

GFRP bar 경량콘크리트 보의 콘크리트 전단강도

Concrete Shear Strength of Light Weight Concrete Beams Reinforced with GFRP bar

진민호*
Jin, Min Ho

장희석**
Jang, Hee Suk

김충호***
Kim, Chung Ho

백동일****
Baek, Dong Il

ABSTRACT

Recently, the research of FRP bar as an alternative reinforcing material in reinforced concrete structures has increased to get an innovative solution to the corrosion problem. In addition to the noncorrosive nature of FRP materials, they also have a high strength-to-weight ratio. Therefore, when light weight concrete reinforced with FRP bar is used in marine environment, for instance floating structures, some advantages can be expected. But researches for the light weight concrete structure using FRP bar as a flexural reinforcement are limited to date.

In this paper, the concrete shear contribution of the light weight concrete beam reinforced with GFRP bar was studied. Experiment for beams varying concrete compressive strengths and flexural reinforcement ratios was conducted and analysed. The test results showed that 75% of values obtained from proposed equation in preceding research were well agreed with the test results and were better results than the one predicted by the ACI 440.1R-06 code.

요약

최근에 철근콘크리트 구조물에서 철근의 부식문제를 해결하기 위하여 FRP bar를 철근의 대체재로 사용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. FRP bar는 비부식성 뿐만 아니라 철근에 비하여 자중이 작으면서도 고강도를 갖는 특성을 갖고 있다. 따라서 FRP bar가 경량골재콘크리트와 함께 사용된다면 해양에 부유되는 구조물등에서 우수한 특성을 발휘할 수 있을 것으로 예상된다. 그러나 현재까지 경량콘크리트에 FRP bar를 휨보강근으로 사용하는 구조체에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다.

본 연구에서는 GFRP bar 경량콘크리트보에 대하여 콘크리트의 전단력 기여분을 조사하기 위하여 콘크리트 압축강도와 휨보강근비를 변수로 하는 일련의 실험을 행하였으며 이 결과를 분석하였다. 연구결과, 선행 연구에서 제안된 식에 0.75배를 곱하여 구한 콘크리트의 전단력은 실험결과와 잘 일치하였으며, ACI 440.1R-06에서 제시한 식에 의한 결과보다 더 우수한 값을 주는 것으로 나타났다.

* 정회원 · 부경대학교 대학원 토목공학과 석사과정 · E-mail: hayarobi00@hanmail.net

** 정회원 · 부경대학교 건설공학부 교수 · E-mail: janghs@pknu.ac.kr

*** 정회원 · 경성대학교 건설환경공학부 교수 · E-mail: chkim@ks.ac.kr

**** 정회원 · 부경대학교 건설공학부 강사 · E-mail: qt418@pknu.ac.kr

1. 서 론

철근 콘크리트 구조물의 사용수명이 철근의 부식에 의하여 단축된다는 문제점을 인식하여 FRP bar를 철근의 대체재로 사용하는 콘크리트 구조체에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 FRP bar는 철근에 비하여 자중이 작으므로 경량골재콘크리트와 함께 사용된다면 해양에 부유되는 구조물 등에서 우수한 특성을 발휘할 수 있을 것으로 예상된다.

경량골재콘크리트와 FRP bar를 휨보강근으로 하는 보통콘크리트 보에 대한 연구는 국·내외적으로 각각 개별적으로 활발히 진행되고 있으나, 경량골재콘크리트에 FRP bar를 휨보강근으로 사용하는 구조체에 대한 연구는 현재까지 거의 전무한 실정이다. 본 연구에서는 GFRP bar 경량콘크리트보에 대하여 콘크리트의 전단력 기여분을 조사하기 위하여 콘크리트 압축강도와 휨보강근비 변화에 따른 일련의 실험을 행하였으며 이 결과를 분석하였다.

