

FRP 보강 콘크리트 보의 장기처짐에 관한 실험연구

An Experimental Study on the Long-Term Deflection of Concrete Beams with GFRP Rebars

박 지 선* 유 영 준** 박 영 환*** 김 금 환****
Park, Ji Sun You, Young Jun Park, Young Hwan Kim, Keung Hwan

ABSTRACT

This study is to investigate experimentally the long-term deflection of concrete beams with glass fiber reinforced polymer (GFRP) reinforcing bars subjected to the sustained flexural load for periods of up to 6 months. A total of four beams were tested. All beams were designed with net span of 2,700 mm and rectangular cross-section of 200 mm width and 300 mm depth. From the test results the time-dependent deflection of concrete beams with GFRP bars was about 40 to 70% of the initial deflection. As well as this paper compares the long-term deflection calculated by 440.1R-06 design guide and that of tested beams. The comparison indicated that the calculated long-term deflection overestimate the observed long-term deflection of concrete beams with FRP rebars.

요 약

FRP 보강근을 이용한 콘크리트 부재는 균열이 발생하면 강성이 상대적으로 작아지고 이와 같은 부재의 낮은 강성은 사용하중 상태에서 허용처짐량이나 균열폭 등과 같은 사용성이 부재의 설계를 결정하게 되는 주요 요인으로 작용하게 된다¹⁾. 미국, 캐나다, 일본 등의 선진국에서는 FRP 보강근을 사용한 콘크리트 부재의 연구가 활발히 진행되어 사용성에 대한 설계기준(안)이나 지침서를 제안하고 있으나 국내에서는 아직까지 이에 대한 연구가 미비하다. 따라서 본 연구에서는 보강비를 달리한 총 4개의 콘크리트 보에 대하여 180일간 지속하중을 재하하였으며 이들 보의 순간처짐(short-term deflection) 및 장기처짐(long-term deflection)의 발생을 관찰하였다. 뿐만아니라 현재 ACI에서 제안하는 장기처짐값을 계산하여 그 결과를 실험값과 비교·분석하였다. 비록 제한된 수의 비교이지만 180일간 지속하중을 받은 콘크리트 보의 장기처짐은 재하시 순간처짐의 약 40~70%까지 발생되었으며 ACI에서 제안한 장기처짐값은 실제 보에서 발생한 장기처짐값을 최대 46% 과대평가하였다.

*정회원, 한국건설기술연구원 건축구조·재료연구실 연구원

**정회원, 한국건설기술연구원 복합구조연구실 선임연구원

***정회원, 한국건설기술연구원 구조시스템연구실 책임연구원

****정회원, 한국건설기술연구원 건축구조·재료연구실 책임연구원

1. 서 론

FRP 보강근으로 보강한 콘크리트 보에 균열이 발생하면 보의 유효 단면이차모멘트가 작아짐에 따라 상대적으로 강성이 작아지고 강성의 저하는 처짐이나 균열폭 등과 같이 부재의 사용성과 관련된 요소가 설계를 결정하게 되는 주요 요인으로 작용하게 된다¹⁾. 따라서 사용하중이 작용시, FRP 보강 콘크리트 보의 사용성에 불리한 처짐, 변형이 일어나지 않도록 설계하기 위해서는 허용 처짐과 균열폭에 대한 제한이 필요하다.

이에 대하여 미국, 캐나다 및 일본 등 선진국들에서는 활발한 연구를 전개하여 설계기준(안) 및 지침서에 제안·적용하고 있으나 국내에서는 이에 대한 연구사례는 전무한 실정이다⁴⁾. 따라서 본 연구에서는 4종의 보강비를 갖는 FRP 보강근으로 보강한 콘크리트 보를 제작, 180일간 지속하중을 재하하여 콘크리트 보의 장기처짐의 변화를 관찰하였으며 ACI 440.1R-06에서 제안한 장기처짐식으로 계산한 결과와 비교·분석하였다.

2. ACI 440.1R-06¹⁾

장기처짐(long-term deflection)은 하중이 구조물에 처음 재하 될 때 발생하는 순간처짐(short-term deflection)에 지속하중에 의한 건조수축 및 크리프에 의하여 추가적으로 발생하는 처짐을 나타낸다. ACI 440위원회에서는 FRP 보강근을 사용한 콘크리트 부재의 장기처짐에 대하여 순간처짐에 유효계수를 곱하여 다음 식과 같이 제안하고 있다.

$$\Delta_{(cp+sh)} = 0.6 \xi (\Delta_i)_{sus} \tag{1}$$

여기서 $\Delta_{(cp+sh)}$ 는 장기처짐, ξ 는 시간경과계수로 5년 이상은 2.0, 12개월은 1.4, 6개월은 1.2, 3개월은 1.0이다. Δ_i 는 순간처짐이다.

