

유리섬유쉬트로 전단보강된 RC보의 전단강도에 대한 보강매수 및 형태의 영향

Shear Strength of RC Beams Strengthened with GFRP Sheets with Different Details

최기선*
Choi, Ki Sun

유영찬**
You, Young Chan

김금환***
Kim, Keung Hwan

ABSTRACT

A number of studies have been conducted on FRP shear strengthening of RC beams during the past decade. The test results indicated that the strengthened specimens failed predominantly by debonding of the FRP sheets before reaching the rupture strength of FRP sheets. For this reason, limits on the effective strain in FRP have been incorporated in ACI 440.2R recommendation considering debonding failure.

This paper presents the test results of 7 small scale RC beams shear-strengthened with glass fiber sheets. Three types of FRP configurations, such as two sides bonded, U wrap and fiber shear-key embedded, were considered. GFRP sheet were bonded vertically to member axis along the shear span. From the test results, it was found that debonding strain of GFRP sheets at failure decreased with the number of layers. In addition, effective strain of FRP proposed by ACI 440.2R recommendation has been verified in this study.

1. 서론

RC 보에 대한 FRP 전단보강은 일반적으로 보의 측면에 부재축과 수직으로 부착된다. 이로 인하여 시공시 구조물 형상에 많은 제약을 받게 되며, 보 춤으로 한정된 부착길이에 의해서 조기 부착파괴가 발생하는 것으로 보고되고 있다¹⁾. 이에 따라 FRP에 의한 전단보강 효과는 콘크리트와 FRP와의 부착 성능에 따라서 제한되어야 하며, 부착성능과 관련된 다양한 변수가 FRP로 보강된 부재의 전단성능에 미치는 영향을 규명할 필요성이 있다.

본 연구에서는 유리섬유쉬트 복합체에 의한 전단보강시, 전단보강 형태에 따른 전단성능을 평가하기 위하여 U형 보강과 측면보강 상세를 대상으로 보강성능을 비교하기 위한 실험을 실시하였다. 또한, 섬유쉬트 복합체에 의한 전단보강 성능은 최종적으로 콘크리트와 섬유쉬트와의 부착파괴에 의해서 지배되므로, 부착성능을 향상시켰을 경우 직접적인 보강성능 향상을 기대할 수 있을 것으로 판단되어진다. 이에 따라 선행연구²⁾에서 부착성능의 향상을 위하여 개발되어진 파이버 전단키를 전단보강에 적용하여 부착성능 향상에 의한 전단보강성능의 기여도를 평가하고자 한다.

* 정회원, 한국건설기술연구원, 연구원

** 정회원, 한국건설기술연구원, 수석연구원

*** 정회원, 한국건설기술연구원, 선임연구부장

2. 연구내용 및 방법

ACI 440위원회에서는 FRP 쉬트에 의한 전단보강 설계 시, 보의 전단면을 감싼 경우에는 FRP의 최대변형률을 콘크리트 골재의 맞물림 작용이 상실되는 0.4%로 한계치를 제한하고 있다. 반면, U 보강 및 측면 보강의 경우는 이러한 골재 맞물림 작용에 의한 콘크리트 부재의 파괴 이전에 보강재의 박리가 선행되므로 식(1)과 같이 부착성능을 결정하는 콘크리트 강도 및 유효부착길이에 따라서 0.4% 이하의 유효변형률을 산정하도록 제안하고 있다³⁾. 본 연구에서는 ACI 440의 권고사항에 근간하여 규준에서 제시하고 있는 최대 전단보강량 이내에서 보강이 이루어지도록 하였다. 또한 그림 1과 같이 FRP 전단보강재의 단부에 전단키를 형성하고 접착력을 향상시킬 수 있는 FRP 쉬트를 매입한 상세를 적용하여 부재의 전단보강성능을 평가하였다.

$$\epsilon_{fe} = k_v \epsilon_{fu} \leq 0.004 \quad (1)$$

$$k_v = \frac{k_1 k_2 L_e}{11,900 \epsilon_{fu}} \leq 0.75 \quad (2)$$

$$L_e = \frac{23,300}{(n t_f E_f)^{0.58}} \quad (3)$$

$$k_1 = \left(\frac{f_{ck}}{27}\right)^{2/3} \quad (4)$$

$$k_2 = \frac{d_f - L_e}{d_f} \text{ for } U\text{-wrap}, \frac{d_f - 2L_e}{d_f} \text{ for two sides bonded} \quad (5)$$

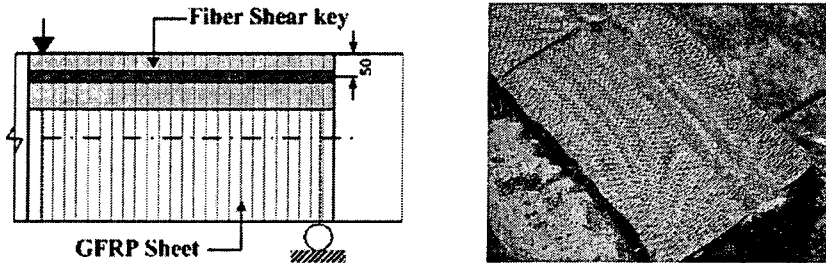


그림 1 파이버 전단키

3. 실험

실험에 사용된 재료는 설계압축강도 24MPa의 콘크리트와 항복강도 400MPa의 철근 및 설계기준인 장강도가 560MPa인 유리섬유쉬트를 보강재로 사용하였다.

