

FRP가 외부 부착된 철근콘크리트보의 시간의존적 변형률 예측

Prediction of Time-Dependant Strain of Reinforced Concrete Beams Externally Bonded with FRP

김 성 후* 한 경 봉** 김 광 수** 김 준 원* 이 인 주* 박 선 규***

Kim, Sung-Hu Han, Kyoung-Bong Kim, Kwang-Soo Kim Jun-Won Lee, In-Ju Park, Sun-Kyu

ABSTRACT

Although researches on the beams strengthened with Fiber reinforced Polymers (FRPs) have recently been conducted around the world, there are few researches on the beams with FRPs under a sustained load. This paper presents the behavior of the beams with Carbon Fiber Reinforced Polymers (CFRP) and Glass Fiber Reinforced Polymers (GFRP) under a sustained load during 300 days. Strains of steel and FRP reinforcement were measured in order to investigate the behavior of the beams. Additionally, Adjusted Effective Modulus Method (AEMM) and Ghali and Farve's method were used to predict increase in the stress and strain caused by creep and shrinkage. Through the experiment, it was found that the beam with CFRP is more effective than the beam with GFRP in terms of flexural strengthening. Compared with analytical results, it was indicated that strains of tension steels were overestimated, whereas strains of compression steels were underestimated.

요 약

복합섬유(Fiber Reinforced Polymers)가 외부 부착된 철근콘크리트 보에 관한 연구는 국내 및 세계 여러나라에서 활발히 진행되고 있으나 장기 거동에 관한 연구는 많이 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 현재 국내에서 많이 사용되고 있는 탄소섬유(Carbon Fiber Reinforced Polymers)와 유리섬유(Glass Fiber Reinforced Polymers)를 철근 콘크리트 보에 외부 부착시킨 후 300일간 지속하중하에서 철근의 변형률, FRP의 변형률을 측정함으로써 FRP 보강 실험체의 시간의존적 거동을 파악하였다. 또한, Adjusted Effective Modulus Method, (AEMM)과 Ghali and Farve의 방법을 사용하여 시간경과에 따른 크리프와 건조수축에 의한 응력과 변형률의 변화를 예측하였다. 실험결과, RC보의 휨 보강 측면으로 보았을 때, CFRP가 GFRP보다 장기거동에 있어 우수한 성능을 보이는 것으로 나타났으며, 이론적으로 산정된 값은 무보강 실험체의 철근 변형률의 경우 비교적 유사하게 예측하고 있으나 FRP로 보강된 실험체들의 인장철근은 다소 과대평가하는 결과를, 압축철근은 과소평가하는 결과를 나타냈다.

*정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 석사과정

**정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 공학박사

***정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 교수

1. 서론

복합섬유(Fiber Reinforced Polymers, 이하 FRP)는 현재 세계 여러 나라에서 보수 및 보강 재료로써 활발히 사용되고 있다. FRP가 외부 부착된 철근콘크리트 보에 관한 연구는 활발히 진행되고 있으나 장기 거동에 관한 연구는 많이 미흡한 실정이며, 거동 예측에 관한 연구는 거의 전무한 실정이다. 본 연구에서는 현재 국내에서 많이 사용되고 있는 탄소섬유(Carbon Fiber Reinforced Polymers, 이하 CFRP)와 유리섬유(Glass Fiber Reinforced Polymers, 이하 GFRP)를 철근 콘크리트 보에 외부 부착시킨 후 300일간의 지속하중하에서 철근의 변형률, FRP의 변형률을 측정함으로써 FRP 보강 실험체의 시간의존적 거동을 파악하였다. 또한 철근 및 FRP의 변형률 예측을 위해, 수정 유효 탄성계수법(Adjusted Effective Modulus Method, 이하 AEMM)과 Ghali and Farve의 방법을 사용하여 시간경과에 따른 크리프와 건조수축에 의한 응력과 변형률의 변화를 예측하였다.

2. 실험

장기거동 변형률 예측을 위한 실험체는 총 3개가 제작되었으며, 단면 치수, 피복두께, 순지간길이, 총 길이는 Fig. 1에 나타내었다. 본 실험에서 고려된 변수는 FRP의 종류이며 사용된 FRP의 종류 및 치수는 Table 1에 나타내었다. 재료실험을 통하여 얻어진 각 재료의 재료 물성 및 사용된 철근의 종류는 Table 2에 나타내었다. CFRP와 GFRP로 보강된 실험체의 시간의존적 거동을 파악하기 위하여 25kN의 지속하중을 재하였다. 또한, 인장철근, 압축철근 및 FRP의 변형률을 측정하기 위하여, 실험체의 중앙부에 일련의 게이지를 부착하였다.

