

GFRP 보강근 콘크리트 보의 전단성능에 대한 실험적 고찰

Experimental Study for Shear Strength of Fiber-Reinforced-Polymer Reinforced Concrete Beams

박 종 섭* 박 영 환** 유 영 준***
Park, Jong Sup Park, Young Hwan You, Young Jun

ABSTRACT

Compared with a steel-reinforced section with equal areas of longitudinal reinforcement, a cross section using FRP flexural reinforcement after cracking has a smaller depth to the neutral axis because of the lower axial stiffness. The compression region of the cross section is reduced, and the crack widths are wider. As a result, the shear resistance provided by both aggregate interlock and compressed concrete is smaller. Research on the shear capacity of flexural members without shear reinforcement has indicated that the concrete shear strength is influenced by the stiffness of the flexural reinforcement. In this research, experimental observations were made for the shear strength of FRP reinforced concrete beam and validity of existing predicting equations were examined. Test results showed that shear strength decreased as shear-span increased.

요 약

기존의 철근콘크리트 구조물 시스템에서 철근은 사용연한이 지날수록 염분 및 습기, 염화물 등 외부환경에 의해 부식된다. 이러한 철근의 부식은 최종적으로 콘크리트 구조물의 성능 저하와 수명 단축을 유발시키는 주요 원인이 되기 때문에 최근 Fiber Reinforced Polymers(FRP)를 이용하여 철근을 대체할 수 있는 보강근을 개발하고자 하는 연구가 활발히 진행 중이다. FRP 보강근 콘크리트 보의 전단강도에 대한 기존 연구에 따르면 FRP 보강근은 철근에 비해 탄성계수가 낮기 때문에 동일 하중 수준에서 철근 콘크리트보다 균열폭이 커지고 균열이 크게 진행하게 되어 전단강도도 감소하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 FRP 보강근 콘크리트 보의 전단강도를 실험적으로 측정하고 기존에 제시된 선행 기준의 예측식을 실험값과의 비교를 통해 검증해보고자 하였다. 본 연구에서 수행한 실험결과에서는 전단경간비가 증가할수록 전단강도는 감소하는 것으로 나타났다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 구조시스템연구실 선임연구원
** 정회원, 한국건설기술연구원 구조시스템연구실 책임연구원
*** 정회원, 한국건설기술연구원 구조시스템연구실 선임연구원

1. 서론

FRP 보강근은 철근에 비해 고강도를 발휘할 수 있을 뿐 아니라, 비부식성이기 때문에 기존 철근의 부식 문제를 해결할 수 있는 대안으로 최근 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 아직까지는 대부분 휨인장 보강근으로서의 연구가 대부분으로 FRP 보강근 콘크리트의 전단거동에 대한 연구는 매우 제한적으로 이루어졌다. 휨인장 보강근으로 FRP 보강근을 사용한 보의 전단강도에 대한 기존 연구를 정리해보면 동일한 인장보강근 면적으로 보강된 철근 단면과 비교할 경우, FRP 보강근의 낮은 탄성계수로 인한 낮은 축강성 때문에 균열 이후 FRP 보강근 콘크리트 단면의 중립축은 상대적으로 더 높은 위치에 있게 되며, 전단강도를 분담하는 콘크리트 압축영역이 축소된다. 또한 더 큰 균열은 골재의 맞물림 효과를 감소시키게 되며, 낮은 FRP 보강근의 전단강도 또한 보강근에 의한 다웰 작용을 감소시킨다. 이러한 복합적인 요인들에 의해 FRP 보강근 콘크리트 보에서 콘크리트가 부담하는 전단강도는 철근 콘크리트보다 낮게 평가된다(ACI 440.1R, 2006). 그러나 아직까지는 매우 한정적인 연구가 이루어졌기 때문에 ACI 등에서 제안한 FRP 보강근 콘크리트에 대한 설계지침에서는 충분히 안전측으로 설계될 수 있도록 FRP 보강근 콘크리트의 전단강도를 규정하고 있다.

본 연구에서는 전단보강근이 없는 FRP 보강근 콘크리트 보와 기존의 철근콘크리트 보에 대한 정적재하 실험을 통해 보강근의 종류와 전단경간비에 따른 균열 거동과 파괴 모드의 변화를 고찰하였으며, 설계기준식과 측정값과의 비교를 통해 FRP 보강근 콘크리트의 전단강도에 대한 설계기준식의 타당성을 검토하였다.

2. 실험

실험체는 전단에 지배받는 보에서의 균열거동 및 파괴모드를 고찰하기 위해 전단철근을 배근하지 않고 전단경간의 길이를 변수로 하여 제작되었다. 실험체 변수에 대한 해설은 그림 1에 나타내었으며, 실험체 제원 및 배근 상세는 그림 2와 같다. 실험체의 주인장 보강근은 변수에 따라 각각 철근과 GFRP 보강근이 사용되었으며, 주인장 보강근을 제외한 압축철근은 모두 철근을 사용하였다.

