

유리섬유쉬트로 전단보강된 저강도 RC보의 전단강도

Shear Strength of Low-Strength RC Beams Strengthened with Glass Fiber Sheets

유 영 찬* 최 기 선** 김 도 곁* 류 금 성** 김 금 환***
You, Young Chan Choi, Ki Sun Kim, Do Gyeum Ryu, Gum Sung Kim, Keung Hwan

ABSTRACT

The effectiveness of shear strengthening with glass fiber sheets on normal or low strength RC beams have been investigated experimentally. A design compressive strength of concrete of 13.5MPa has been planned considering the degradation state of the existing structure to be strengthened in this study. Also, concrete surface reinforcing agent was applied to increase bond capacity between concrete and GFRP sheets in case of low strength RC beams.

Comparing the test results of low and normal strength beams strengthened with GFRP sheets indicated that total shear capacity of beams was decreased with concrete strength decreased, but the shear strengthening capacity of GFRP sheets are hardly affected by concrete strength. In addition, shear strengthening effects of RC beams strengthened with GFRP sheets can be estimated by $\rho_w \cdot f_w$ based on the maximum effective strain of FRP sheet proposed by ACI 440.2R recommendation.

1. 서 론

연속섬유쉬트에 의한 전단보강 방법은 부재의 측면(웹)에 부착되는 기하학적 특성으로 인하여 부착길이가 짧아지는 것이 일반적이다. 이에 따라 부재의 전단보강 성능은 연속섬유쉬트와 콘크리트와의 부착성능에 의해 큰 영향을 받을 것으로 예상된다. 특히, 보강공사가 요구되는 노후화 구조물은 일반적으로 콘크리트의 강도저하가 상당부분 진행된 상태이다. 이에 따라 실제구조물에 대한 섬유쉬트 복합체의 보강성능은 일반강도의 콘크리트에 대하여 얻어진 보강효과와 비교하여 작아질 가능성이 있다. 따라서, 보강될 구조물에서 나타나는 콘크리트의 성능저하 현상은 연속섬유쉬트와 콘크리트와의 부착력을 감소시켜 보강효과를 저하시키는 중요한 원인이 될 수 있으므로 이에 대한 검증이 필요할 것으로 판단된다.

2. 연구내용 및 방법

본 연구에서는 콘크리트 압축강도의 저하가 보강성능에 미치는 영향을 파악하기 위하여 임의로 콘크리트 압축강도를 13.5MPa로 제작하여 실험을 실시하였다. 또한 이러한 콘크리트의 강도저하에 따른

* 정회원, 한국건설기술연구원, 수석연구원

** 정회원, 한국건설기술연구원, 연구원

*** 정회원, 한국건설기술연구원, 선임연구부장

부착성능의 감소를 보상하기 위한 방법의 하나로서 표면강화제를 이용하여 콘크리트의 표면을 강화시킴으로서 부착성능의 향상을 기대하였다. 표면의 콘크리트 강도증진을 목적으로 사용된 표면강화제는 2종류로 침투강화형 방수·보수제인 PRA(Penetration Reinforcing Agent)와 표면강화를 목적으로 하는 열화억제형 보수제인 DRA (Deterioration Restraining Agent)이며, 보강재가 부착될 콘크리트 표면에 순차적으로 살포하였다.

시험체 설계시에는 유리섬유쉬트로 전단보강된 부재의 전단성능을 정량적으로 평가하기 위해 식(1)의 전단보강량비($\rho_w \cdot f_w$)를 사용하여 각 부재의 전단보강성능을 비교하였다. 전단보강량비는 기존의 전단철근과 보강재의 강도차이에 따른 전단철근비와 구분하기 위하여 강도특성을 고려한 식이다.

$$\rho_w \cdot f_w = \frac{A_v}{b_w \cdot s} \cdot f_s + \frac{2 \cdot t_f}{b_w} \cdot f_{fe} \quad (1)$$