Table 1 Name of Specimen and Parameters

Specimens	Type of FRP	Amount of FRP	Thickness (mm)	Width (mm)	Strengthening Length (mm)
NSF	-	-	-	-	-
LCS	CFRP	1 CFRP Plate	1.2	50	2160
LGS	GFRP	1 GFRP Plate	1.2	100	2160

Table 2 Material Properties

Type of Material	Specified concrete strength (MPa)	Compressive strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Modulus of elasticity (MPa)
Concrete	24	25.7	-	-	2.16×10^4
Steel	H10	-	766.3	457.2	2.01×10^5
	H13	-	679.3	466.2	2.11×10^5
FRP	CFRP	-	3000	-	1.65×10^5
	GFRP	-	1000	-	4.0×10^4

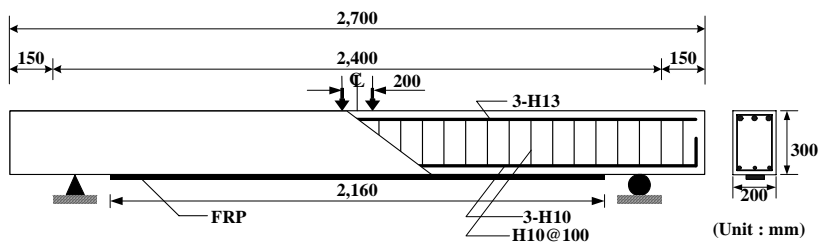


Fig. 1 Drawing of specimen and details

3. 변형률 예측

FRP로 보강된 보의 철근 변형률과 FRP의 변형률을 예측하기 위하여 크리프 계수와 건조수축 변형률은 ACI-209 code의 식을 사용하였으며, 시간의 경과에 따른 콘크리트의 탄성계수 변화를 고려하기 위해, AEMM을 사용하였다. 또한, 크리프와 건조수축에 의한 응력 및 변형률의 변화를 예측하기 위하여, Ghali and Farve의 방법을 사용하였다.

3.1 크리프와 건조수축에 따른 변형률 예측

크리프와 건조수축의 영향에 의한 변형률 및 응력의 변화를 예측하기 위하여 Ghali and Farve는 다음과 같은 식을 제안했다.

$$\Delta\psi = k \left[\phi(t, t_0) \left(\psi + \varepsilon_O \frac{y_c}{r_c^2} \right) + \varepsilon_{cs}(t, t_0) \frac{y_c}{r_c^2} \right] \quad (1)$$

$$\Delta\varepsilon_O = \eta [\phi(t, t_0)(\varepsilon_O + \psi y_c) + \varepsilon_{cs}(t, t_0)] \quad (2)$$

$$\Delta\sigma_c = E_c(t, t_0) [-\phi(t, t_0)(\varepsilon_O + \psi y_c) - \varepsilon_{cs}(t, t_0) + \Delta\varepsilon_O + \Delta\psi y] \quad (3)$$

$$\Delta\sigma_s = E_s(\Delta\varepsilon_O + \Delta\psi y_s) \quad (4)$$

여기서, $\Delta\psi$ 는 크리프와 건조수축에 의한 곡률의 변화, k 는 I/\bar{I} , $\phi(t, t_0)$ 는 크리프계수, ε_O 는 기준점에서의 변형률, y_c 는 기준점에서 압축부의 도심까지의 거리, r_c^2 는 I_c/A_c , $\varepsilon_{cs}(t, t_0)$ 는 건조수축 변형률, η 는 A/\bar{A} , $\Delta\sigma_s$ 는 철근의 응력 변화량, $\Delta\sigma_c$ 는 콘크리트의 응력 변화량을 나타낸다. 모든 실험체의 인장철근과 압축철근의 변형률 비교는 Fig. 2에 나타내었다. SNF, LCS, LGS의 실험과 해석값의 비교는 Fig. 3-5에 나타내었다.