3. 실험

실험은 보강비에 따른 FRP 보강근 보강 콘크리트 보의 처짐을 관찰하기 위하여 과소보강 1종, 과대보강 2종으로 총 3종류의 보강비에 따른 4개의 콘크리트 보를 제작하여 지속하중을 재하하였다. 콘크리트 보의 크기는 단면 200×300 mm, 길이 2700 mm 이다. 사용한 보강근은 GFRP(Glass Fiber Reinforced Polymer) 보강근으로 공칭지름 12.7 mm, 인장강도 1,050 MPa 이며, 콘크리트는 재령 28 일 압축강도 50 MPa의 레드믹스트 콘크리트를 사용하였다. 표 1은 실험체의 일람이고 그림 1은 실험체의 형상을 나타낸다.

지속하중 재하장치는 Kader 등의 연구를 참고로 그림 2와 같이 자체 제작하였다⁵⁾. 지렛대의 원리를 이용하여 콘크리트 보에 작용되는 하중 P는 추의 무게 M에 대하여 37배 증폭된 값(P=37M)이 작용될 수 있다. 그림 3은 지속하중을 재하중인 실험체이다.

표 1 실험체 일람

실험체명	보강비	작용하중 (kN)	실험체명	보강비	작용하중 (kN)
GB_1	0.79 ρ_{fb}	14.59	GB_3.1	3.22 ρ_{fb}	23.37
GB_2	1.57 ρ_{fb}	14.63	GB_3.2		13.20

주) ρ_b : 평형보강비, $\rho_b=0.003196$

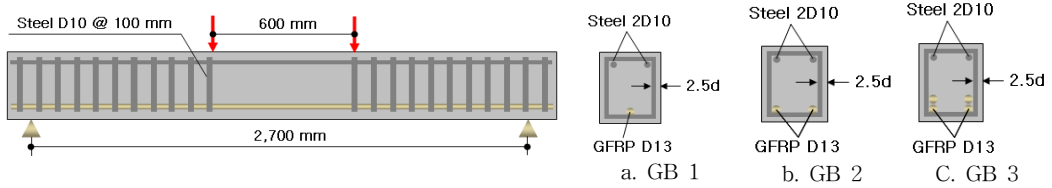


그림 1 보실험체 제원

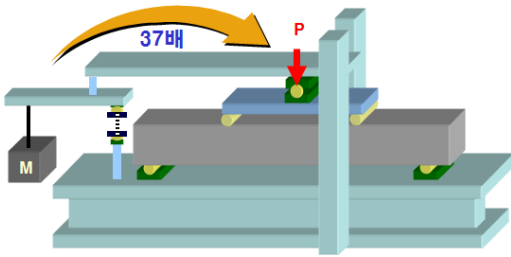


그림 2 지속하중 재하장치



그림 3 지속하중 재하

4. 실험결과 및 분석

그림 4에서는 실험체별 시간에 따른 처짐의 변화량을 나타내었다. 지속하중의 발생 양상을 살펴 보면 모든 실험체에서 초기 하중이 재하됨에 따라 순간적인 처짐이 크게 발생하였고 시간이 경과됨에 따라 장기처짐은 완만한 기울기를 나타내며 증가하였다.

표 2에서는 각 실험체별 순간처짐과 장기처짐 발생량을 비교하였다. 지속하중에 의한 장기처짐은 순간처짐의 약 40~70%까지 발생되었다. 과소보강된 GB_1과 과대보강된 GB_2를 비교하면 유사한 크기의 하중에 대하여 과소보강된 실험체 GB_1에서 순간처짐 및 장기처짐이 상대적으로 크게 발생되었다. 또한 이 두 실험체의 장기처짐값을 ACI에서 제안한 장치처짐값과 비교하면 GB_1과 GB_2