실험체의 단면치수는 200×300mm로, 인장축과 압축축 피복두께를 30mm로 하였으며, 전단스팬비 (a/d)를 2.0으로 설정하여 지점간 거리 1,700mm, 전체 실험체 길이를 2,500mm로 계획하였다. 매립된 철근은 전단파괴를 유도하기 위해서 4-D22의 압축철근과 6-D22의 인장철근을 주철근으로 사용하였으며, 6mm 전단보강근을 $p_s=0.2\%$ 인 150mm 간격으로 배근하였다. 실험체는 총 7개로 기준실험체를 포함하여, 유리섬유쉬트로 U보강, 측면보강 및 파이버 전단키를 매입한 실험체에 대하여 각각 보강매수를 1매, 2매 부착한 실험체로 구성되어 있다.

4. 실험 결과 분석

4.1 파괴양상

모든 실험체는 전단보강의 형태 및 양에 관계없이 유리섬유쉬트의 박리 및 탈락을 수반한 콘크리트의 전단파괴에 의하여 최종파괴되었다. 파괴양상은 지점부위의 콘크리트에서 발생하는 사인장균열이 가력점까지 확장된 이후에 유리섬유쉬트가 한계 변형률에 도달하게 되면 박리가 시작된다. 이때 유리섬유쉬트의 박리는 가력점 인근에서부터 발생하며, 하중이 증가할수록 사인장 균열의 진전에 따라 지점부위로 확장된다. 한편, 측면 보강의 경우 상하부에서 동시에 박리가 발생하며, U보강은 사인장균열의 하부에 위치한 보강재가 밀면에 연속적으로 부착되어 있기 때문에 상대적으로 부착 길이가 짧은 상부측에서 박리가 발생하게 된다. 또한, 파이버 전단키를 매입한 실험체는 파이버 전단키가 측면 피복콘크리트를 광범위하게 물고 떨어지면서 섬유쉬트가 콘크리트 모재로부터 탈락되어 전단파괴된다.

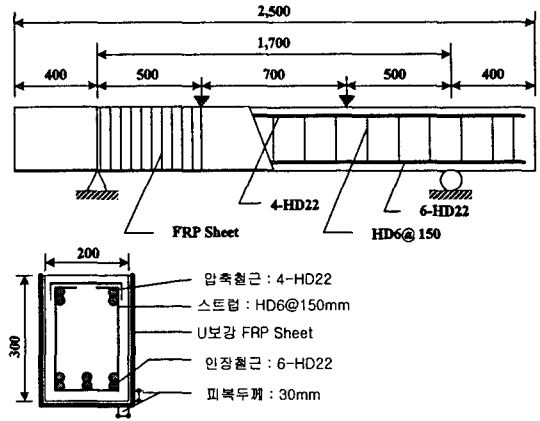


그림 2 실험체 상세

4.2 하중-변위

유리섬유쉬트로 보강된 실험체의 보강매수에 따른 하중-변위 곡선을 기준실험체와 비교하여 나타내면 그림 3 및 그림 4와 같다. 보강형태에 따라서 측면보강 실험체는 U 보강에 비하여 하중이 약 20kN 정도가 감소하지만 전체 전단성능에 미치는 영향은 작은 것으로 판단된다. 파이버 전단키를 매입한 실험체는 U보강에 비하여 약 20kN 정도의 최대하중이 증가되는 것으로 관측되었지만 근본적인 보강성능의 향상을 기대하기는 적절하지 못할 것으로 판단된다. 이러한 원인은 유리섬유쉬트가 부착된 측면 콘크리트 피복에 과도한 변형이 축적되면서 코아콘크리트와 피복콘크리트 사이의 응력 차이로 인하여 피복콘크리트가 콘크리트 모재로부터 탈락되었기 때문인 것으로 판단된다. 특히, 축소모형 실험체 제작시 과도한 주철근량에 의해서 측면 피복콘크리트에서의 할열파괴가 촉진된 것으로 판단된다.

