

재하상태에서 탄소섬유시트로 보강된 RC보부재의 유한요소해석

FEM Analysis of RC Beams Strengthened with CFS on Loading Situation

송성용* 金刀督純** 최기선*** 이한승**** 유영찬***** 이리형*****
 Song, Sung Yong Kanetou Masayoshi Choi, Gi Sun Lee, Han Seung Rou, Yong Chan Lee, Ri Hyoung

ABSTRACT

This study was performed FEM analysis of RC beams strengthened with CFS, in order to verify the effect strengthened of the loading situation. By load-deflection curve, It was not different that max capacity of RF2-L0 strengthened with CFS on the sound and RF2-L60 strengthened with on the 60% loading situation of service load. When RC beam was shortly strengthened with CFS, bond element of beam on the end was ripped off. Because stress was concentrated on bond element of beam on the end.

1. 서론

건전한 철근콘크리트 보와 사전가력을 한 후 하중을 제거한 상태에서 탄소섬유시트(이하, CFS)로 휨 보강한 실험체에 대해 지금까지 많은 연구가 진행되어져 왔다. 그러나, 실제 구조물에서 보에 휨 보강이 되는 경우에는 보에 내력이 부족하여 보강되는 경우가 대부분이므로 이미 보에는 많은 변형이 생긴 후이다. 따라서 변형이 생기기 전의 건전한 보와 사전가력을 한 후 하중을 제거하여 실제보다 적은 소성변형 상태에서 보의 보강은 보부재와 탄소섬유시트의 합성거동에서 차이가 있을 것이라고 판단된다. 이에 대해 재하상태에서 CFS로 휨 보강한 보 부재에 대한 연구가 필요하다고 여겨진다. 본 연구는 재하상태의 유무가 CFS로 휨보강한 보부재의 구조성능에 미치는 영향을 명확히 하기 위해 균열을 고려한 비선형 유한요소 해석을 하였다.

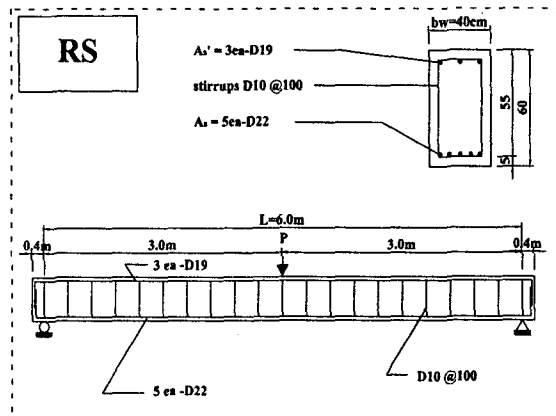


Fig 1 Typical specimen dimension

- * 정회원, Total Information Service Co., Ltd
- ** 정회원, Total Information Service Co., Ltd 대표이사
- *** 정회원, 한국건설기술연구원 연구원
- **** 정회원, 한양대학교 초대형구조시스템연구센터 연구조교수
- ***** 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원
- ***** 정회원, 한양대학교 건축공학과 교수

Table 1 Reinforcement characteristics

Specimen	Reinforcement	Layer (ply)	Bond length (cm)	Preloading (tonf)	L1 (cm)	Remark	Max Load(tf)
RS	$\rho/\rho_b=0.3$	-	-	-	-	Control	28.48
RF2-L0	$A'_s=8.61\text{cm}^2$ $A_s=19.35\text{cm}^2$	2	200	0	197	Loading	34.89
RF2-L60	$A_{cf}=0.666\text{cm}^2$	2	200	15	197	Preloading 60%	37.43

2. 실험체 개요 및 결과

일반적인 사무실 구조실에서 쓰여지는 보부재의 제원을 대상으로 하였다. 주철근으로는 3-D19 압축철근과 5-D22 인장철근을 배근하였으며, 휨과괴를 선행시키기 위하여 D10 스테럽을 100mm 간격으로 배근하였다. Fig 1은 RS 기준실험체의 단면 배근 상세와 실험체 형상을 나타내며, Table 1에 실험변수와 최대내력을 정리하였다. RF2-L0 실험체는 사전가력 없이 탄소섬유시트 2매를 보의 밑면에 부착한 결과 6.41ton의 내력이 증가하였으며, RF2-L60 실험체는 무보강 실험체의 항복강도의 60%를 재하한 상태에서 탄소섬유시트 2매를 부착한 후에 재가력을 한 결과 RF2-L0 보다 2.54ton의 내력이 증가하였다.

3. 비선형 유한요소(FEM) 해석

3.1. 요소분할 및 해석방법

해석모델은 실험체의 대칭성을 이용하여 좌측 절반을 대상으로 하여 Fig 2 에 나타낸 것과 같이 요소분할을 한다. 해석방법은 재료의 비선형을 고려한 2차원 평면응력해석을 하며 하중은 강제변위로 제어한다.

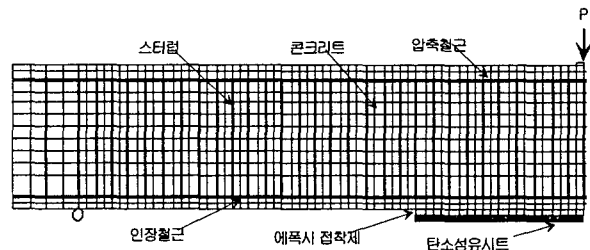


Fig 2 Specimen Modelling

3.2. 각 재료의 물성(Fig 3)

(1) 콘크리트 : 콘크리트의 최대 압축강도까지는 Kupfer의 이론을 이용하고 최대 압축강도 이후에는 연화를 고려한 2직선 모델을 사용했다. 인장강도는 균열발생 전까지는 선형 탄성으로 하고 균열이후에는 지수형 인장연화를 고려했다.

