

GFRP 보강근을 사용한 콘크리트 보의 휨파괴 거동

Flexural Behavior of Concrete Beams Reinforced with GFRP Bars

하상훈*

김정규*

황금식**

어석홍***

Ha, Sang Hoon Kim, Jung Kyu Hwang, Keum Sik Eo, Seok-Hong

ABSTRACT

This paper presents flexural test results of concrete beams reinforced with GFRP and conventional steel reinforcement for comparison. The beams were tested under static loading to investigate the effects of reinforcement ratio and compressive strength of concrete on cracking, deflection, ultimate capacity and mode of failure. This study attempts to establish a theoretical basis for the development of simple and rational design guideline.

Test results show that ultimate capacity increases as the reinforcement ratio and concrete strength increase. The ultimate capacity increased up to 8%-25% by using high strength concrete. The deflection at maximum load of GFRP reinforced beams was about three times that of steel reinforced beams. For GFRP-reinforced beams, the ACI code 440 design method resulted in conservative flexural strength estimates.

1. 서론

최근 콘크리트 구조물이 중성화되거나 제설제 및 해양환경에 의한 염화물의 침투, 확산 등 여러 가지 유해요소로 인해 철근이나 PS강재가 부식되어 구조물의 성능이 저하되고 수명이 단축되는 심각한 문제점이 지적되고 있다. 국내의 경우 보고된 결과에 따르면 해양환경에 위치한 콘크리트 교량뿐만 아니라 고속도로 및 도심지에 위치한 콘크리트 교량 바닥판에서도 약 15% 정도 철근의 부식이 진행되고 있는 것으로 나타났다¹⁾. 여러 기술 선진국의 경우 이러한 문제를 해결하기 위하여 부식과 같은 내구성과 관련된 문제를 일으키지 않는 FRP에 대한 연구가 활발히 진행되었으며 그 동안의 경험과 연구결과를 바탕으로 FRP를 보강한 콘크리트 구조물의 설계기준을 확립해 가고 있는 실정이다^{2,3)} 그러나 국내의 경우 FRP 보강 콘크리트 구조물의 거동에 대한 이론적, 실험적 연구가 미흡한 실정이고 설계기준이 확립되어 있지 않은 실정이다.

본 연구에서는 FRP중에서도 가장 경제적이고 합리적인 것으로 평가되는 GFRP를 보강근으로 사용하여 보강근비 및 콘크리트의 압축강도 변화에 따른 휨거동에 관한 이론적, 실험적 연구를 수행하여 향후 GFRP로 보강한 휨거동의 설계기준을 확립하기 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

*정회원, 창원대학교 대학원

**정회원, 동원건설(주) 기술개발부

***정회원, 창원대학교 토목공학과 교수

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

GFRP 부재는 기존의 많은 연구를 통해 취성적 파괴를 막고 안전측의 여유내력을 확보하기 위해 과보강 설계가 바람직하다고 알려져 있다⁴⁾. 본 연구에서는 GFRP로 보강된 휨부재의 파괴거동을 살펴보기 위하여 실험변수로 GFRP Re-bar의 보강비 및 콘크리트의 압축강도를 설정하였으며, 비교를 위하여 동일 단면적을 가지는 철근 콘크리트 보를 동시에 시험하였다.

2.2 사용재료

본 연구에서 사용된 GFRP Re-bar는 국내 D회사에서 제조한 재료를 사용하였다. 실험에 사용한 GFRP Re-bar의 물리적 특성은 표 1과 같고⁵⁾, 비교를 위한 시험체의 철근은 D-10으로서 GFRP와 동일한 직경을 사용하였다.

표 1 GFRP Re-bar 물리적 특성

종류	공칭지름	단면적	인장강도	탄성계수	극한인장변형률
GFRP	0.93mm	0.713cm ²	597 MPa	26184.2 MPa	0.0228

콘크리트 설계기준강도는 26.48 MPa(270 kgf/cm²)과 49.04 MPa(500 kgf/cm²)를 목표로 하였으며, 압축강도 시험결과 23.5 MPa과 50.0 MPa로 각각 나타났다.

2.3 실험방법

본 연구에서 설계, 제작한 휨시험체는 실험변수를 고려하여 각각 두 개씩 모두 24개를 제작하였으며 모든 시험체는 삼등분점 재하실험을 수행하였다. 하중은 변위제어 방식으로 가하였으며 2mm/min의 속도로 재하하였다. 시험체 중앙단면의 GFRP와 철근에 각각 매립용 Strain gage를 부착하고, 콘크리트 표면에도 Strain gage를 부착하여 변형을 변화를 관찰하였다. 보의 중앙에 LVDT를 설치하여 부재의 처짐을 측정하였다. 각 시험체의 형상, 하중재하 및 측정 장치의 설치 위치는 그림 1과 같다.