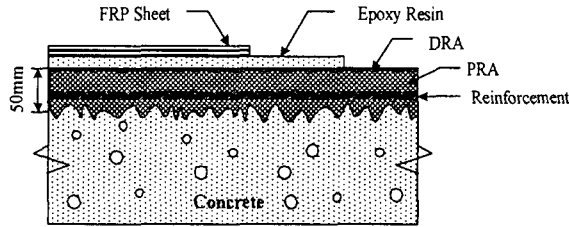


그림 1 표면강화 콘크리트 단면 구성도

3. 실험

실험에 사용된 재료는 설계압축강도 13.5MPa의 콘크리트와 항복강도 400MPa의 철근 및 설계기준 인장강도가 560MPa인 유리섬유쉬트를 보강재로 사용하였다. 실험체의 단면치수는 200×300mm로, 인장축과 압축축 피복두께를 30mm로 하였으며, 전단스팬비(a/d)를 2.0으로 설정하여 지점간 거리 1,600mm, 전체 실험체 길이를 2,000mm로 계획하였다. 매립된 철근은 전단파괴를 유도하기 위해서 2-D16의 압축철근과 3-D25의 인장철근을 주철근으로 사용하였으며, 6mm 전단보강근을 $\rho_s=0.2\%$ 인 150mm 간격으로 배근하였다. 실험체는 총 5개를 계획하였다. 보강실험체는 유리섬유쉬트를 U보강하였으며, 표면강화제도포의 유·무에 따른 변수와 콘크리트 압축강도 24MPa의 일반강도 실험체로 구성되어 있다.

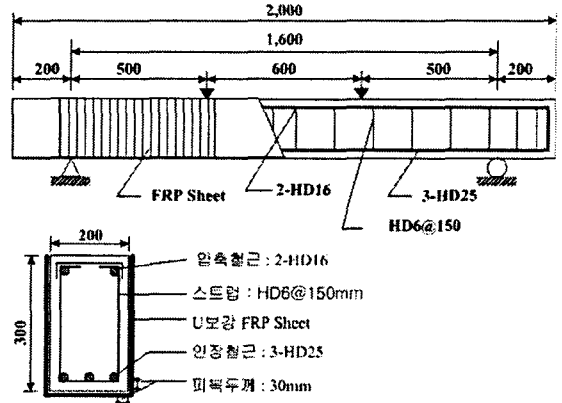


그림 2 전단보강 실험체 상세

4. 실험 결과 분석

4.1 파괴양상

콘크리트 압축강도의 저하와 상관없이 모든 실험체는 동일한 전단파괴 양상을 나타낸다. 즉, 지점과 가력점을 연결하는 콘크리트 사인장 균열이 발생된 후에 전단철근 및 유리섬유쉬트가 하중을 분담하

며, 유리섬유쉬트가 한계변형률에 도달하게 되면 박리가 시작된다. 이때 유리섬유쉬트의 박리는 가력점 인근에서부터 발생하며, 하중이 증가할수록 박리는 사인장균열면을 따라서 지점부위로 확장된다. 사인장 균열면의 모든 유리섬유쉬트가 박리되면 전단성능이 상실되며, 그림 3과 같이 최종 파괴된다.

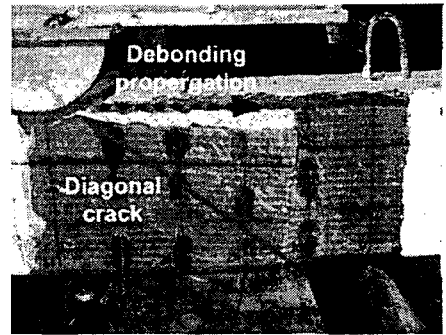


그림 3 유리섬유쉬트 보강실험체 파괴양상

4.2 하중-변위

콘크리트 압축강도를 저하시킨 기준 실험체와 유리섬유쉬트 복합체를 1매 보강한 실험체의 하중-변위 곡선을 나타내면 그림 4와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 동일한 전단보강량을 갖는 실험체에서 표면강화제를 도포한 실험체의 최대내력이 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 원인은 콘크리트의 표면강화제가 콘크리트의 미세한 공극을 채움으로써 에폭시의 콘크리트 표면침투를 차단하였으며, 근본적으로 에폭시 수지와 표면강화제의 친화력이 부족하여 부착성능이 감소된 것으로 판단된다.