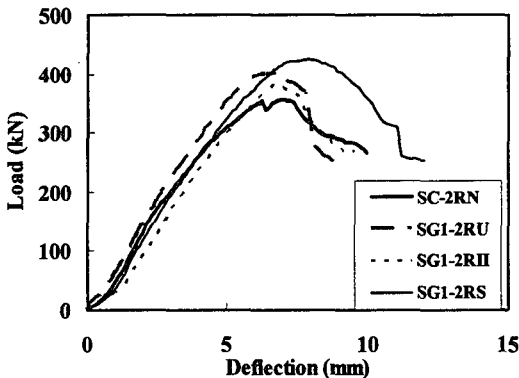


그림 3 유리섬유쉬트 1매 보강 실험체 하중-변위

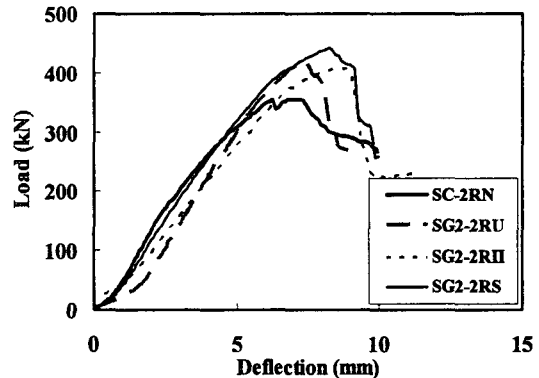


그림 4 유리섬유쉬트 2매 보강 실험체 하중-변위

4.3 유효변형률

유리섬유쉬트로 전단보강된 실험체들의 유리섬유쉬트 변형률 분포를 나타내면 그림 5와 같다. 유리섬유쉬트의 보강효과는 콘크리트 사인장균열이 가력점까지 확장되어 콘크리트의 전단성능이 상실되는 시점부터 작용하며, 이후 급격하게 변형률이 증가되는 것으로 나타났다. 유리섬유쉬트가 최종적으로 부착파괴 될 때의 최대변형률은 ACI 440의 제안식으로 계산된 값과 대략 유사한 것으로 나타났다. 즉, 보강량의 변화에 따른 최대변형률의 예측은 적절한 것으로 나타났으며, 보강형태의 변화에 따라서 최대변형률이 감소하는 경향은 유사하지만, 계산된 변형률값은 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.

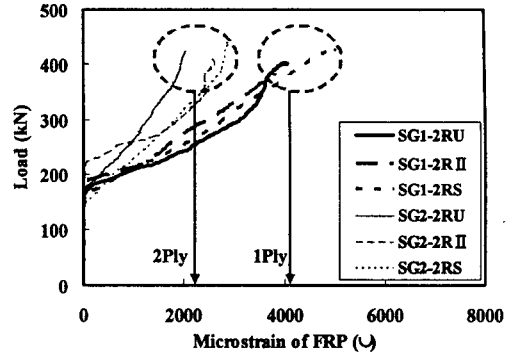


그림 5 유리섬유쉬트 하중-변형률

표 1 예상파괴하중 및 실험결과

실험체명	전단철근비	보강형태	보강매수	P_{vn}	P_{vu}	ϵ_{fc}	ϵ_f	δ	파괴형상
SC-2RN	$\rho_s=0.2\%$	-	-	157.6	357.3	-	-	6.92	전단파괴
SG1-2RU	$\rho_s=0.2\%$	U형	1	277.6	401.7	3,970	4,061	6.62	전단파괴
SG1-2R II	$\rho_s=0.2\%$	측면	1	244.1	382.2	2,860	3,825	6.76	전단파괴
SG1-2RS	$\rho_s=0.2\%$	U+전단키	1	277.6	426.3	3,970	5,029	7.76	전단파괴
SG2-2RU	$\rho_s=0.2\%$	U형	2	333.0	422.9	2,900	2,352	7.40	전단파괴
SG2-2R II	$\rho_s=0.2\%$	측면	2	302.7	408.5	2,400	2,630	8.86	전단파괴
SG2-2RS	$\rho_s=0.2\%$	U+전단키	2	333.0	442.4	2,900	2,860	8.30	전단파괴

P_{vn} : 최대하중 계산값(kN)

P_{vu} : 최대하중 실험값(kN)

ϵ_{fc} : ACI 산정식에 의한 유리섬유쉬트 유효변형률(μ)

ϵ_f : 유리섬유쉬트 측정 최대 변형률(μ)

5. 결론

- 1) 유리섬유쉬트에 의한 전단보강에서는 섬유쉬트의 박리시 변형률을 근간으로 설계가 이루어져야 하며, 보강량의 증가에 따른 유효변형률의 감소를 고려하여야 한다.
- 2) 유리섬유쉬트로 측면 보강된 실험체는 U보강에 비하여 전단내력이 감소하지만 전체 전단성능에 미치는 영향은 작은 것으로 나타났다.
- 3) 파이버 전단키를 도입한 실험체는 최대하중이 근소하게 증가하였으나, 근본적인 보강성능의 향상을 기대하기는 적절하지 못할 것으로 판단된다.
- 4) ACI 440의 제안식은 대체로 실험값을 적절하게 예측하는 것으로 판단되나, 측면 보강에 대한 예측값은 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 최기선, 유영찬, 김궁환, "전단보강비에 따른 FRP 쉬트의 전단보강성능", 봄학술발표회논문집, 한국콘크리트학회, 제16권 1호, 2004, pp.68~71
2. 한국건설기술연구원, '철근콘크리트 건축물 보강공법의 개발 및 성능평가', 2003, pp310~325
3. ACI, 'Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthenings Concrete Structures' 440-02.