2. 실험

2.1 사용재료 및 배합설계

본 실험에서 보 시험체 제작에 사용된 경량골재는 일본에서 생산된 팽창성 혈암을 인공소성시킨 메사라이트 인공 구조용 경량골재로서 형상은 Fig.1과 같다. 또한 경량골재콘크리트 2종으로 콘크리트를 제작하였고, 보통강도 콘크리트 및 고강도 콘크리트의 설계기준강도는 18MPa 및 27MPa로 하였다. 실험 당일 측정된 콘크리트 공시체의 보통강도의 압축강도는 33.6MPa이었으며, 고강도는 40.3MPa이었다. 실험에 사용된 콘크리트 배합표는 Table 1과 같고 D건설주식회사에서 생산한 $\phi 9$ mm 및 $\phi 13$ mm GFRP bar의 재료특성은 Table 2에 정리하여 나타내었다.



Fig. 1 Shape of fine and coarse aggregates of light weight concrete

Table 1. Mix proportion of light weight concrete

Design Strength (MPa)	Slump (mm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)				AE water reducer (g/m ³)	Silicafume (kg/m ³)
					C	W	S	G		
18	12	5.5	49.35	42.55	307.0	151.5	535.8	675.5	1381.5	-
27	12	5.5	43	42.55	312.0	149.0	528.0	665.7	3357	23.7

Table 2. Property of GFRP bars

Reinforcement	Diameter (mm)	Elastic modulus (MPa)	Ultimate strength (MPa)
GFRP bar	9	41,000	1,020
GFRP bar	13	40,000	900

2.2 시험체 및 실험 방법

실험에 사용된 콘크리트 보는 150(200) × 250 × 2,200 mm로 총 12개가 제작되었다. 반력벽에 연결시킨 Steel Frame의 하부에 250kN Actuator를 부착시켜 전단시간비를 3.03로 유지한 상태에서 1mm/min의 변위제어로 보가 파괴될 때까지 가력하였다. 가력된 하중은 Load Cell로 측정하였으며 보 중앙 하부에 LVDT를 설치하여 처짐을, 또한 최초 균열발생위치에 Crack gage를 설치하여 균열폭을 측정하였다. 그리고 FRP bar 중앙과 콘크리트 압축측 중앙단면에 변형률게이지를 부착하여 변형률을 측정하였다. 사용된 시험체의 시험체명에 대한 설명과 세부상세는 Fig.2와 Table 3에 나타내었다.

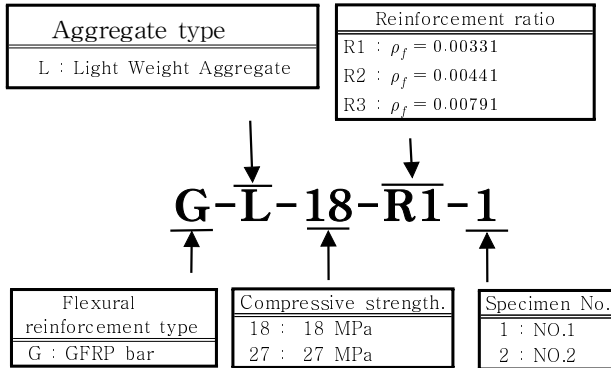


Fig. 2 Explanation of Beams

Table 3 Beam details

Beam	f_{ck} (MPa)	GFRP bar	Beam width (mm)
G-L-18-R1-1,2	18	2 ϕ 9	200
G-L-18-R2-1,2		2 ϕ 9	150
G-L-18-R3-1,2		2 ϕ 13	150
G-L-27-R1-1,2	27	2 ϕ 9	200
G-L-27-R2-1,2		2 ϕ 9	150
G-L-27-R3-1,2		2 ϕ 13	150

3. 실험 결과 및 분석

Table 4에 실험으로부터 구한 최대하중, 최대전단력, 균열폭, 처짐, 파괴모드를 정리하여 나타내었다. 이들은 2개의 동일 시험체로부터 얻어진 결과의 평균값들이다. 본 실험에서는 전단 보강근이 없으므로, 최대하중의 절반이 콘크리트가 발휘하는 전단력(V_c)에 해당한다.

철근콘크리트 구조물에서 콘크리트의 전단력 기여분 평가시 사용하는 식(1)은 일반적으로 FRP bar 콘크리트 보에는 적합하지 않다. 따라서 본 연구에 앞선 선행연구¹⁾에서 FRP bar를 일반콘크리트에 사용하여 행한 실험결과를 통하여 식(2),(3)을 제안하였다. 여기서 식(3)으로 주어진 β_f 는 전단강도보정계수라고 명명되었으며, FRP bar와 철근의 탄성계수비, 전단시간비, 휨보강근비의 함수로 주어진다.