또한, 동일한 조건에서 콘크리트 압축강도를 저하시킨 실험체와 일반강도 실험체를 비교하여 나타내면 그림 5와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 유리섬유쉬트로 보강하지 않은 기준실험체인 SC-2R 실험체와 SC-2F 실험체 사이에서 나타나는 최대내력의 차이가 유리섬유쉬트를 보강한 실험체인 SG1-2R 실험체와 SG1-2FN 실험체 사이에서도 거의 유사하게 나타나고 있다. 즉, 콘크리트 압축강도 저하에 따른 콘크리트 전단내력 감소분은 보강한 실험체에서도 동일하게 나타나므로, 각 재료의 전단내력을 증첩하여 산술적으로 합산하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

또한, 콘크리트 압축강도를 저하시킨 실험체의 유리섬유쉬트 보강에 따른 전단내력 증가분이 강도저하를 시키지 않은 실험체에서의 전단내력 증가분에 비하여 감소하지 않은 것으로 나타나, 콘크리트 압축강도 저하가 부착성능에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 판단된다.

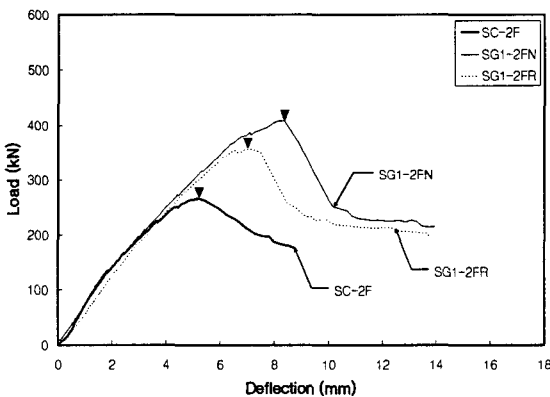


그림 4 유리섬유쉬트 보강 저강도 실험체 하중-변위

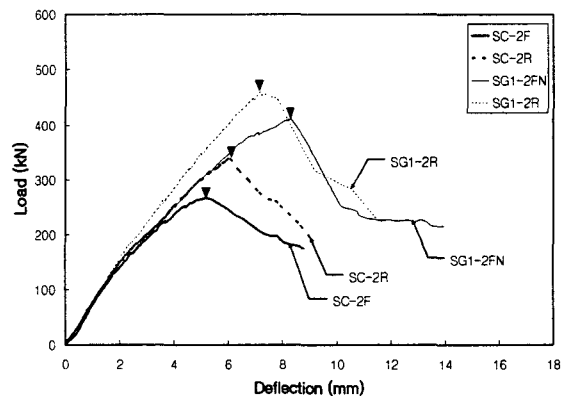


그림 5 콘크리트 강도에 따른 하중-변위 비교

4.3 전단보강 효과의 산정

전단철근 및 유리섬유쉬트 복합체에 의해 전단보강된 각 실험체의 파괴하중을 식(1)에 따라 계산된 전단보강량($\rho_w \cdot f_w$)의 함수로 나타내면 그림 6과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 콘크리트 압축강도가

감소되면 콘크리트가 부담하는 전단내력만큼 내력이 감소할 뿐이며, 전단철근과 각 보강재의 강도특성에 따른 전단보강량에 비례하여 선형적으로 최대강도가 증가된다. 따라서 유리섬유쉬트 복합체에 의해 보강된 부재의 전단강도는 전단력에 저항하는 콘크리트와 각 보강재(전단철근, 유리섬유쉬트)의 양 및 강도의 함수에 대해서 정확한 예측이 가능할 것으로 판단된다.