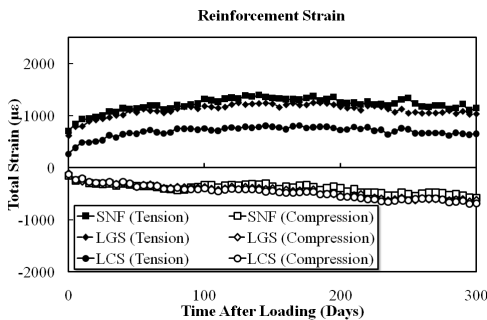


Fig. 2 Total strain of tension and compression steel

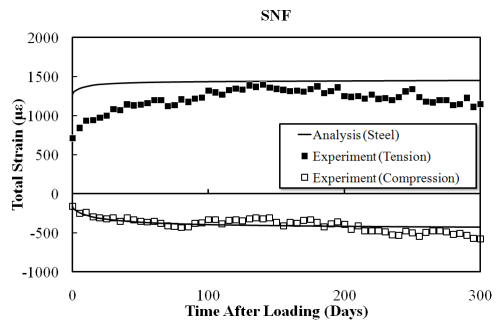


Fig. 3 Comparison of experiment with analysis of SNF

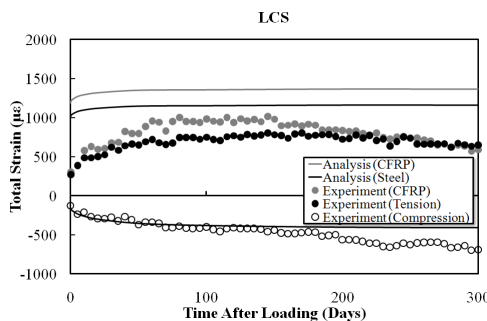


Fig. 4 Comparison of experiment with analysis of LCS

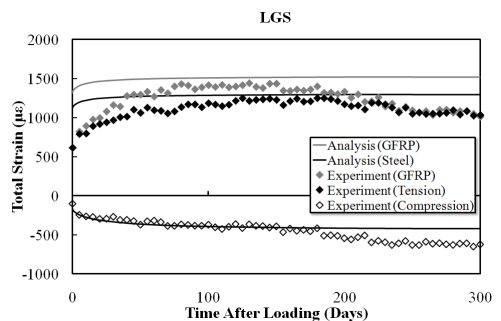


Fig. 5 Comparison of experiment with analysis of LGS

5. 결론

- 1) 각 실험체의 인장철근 변형률과 압축철근 변형률을 비교해 보았을 때, LCS는 SNF보다 약 42%, 그리고 LGS는 10%작은 변형률 값을 나타냈다. 이는 상대적으로 작은 탄성계수를 가진 GFRP가 인장력에 커다란 기여를 하지 못했기 때문으로 판단된다. 따라서, RC보의 인장부 보강 측면으로 보았을 때, CFRP가 GFRP보다 우수한 성능을 보이는 것으로 판단된다.
- 2) Figure 3에 나타난 바와 같이, SNF의 압축철근 변형률은 비교적 유사하게 예측하고 있으나 인장철근 변형률은 300일 지점에서 약 26%의 차이가 발생하였다. CFRP로 보강된 실험체인 LCS를 비교해 보았을 때, 인장철근의 해석결과는 다소 과대평가하는 경향이 있으며, 압축철근의 경우 200일 이전까지는 대체로 잘 예측하고 있으나 200일 이후로는 과소평가하는 경향이 나타났다. GFRP로 보강된 실험체인 LGS를 비교해 보았을 때, 인장철근과 압축철근의 변형률을 매우 유사하게 예측하고 있으나 약 190일 이후의 압축철근 변형률은 다소 과소평가하고 있는 것으로 나타났다.
- 3) 지속하중 혹은 자중에 의한 콘크리트의 장기 소성 변형은 압축철근으로 옮겨가는데, FRP로 보강된 실험체에선 응력 구속 효과가 더욱 두드러지기 때문에 압축철근의 변형률이 시간경과에 따라 보다 큰 폭으로 증가한 것으로 판단된다.
- 4) 일반적으로 장기 처짐을 예측할 때 압축철근량이 중요한 변수가 된다. 압축철근량이 많을수록 장기 처짐은 줄어들게 된다. 지속하중에 의해 부재 단면 내부 압축부의 응력이 콘크리트로부터 압축철근으로 옮겨가기 현상이 장기 처짐을 억제하기 때문이다. 결과적으로 FRP가 부착된 RC 보의 경우 즉시하중에 대한 보강뿐만이 아니라 장기적으로 발생할 수 있는 처짐을 억제하는 장기보강효과 또한 동시에 만족함을 확인할 수 있었다.

감사의글

본 연구는 한국건설교통기술평가원 지정 R&D (06기반구축 B05, 05건설핵심 D11-01) 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김진울, 김광수, 박선규, 이영재, "CFRP가 보강된 철근콘크리트 보의 거동과 연성", 콘크리트학회 논문집, 19권 2호, 2007, pp.225~231.
2. 지상규, 윤현도, 김선우, 이연영, "순환골재를 사용한 철근콘크리트 보의 장기 처짐 특성 및 평가", 콘크리트학회논문집, 20권 1호, 2008, pp.43~50.
3. Ghali A., Farve R. *Concrete structures:stresses and deformations*, Chapman and Hall, London, 1986.
4. ACI Committee 209R, *Prediction of Creep, Shrinkage and Temperature Effect in Concrete Structures*, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 1992.
5. Bazant Z. P., "Prediction of concrete creep effects using age-adjusted effective modulus method", *ACI Journal*, Vol.69, No.4, 1972, pp. 212~217.