모든 시험체는 전단파괴를 방지하기 위하여 $\phi 8\text{mm}$ 굵은 철사를 5cm간격으로 배근하여 전단보강을 하였으며, 이때 스트립을 걸기 위한 압축 철근으로 $\phi 8\text{mm}$ 굵은 철사 2가닥을 배근하였다.

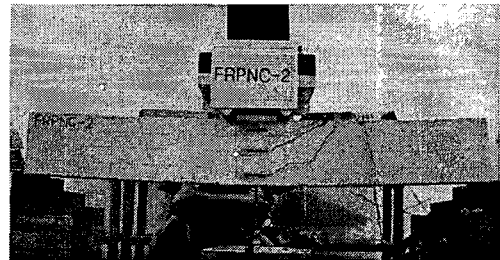
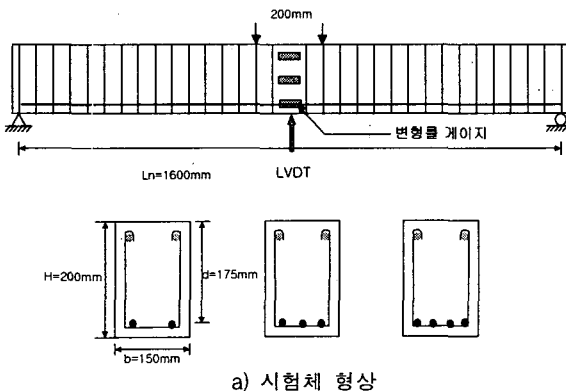


그림 1 시험체 형상 및 재하전경

3. 실험결과 및 분석

각 실험체에 대한 실험결과를 이론적 해석결과와 비교, 분석한 결과는 다음과 같다.

3.1 파괴모드 및 하중-변위곡선

각 부재별 시험체에 대한 실험결과는 표 2와 같고, 모든 GFRP 시험체는 콘크리트의 압축파괴 형태로 파괴되었고, RC보는 철근의 인장파괴로 파괴되었다.

고강도 콘크리트를 사용한 GFRP 시험체는 보통강도 콘크리트를 사용한 경우보다 이론적으로 10-40%정도 하중 재하능력 증진을 기대할 수 있으나, 실험결과 FRPHC-2,3 시험체의 예상치 못한 사인장 파괴로 인해 하중 재하능력 증가는 8%-25% 정도로 나타났다.

GFRP 보강비를 2배로 증가하였을 때 최대하중이 보통강도에서 약1.5배, 고강도에서 약1.4배 증가한 것으로 나타났으나, 고강도 콘크리트 보의 경우 사인장 전단파괴가 유발되어 최대 휨파괴 하중에 미치지 못한 것으로 실제의 내력증가는 고강도에서 더 크게 일어나는 것으로 판단된다.

표 2 실험결과

Series no	Concrete strength (MPa)	No. of reinforced bars	Reinforcement ratio (ρ/ρ_b)	P_{exp} (kN)	P_{theory} (kN)	P_{exp}/P_{theory}	$\delta_{P_{max}}$ (mm)	Observed failure mode
FRPNC-1	23.54	2	1.23	35.6	32.7	1.09	27.5	Concrete crushing
FRPNC-2		3	1.84	46.1	41.9	1.10	31.2	
FRPNC-3		4	2.46	53.8	47.2	1.14	37.2	
FRPHC-1	50.00	2	0.71	41.5	35.4	1.17	29.8	
FRPHC-2		3	1.07	57.3	58.2	0.98	34.5	
FRPHC-3		4	1.45	58.2	65.9	0.88	26.5	
STNC-1	23.54	2	0.14	23.3	20.5	1.14	11.2	Yield of reinforcing bars(steel)
STNC-2		3	0.21	33.2	30.2	1.10	9.7	
STNC-3		4	0.30	43.1	39.4	1.09	12.3	
STHC-1	50.00	2	0.17	23.5	21.0	1.12	9.8	
STHC-2		3	0.26	36.0	31.2	1.15	9.4	
STHC-3		4	0.35	44.0	41.2	1.07	9.5	