또한, 콘크리트의 압축강도를 저하시킨 실험체의 유리섬유쉬트의 최대변형률은 표면강화제를 도포한 실험체를 제외하고 ACI 440에서 제안하고 있는 유효변형률 4,000 μ 와 근사한 것으로 나타났다. 즉, 콘크리트 강도저하가 부착성능에 미치는 영향은 매우 적은 것으로 판단되며, 유리섬유쉬트의 전단보강성능은 일정한 것으로 나타났다.

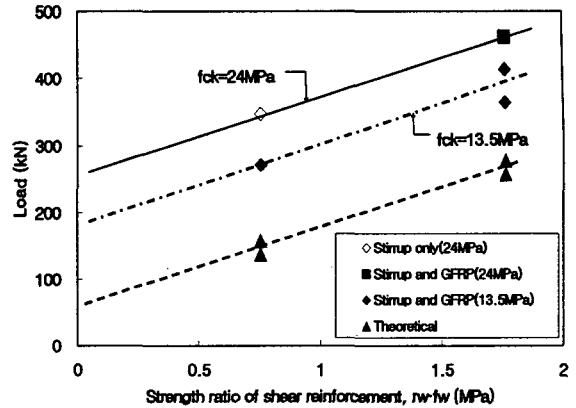


그림 6 전단보강량($\rho_w \cdot f_w$)비에 따른 전단성능

표 1 예상파괴하중 및 실험결과

실험체명	전단철근비	표면강화	f_{ck}	P_{vm}	P_{vu}	ϵ_f	δ	$\rho_w \cdot f_w$	파괴형상
SC-2F	$\rho_s=0.2\%$	-	13.5	137.0	271.5	-	5.15	0.75	전단파괴
SC-2R	$\rho_s=0.2\%$	-	24	157.6	347.5	-	6.20	0.75	전단파괴
SG1-2FN	$\rho_s=0.2\%$	무	13.5	258.0	413.6	4,426	8.35	1.76	전단파괴
SG1-2FR	$\rho_s=0.2\%$	유	13.5	258.0	364.7	3,020	7.02	1.76	전단파괴
SG2-2R	$\rho_s=0.2\%$	무	24	278.5	462.4	4,059	7.31	1.76	전단파괴

P_{vm} : 최대하중 계산값(kN)

P_{vu} : 최대하중 실험값(kN)

ϵ_f : 유리섬유쉬트 측정 최대 변형률(μ)

$\rho_w \cdot f_w$: 전단보강량비(MPa)

5. 결론

- 1) 콘크리트의 압축강도를 저하시킨 후 유리섬유쉬트로 보강한 실험체는 콘크리트의 강도저하에 상응하는 내력저하가 있으며, 유리섬유쉬트 복합체에 의한 전단보강 효과는 저하되지는 않는 것으로 나타났다.
- 2) 콘크리트와의 부착성능을 향상시키기 위하여 표면강화제를 도포한 실험체는 유리섬유쉬트에 사용되는 함침용 에폭시의 침투율이 저하되어 보강성능이 감소하는 것으로 나타났다.
- 3) 유리섬유쉬트로 보강된 부재의 전단강도는 전단력에 저항하는 콘크리트와 각 보강재(전단철근, 유리섬유쉬트)의 양 및 강도의 함수로 예측이 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 최기선, 유영찬, 김궁환, "전단보강비에 따른 FRP 쉬트의 전단보강성능", 불학술발표회는문집, 한국콘크리트학회, 제16권 1호, 2004, pp.68~71
2. 한국건설기술연구원, '철근콘크리트 건축물 보강공법의 개발 및 성능평가', 2003, pp.310~325
3. ACI, 'Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthenings Concrete Structures' 440-02.