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}} b_w d \quad (1)$$

$$V_c = \beta_f \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}} b_w d \quad (2)$$

$$a/d > 2.5 ; \beta_f = 0.716 + 0.466(E_f/E_s) - 0.095(a/d) + 32.101\rho_f \quad (3)$$

한편 ACI 440.1R-06에서 FRP bar 콘크리트보의 콘크리트 전단력을 평가하기 위하여 제시된 식은 식(4)와 같다.

$$V_{c,f} = \frac{2}{5} \sqrt{f'_c} b_w c \quad (4)$$

콘크리트 구조설계기준 및 ACI 기준에 따르면 전경량 콘크리트의 경우에 전단강도를 구할 때 설계기준강도의 제곱근에 0.75배를 곱하여 사용하도록 되어있다.²⁾ 따라서 선행 연구의 제안식과 ACI 440.1R-06의 식에 0.75를 곱하여 얻어진 결과를 실험결과와 비교하여 Table 5에 함께 나타내었다. 이 표로부터 선행연구의 제안식을 이용하여 구한 결과는 실험결과와 잘 일치하며, 또한 ACI 440.1R-06의 결과보다 상대적으로 더 우수함을 알 수 있다.

Table 4. Test results

Beam	Average of max. load(kN)	Max. shear force (kN)	Max. shear stress (MPa)	Average of max. crack width (mm)	Average deflection (mm)	Failure type
G-L-18-R1	41.490	20.745	0.481	2.186	20.97	Shear failure
G-L-18-R2	37.215	18.608	0.576	1.444	23.28	Shear failure
G-L-18-R3	30.503	15.252	0.508	0.567	9.3	Shear failure
G-L-27-R1	40.717	20.359	0.472	1.526	26.06	Shear failure
G-L-27-R2	39.901	19.951	0.617	1.693	23.56	Shear failure
G-L-27-R3	42.961	21.481	0.671	1.225	20.45	Shear failure

Table 5. Comparison of ACI440.1R-06 and proposed equation

Beam	β_f	Test (kN)	Theory (kN)		Test/Theory	
			ACI	Proposed	ACI	Proposed
G-L-18-R1	0.63	20.745	8.898	19.713	2.33	1.05
G-L-18-R2	0.67	18.608	7.628	15.612	2.44	1.19
G-L-18-R3	0.77	15.252	9.765	17.958	1.56	0.85
G-L-27-R1	0.63	20.359	9.436	21.589	2.16	0.94
G-L-27-R2	0.67	19.951	8.092	17.098	2.47	1.17
G-L-27-R3	0.77	21.481	10.367	19.667	2.07	1.09
				Mean	2.17 (2.29)	1.05 (1.09)
				St. Dev.	0.34 (0.17)	0.13 (0.10)

(괄호안의 값은 G-L-18-R3 시험체의 오류를 감안하여 이 값을 제외하고 계산된 값임)

4. 결 론

본 연구에서는 GFRP bar를 휨보강근으로 하는 경량콘크리트보의 콘크리트 전단강도를 평가하기 위하여 휨보강근비 및 콘크리트 압축강도를 변수로 하는 실험을 행하였으며, 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 실험에서 구해진 GFRP bar 경량콘크리트 보의 콘크리트 전단강도는 선행 연구¹⁾의 제안식에 0.75 배를 취함으로써 얻어진 결과와 잘 일치하였다.
2. ACI 440.1R-06 code로부터 구한 콘크리트 전단강도를 실험결과 값과 비교해볼 때, ACI code는 여전히 전단강도를 과소하게 평가하는 경향이 있음을 보여주었다.

참고문헌

1. 조재민, 장희석, 김충호, 김명식, “FRP bar 콘크리트 보의 콘크리트 전단강도”, 2008년도 대한토목학회 정기학술대회 논문집.
2. 한국콘크리트학회, “2007년도 개정 콘크리트 구조설계기준 해설”, 2008, 154pp.