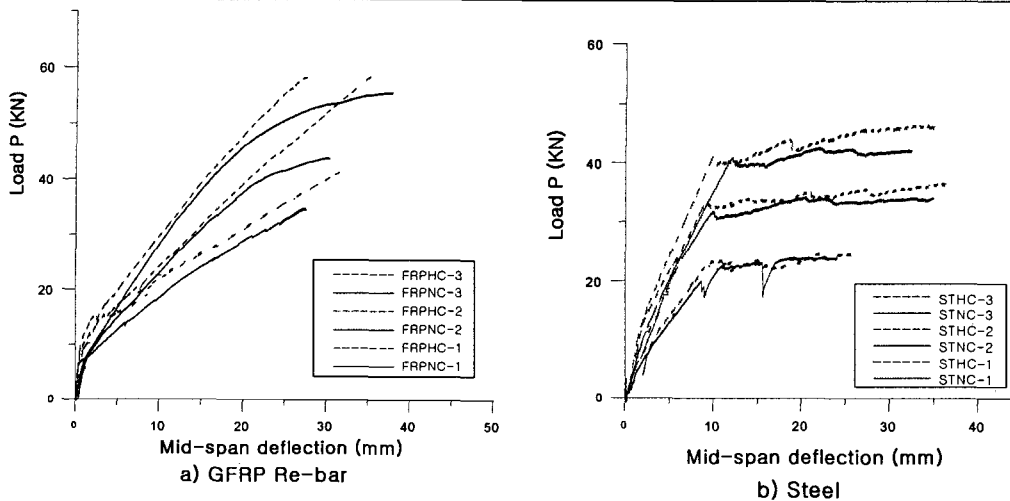


그림 2 시험체 하중-변위곡선

3.2 균열상황 및 처짐

GFRP 시험체의 균열은 순수 휨구간에서 최초 발생하였고 하중이 증가할수록 점차 지점부로 발전하는 형태로 진전되었다. 그림 3은 대표적인 균열발생양상을 나타낸 것이다.

GFRP 시험체의 보강비가 2배 증가할수록 균열간격은 1/4정도 작게 나타났고, 보통강도 콘크리트를 사용할 때보다 고강도 콘크리트 사용한 경우에도 균열간격이 거의 1/2정도 작아졌다.

GFRP 시험체의 처짐은 RC보 보다 2.5-3.3배 정도 크게 발생하였고, 고강도 콘크리트보다 보통강도 콘크리트를 사용한 경우 다소 크게 발생하였다.

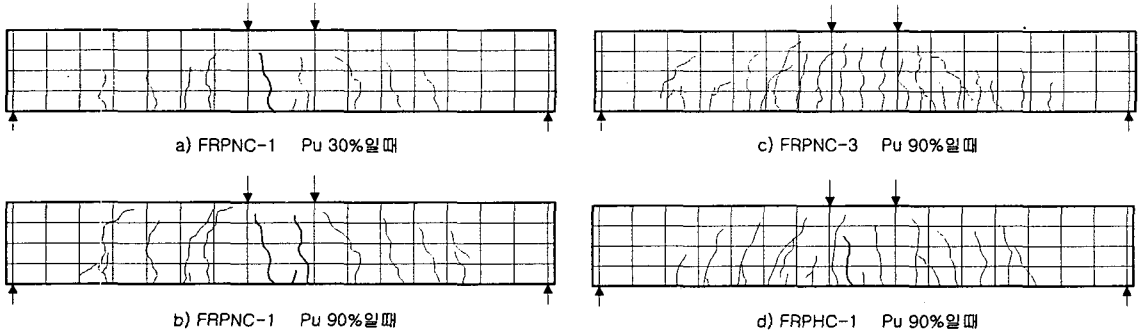


그림 3 균열상황 및 균열간격

4 결론

본 연구에서는 GFRP 보강비와 콘크리트 강도를 변수로 하여 시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) GFRP 보강비를 증가할수록 최대하중이 증가하는 것으로 나타났으며, 그 정도는 고강도 콘크리트에서 더 효과적인 것으로 판단되며, 파괴모드는 더 취성적인 경향을 보이는 것으로 나타났다.
- 2) 파괴시의 최대처짐은 GFRP 보강비가 증가할수록 다소 증가하는 것으로 나타났으며, 콘크리트 강도의 증가에 따라서는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 균열폭과 균열간격은 보강비와 콘크리트 강도가 증가할수록 작게 나타났다.
- 3) ACI Code 440에 의하여 휨강도를 계산한 결과 이론값보다 실험값이 7-10%정도 크게 나타나 GFRP 부재를 ACI Code 440에 의하여 설계할 경우 다소 안전측의 설계로 평가됨을 알 수 있다.

감사의 글

본 논문은 (주)동원건설의 GFRP-Re bar의 지원을 받아 이루어진 것으로 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. 문한영, 김성수, 김홍삼, "우리나라 콘크리트 구조물의 철근 부식 현황", 콘크리트학회지, 한국콘크리트학회, 제13권 5호, 2001, pp. 58-63.
2. Benmokrane, B., Chaallal, O., and Masmoudi, R. (1996), "Flexural Response of Concrete Beams Reinforced with GFRP Rebars," ACI Structural Journal, Vol.93, No.1, pp. 46-55
3. Radhouane Masmoudi, Michele Theriault and Brahim Benmokrane(1998), "Flexural Behavior of Concrete Beams Reinforced Plastic Reinforcing Rods," ACI Structural Journal, Vol.95, No.6, pp. 665-676.
4. ACI Committee 440, Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars, American Concrete Institute, U.S.A., 2000.
5. 윤순종, 김병석, 유성근, 정재호, 정상균 "유리섬유 보강 플라스틱 Re-Bar 다발로 보강된 1방향 콘크리트 슬래브의 휨거동에 관한 실험적 연구", 한국복합재료학회지 제16권 3호, 2003, pp. 32-40.