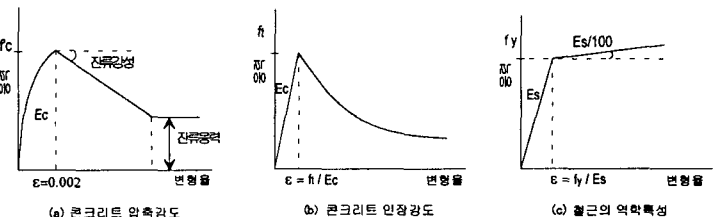


Fig 3 Material Characteristic

(2) 철근 및 CFS : 철근 항복조건에 관하여 Von Mises의 항복조건을 사용했으며 CFS는 탄성체로 고려하였다.

(3) 콘크리트와 CFS의 부착 : 에폭시 접착제의 모델링은 4절점 판본드 요소를 사용하였으며 물성치는 기존의 논문을 참조하여 최대부착응력(τ)을 변화시키면서 하중-변위 곡선과 일치되도록 해석을 하였다. 또, 접착제의 파괴로 인한 박리파괴를 표현을 위해 최대부착응력에 도달시 전단응력을 해방시키고 전단강성을 감소시키는 모델로 표현하였다.

3.3. 실험결과와 해석결과 비교

의 변형율이 최대이며, 박리파괴 이후에는 변형율이 급격히 감소되었다. Fig 8은 하중이 증가함에 따라 접착요소의 전단변형율이 증가되고 있음을 나타내고 있으며 박리시에는 단부의 불연속조건으로 인한 응력의 집중과 전단변형율이 갑자기 증가되므로 박리시 단부로부터 접착요소가 파괴됨을 알 수 있다.

4. 결론

1) 최대내력에서의 균열성상에 대해 실험결과와 FEM해석 결과를 비교해 보면 휨균열 및 압축을 받는 콘크리트의 압파가 잘 표현되고 있어 해석에 사용된 재료의 물성과 요소가 타당하였다.

2) 건전한 상태에서 보강된 RF2-L0와 재하상태에서 보강된 RF2-L60의 해석결과 재하상태가 RC보의 CFS 휨보강에 미치는 영향은 적었으며 최대내력도 거의 같았다. 따라서 재하상태에서 변형된 보의 CFS보강이 충분한 보강효과가 있음을 알 수 있다.

3) CFS로 보강된 보 중앙부에서부터 CFS의 변형율과 부착요소의 전단변형율이 증가되지만, CFS의 박리로 인한 파괴는 단부 부착요소의 불연속으로 인한 응력의 집중과 전단변형이 갑작스런 증가로 인하여 발생한다.

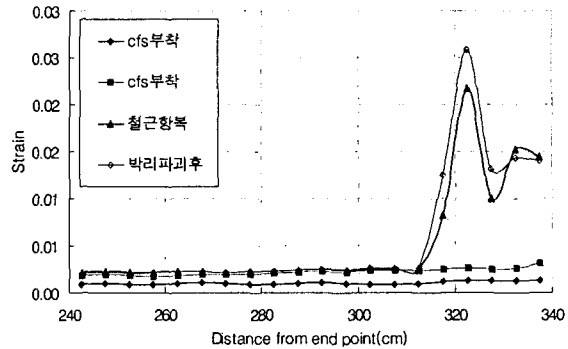


Fig. 7 RF2-L60의 인장주근 변형율 곡선

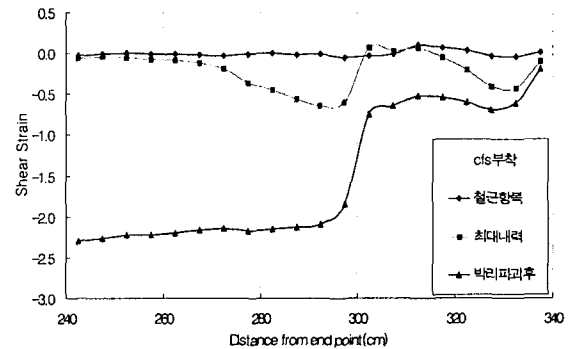


Fig 8 RF2-L60 접착요소의 변형율 곡선

참고문헌

- 1) 李翰承, 友沢史紀, 野口貴文, 鹿毛忠繼 : 炭素纖維シートによって曲げ補強したRC梁の有限要素解析, 콘크리트工学年次論文報告集 Vol.18, No.1, pp.1065~1070, 1996
- 2) 송성용, 나정민, 이용택, 이리형 : 탄소섬유시트로 보강한 RC보의 휨거동에 관한 보의 휨거동에 관한 실험적 연구, 건축학회추계학술발표논문집, pp.347~352, 1998
- 3) Sharif, A. and Al-Sulaimani, G. J.: Strengthening of Initially Loaded Reinforced Concrete Beams Using FRP Plates, ACI Structural Journal, pp.160~168, Mar-Apr, 1994
- 4) Hamid, R. and Allan, H. : Concrete Beams Strengthened with Externally Bonded FRP Plates, Journal of Composites for Construction, pp.44~56, Feb, 2001
- 5) Jones, R. and Swamy, R.: Plate Separation and Anchorage Reinforced Concrete Beams Strengthened by Epoxy Bonded Steel Plates, The Structural Engineer Vol. 66, No. 5, pp. 85~94, Mar 1988