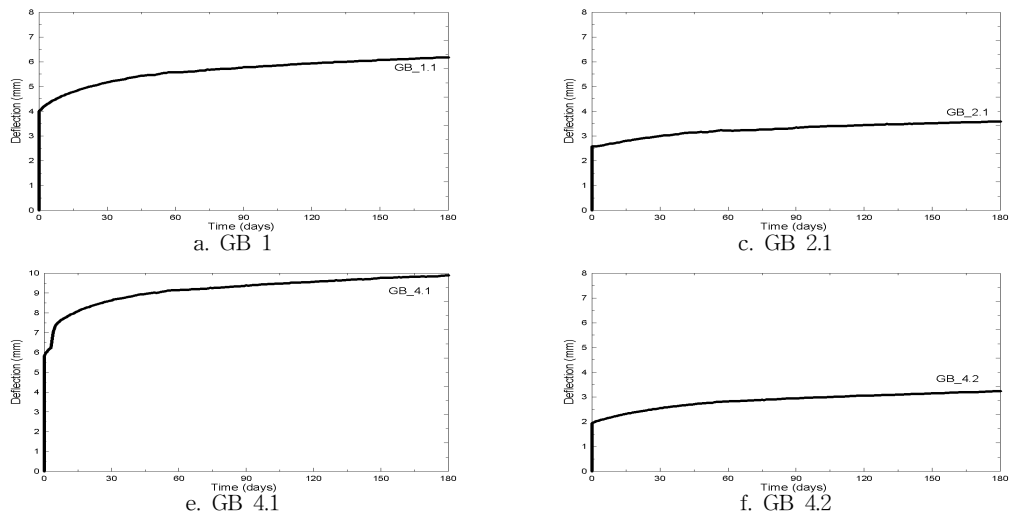


그림 4 각 실험체별 시간에 따른 처짐변화

표 2 단기하중과 지속하중에 대한 실험체의 처짐 변형량 비교

실험체명	작용하중 (kN)	보강비	순간처짐, A (mm)	장기처짐, B (mm)	ACI 제안식에 의한 장기처짐, C (mm)	B/A (%)	B/C (%)
GB_1	14.59	0.79 ρ_{fb}	4.01	2.17	2.89	54	75
GB_2	14.63	1.57 ρ_{fb}	2.59	1.00	1.86	39	54
GB_3.1	23.37	3.22 ρ_{fb}	5.84	4.05	4.20	69	96
GB_3.2	13.20		1.95	1.28	1.40	66	91

의 실제 처짐량은 ACI 제안값의 각각 약 75, 54%로 ACI 제안식이 장기처짐의 발생을 최대 46%까지 과대평가하였다. 한편, 동일 보강비로 과대보강된 보 GB_3.1과 GB_3.2의 비교로부터, 균열이 발생할 수 있는 하중(23.9 kN)과 근사한 하중을 재하한 GB_3.1(23.37 kN)이 보다 낮은 하중(13.20 kN)을 재하한 GB_3.2와 비교하여 균열 발생으로 인한 강성의 저하로 상대적으로 큰 순간처짐 및 장기처짐이 발생되었다.

5. 결론

본 연구로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 지속하중을 재하한 실험체의 처짐변화를 살펴보면 초기 하중이 재하됨에 따라 순간적인 처짐이 크게 발생하였고 시간의 경과에 따라 완만한 기울기를 나타내며 장기처짐이 발생되었다.
- (2) 180일간 지속하중을 재하한 콘크리트 보의 장기처짐은 순간처짐의 약 40~70%까지 발생되었다.
- (3) 비록 제한된 수이지만 ACI에서 제안한 장기처짐식은 실제 보의 장기처짐 발생량을 최대 46%까지 과대평가하였다.

감사의 글

본 논문은 공공기술연구회의 정책연구사업인 “FRP 복합재료 보강개 개발 및 이를 활용한 콘크리트 구조물 건설기술 개발”의 지원에 의하여 연구되었으며 관련 제위께 감사를 드립니다.

참고문헌

1. American Concrete Institute Committee 440, Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars, American Concrete Institute, 2006.
2. ISIS Canada, Reinforcing Concrete Structures with Fiber Reinforced Polymers, Design Manual No.3 Sep. 2001.
3. Canadian Standard Association, "Design and Construction of Building Components with Fiber-Reinforced Polymers," Canadian Standard Association, 2002.
4. Japan Concrete Institute, TC952, Continuous Fiber Reinforced Concrete, Japan Concrete Institute, 1998.
5. Kader Laoubi, Ehab El-Salakawy, Brahim Benmokrane, "Creep and Durability of Sand-Coated Glass FRP Bras in Concrete Elements under Freeze/Thaw Cycling and Sustained Loads," Cement & Concrete Composite 28, pp.869-878, 2006.