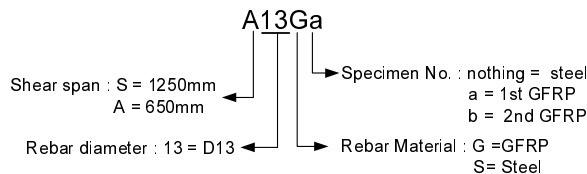


그림 1. 실험체 변수 해설

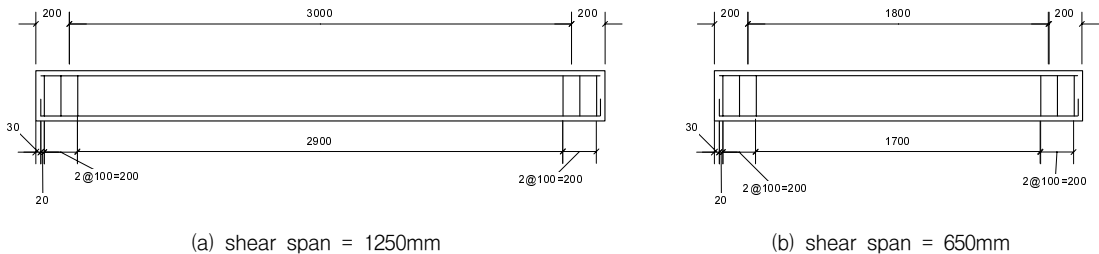


그림 2. 실험체 배근상세

모든 실험체에 전단 보강근은 배근하지 않았지만 주철근의 배근을 위해 지점 밖의 캔틸레버부에는 스티럽형태의 철근을 배근하였다. 실험체에 대한 재하는 휨실험체와 전단실험체 모두 4점 재하방법으로 하였으며, 980kN 용량의 만능실험기를 사용하여 실험하였다. 하중은 변위제어방식에 의해 재하되었으며, 초기 10mm 변위 발생시까지의 초당 0.02mm의 속도로 10mm 이후에는 초당 0.05mm의 속도로 최종 파괴시까지 재하하였다.

재하시 균열폭 측정을 위해 매 4.9kN 단위로 재하를 일시 중지하였으며, 균열 측정이 완료된 후 재하를 계속하였다. 균열폭은 정밀도 1/100mm의 레이저 균열폭 측정기를 이용하여 매 하중 단계마다 측면 최하단에서 수동으로 측정하였다. 실험체에는 중앙단면 보강근에 보강근용 변형률 게이지를 설치하였으며, 중앙단면의 측면 콘크리트 상단에는 콘크리트의 압축변형률을 측정하기 위한 변형률 게이지를 설치하였다. 실험체의 변위는 경간 중앙과 1/4지점에 설치된 LVDT를 이용하여 측정하였다.

3. 실험 결과 분석

그림 2, 3에는 실험체별 하중-변위 곡선을 나타내었으며, 그림 4에는 각 실험체별 균열도를 나타내었다. 그림 4에서 붉은 선으로 표시된 균열은 최종 파괴시의 전단균열을 의미한다. 그림 3에 보인 바와 같이 GFRP 보강근 실험체는 동일 직경의 철근이 배근된 실험체에 비해 휨강성이 낮은 것으로 나타났다. 또한 그림 4에 보인 바와 같이 S13S 실험체는 전단균열에 의해 파괴되지 않고 철근 항복 후 압축파괴되는 전형적인 휨파괴 양상을 나타냈으며 나머지 실험체는 모두 전단파괴로 실험이 종료되었다.

