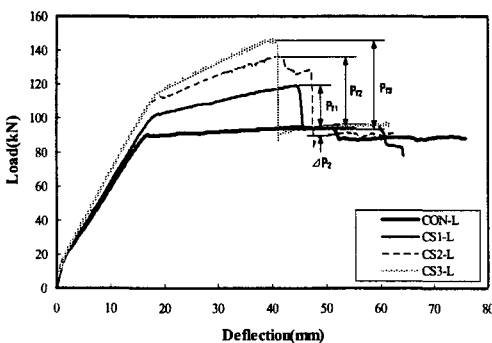


그림 5 탄소섬유쉬트 보강 실험체 하중-변위곡선

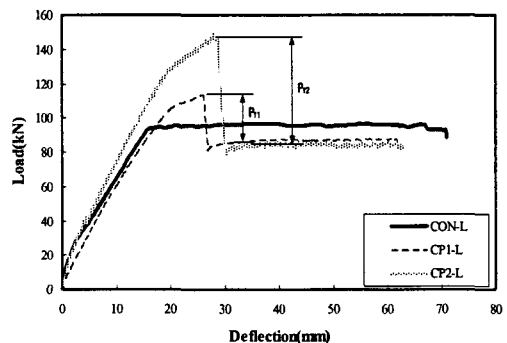


그림 6 탄소섬유판 보강 실험체 하중-변위 곡선

한편, 보강효과가 상실되는 시점의 하중 차로부터 구한 탄소섬유복합체의 보강성능을 유효변형률로 나타내면 그림 7과 같다. 그림에서 나타난 바와 같이 탄소섬유복합체의 유효변형률은 보강재의 강성이 증가할수록 감소하는 경향으로 나타났으며, 기존의 ACI440의 제안식으로 계산된 FRP 복합체의 유효변형률을 실험값과 비교하면 그림에서 보는 바와 같이 모든 실험체의 유효변형률이 ACI440 제안값보다 낮은 것을 알 수 있다. 따라서 ACI440의 제안식은 실제 탄소섬유복합체의 휨 보강성능을 과대평가하는 것으로 나타났다.

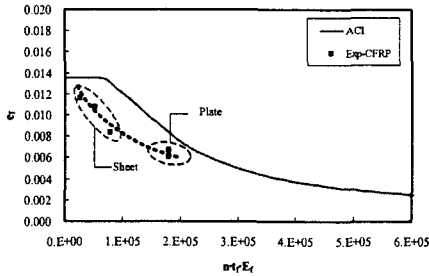


그림 7 탄소섬유복합체 유효변형률

표 2 탄소섬유복합체 보강재 강성에 따른 실험결과

실험체명	Yield		Ultimate			P _{fail}	ε _{fe}	파괴양상
	P _y	δ _y	P _u	δ _u	ε _{fu}			
SCON+L	90.4	17.0	93.2	37.1	-	-	-	휨파괴
SFCS1-L	100.8	17.9	119.3	44.3	0.0109	93.9	0.0116	FRP파단
SFCS2-L	112.2	20.2	136.2	41.5	0.0082	89.8	0.0107	FRP박리
SFCS3-L	115.2	19.1	145.4	40.3	0.0092	91.7	0.0083	FRP박리
SFCP1-L	103.2	19.6	113.3	26.0	0.0048	83.0	0.0060	FRP박리
SFCP2-L	123.1	18.8	147.9	28.2	0.0054	82.3	0.0067	FRP박리

5. 결 론

탄소섬유쉬트 및 탄소섬유판의 강성을 변수로 한 철근콘크리트 보에 대한 보강성능 실험으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 탄소섬유복합체로 휨 보강된 부재는 보강재 강성이 증가할수록 중앙부에서 발생하는 박리파괴에 의해 지배되며, 최종파괴도 급격하게 진행된다.
- 2) 탄소섬유복합체의 휨 보강성능은 두께와 탄성계수로 표현되는 보강재 강성에 영향을 받으며, 보강재의 강성이 증가할수록 휨 보강성능은 감소하는 것으로 나타났다.
- 3) 기존의 ACI440의 제안식으로 계산된 탄소섬유복합체의 유효변형률을 실험값과 비교하면 모든 경우에서 탄소섬유복합체의 휨 보강성능을 과대평가하는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출원하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2004 건설기술기반구축사업 R&D/2004 기반구축 A13 “시설물 보강공법 성능인증을 위한 시험항목·방법 및 평가기준 설정 연구”의 일부로서, 관계제위께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. ACI 440. 2R-02 "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures", ACI Committee 440
2. Christopher K.Y.Leung 외, "Empirical Approach for Determining Ultimate FRP Strain in FRP-Strengthened Concrete Beams" Journal of Composite for Construction, March-April 2006, pp125-138
3. 한국건설기술연구원(2006), 시설물 보강공법 성능인증을 위한 시험항목·방법 및 평가기준 설정 연구.