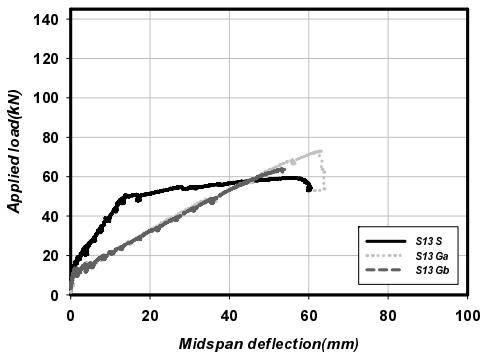


그림 2. S13 실험체 하중-변위

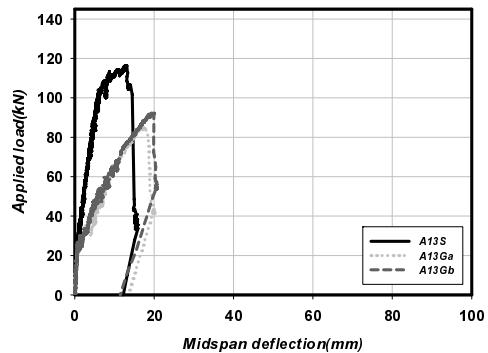


그림 3. A13 실험체 하중-변위

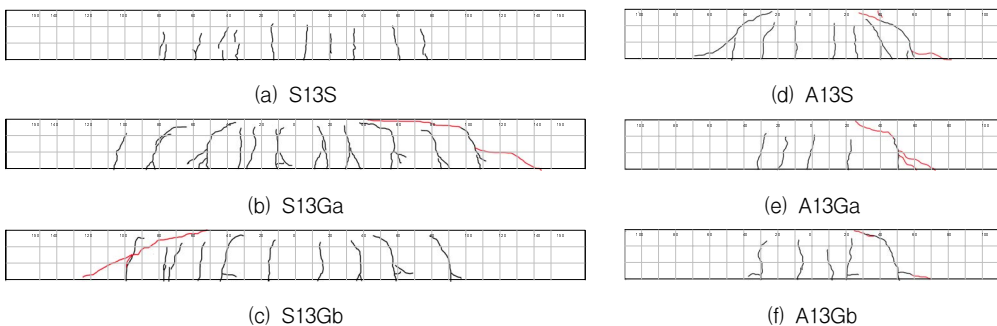


그림 4. 균열도

표 1. 실험 결과 요약

실험체명	균열하중 (kN)	최대하중(kN)				①/②	①/③	①/④	파괴모드
		실험값 ①	KCI ②	ACI③	CSA④				
S13S	1.7	59.53	55.80*	-	-	1.07	-	-	휨파괴
S13Ga	1.7	73.08	81.96*	31.53	48.39	0.89	2.32	1.51	전단파괴
S13Gb	1.4	63.82	81.96*	31.53	48.39	0.78	2.02	1.32	전단파괴
A13S	4.0	116.36	120.25	-	-	0.97	-	-	전단파괴
A13Ga	2.5	85.42	120.25	31.53	48.39	0.71	2.71	1.77	전단파괴
A13Gb	2.5	92.69	120.25	31.53	48.39	0.77	2.94	1.92	전단파괴

② 콘크리트설계기준(2007)

③ ACI 440.1R-06(2006)

④ CSA S806(2002)

* 휨파괴 최대하중 계산값

표 1에는 실험에서 측정된 최대하중과 FRP 보강근 콘크리트에 대한 주요 기준들로부터 계산된 값을 비교하여 나타내었다. 표에서 최대하중 계산값은 해석상의 파괴모드에 따라 휨강도 또는 전단강도로 나타낸 것이다. 전단경간 1250mm 실험체의 경우, 콘크리트구조설계기준에 의해 계산된 값은 모두 휨파괴가 선행하는 것으로 계산되었기 때문에 휨강도로 최대하중을 나타내었다. 전단경간이 650mm 인 실험체는 계산상에서도 모두 전단파괴하는 것으로 나타났다. 표에 나타낸 바와 같이 기존의 철근 콘크리트보에 적용되는 전단강도식을 사용할 경우 FRP 보강근 콘크리트의 전단강도를 과대평가한다. FRP 보강근 콘크리트의 실험값은 콘크리트구조설계기준에 의해 계산된 값에 비해 최대 29% 작은 것으로 나타났다.

ACI 440.1R식에 의해 계산된 전단강도에 비해 실험값은 약 2~3배까지 큰 것으로 나타나 ACI 규정은 FRP 보강근 콘크리트의 전단강도를 지나치게 안전측으로 평가하는 것으로 나타났다. 캐나다 CSA 규준식은 ACI식에 비해서는 FRP 보강근의 전단강도를 크게 평가하고 있지만 계산값에 대한 실험값의 비가 1.3~1.9배로 나타나 안전율이 매우 큰 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 GFRP 보강근 콘크리트보의 전단 거동 특성을 고찰하기 위한 실험을 수행하였으며, 실험결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) GFRP 보강근 콘크리트 실험체의 전단강도는 전단경간비가 커질수록 감소한다.
- (2) 한정된 연구결과들로부터 제안된 기존의 FRP 보강근 콘크리트에 대한 전단강도 평가식은 실제 FRP 보강근 콘크리트보의 전단강도를 지나치게 안전측으로 평가하는 것으로 나타났다. 주인장 철근으로서 FRP 보강근이 전단강도에 기여하는 바에 대한 추가 연구를 통해 전단강도 평가식의 합리적 수정이 필요한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, 콘크리트구조설계 기준, 2007
2. CAN/CSA S806-02, "Design and Construction of Building Components with Fibre Reinforced Polymers," Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, Canada, 2002, 177pp.
3. ACI 440 Committee, Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars (ACI 440.1R-06), American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 2006.