

CFRP 플레이트로 휨보강한 보의 거동에 대한 비선형 FEM 해석

Non-Linear FEM Analysis Study of the Flexural Behavior of the RC Beams Strengthened by CFRP plate

고 병 순^{*} 양 동 석^{**} 박 선 규^{***} 유 영 찬^{****} 박 영 환^{*****}

Koh, Byung Soon Yang, Dong suk Park, Sun Kyu You, Young Chan Park, Young Hwan

ABSTRACT

This paper focuses on the flexural behavior of RC beams externally reinforced using Carbon Fiber Reinforced Plastics plates. (CFRP) A non-linear finite element (FE) analysis is proposed in order to complete the experimental analysis of the flexural behaviour of the beams. This paper is a part of a complete program aiming to set up design formulate to predict the strength of CFRP strengthende beams, particularly when premature failure through plates-end shear or concrete cover delamination occurs.

An elasto-plastic behaviour is assumed for reinforced concrete and interface elements are used to model the bond and slip.

1. 서론

본 연구에서는 콘크리트와 프리스트레스 되지 않은 탄소섬유판(CFRP Plate)의 부착으로 구성되는 보강메카니즘을 해석적인 방법으로 규명하여 보강설계확립 및 보강효과의 안전성을 검증하고자 한다.

기존에 연구되어 왔던 계면의 부착모델에 대하여 실험적 모델과 파괴역학을 기반으로 한 모델을 제시하였고, 파괴역학을 기반으로 한 부착모델을 바탕으로 하여 탄소섬유판과 콘크리트의 본드-슬립모델을 Parametric 해석을 개발하여 휨 실험이 수행된 프리스트레스 되지 않은 실험체에 대하여 검증하였다. Parametric 해석은 프리스트레스 되지 않은 실험체에 대해서 본드-슬립 모델 및 τ_f , δ_f , δ_1 등을 해석변수로 하여 유한요소해석을 수행하였다. 각각의 매개변수에 대한 가장 적합한 값을 반복적인 해석을 통하여 결과값을 도출하였으며, 이러한 매개변수를 통하여 실제 현장에서 적용되는 보강공법에 대한 보강효율 및 내하력을 평가하고 탄소섬유판으로 보강된 철근콘크리트 구조물의 거동을 파악하는데 도움을 주고자 한다.

* 정회원, 성균관대학교 토목환경공학과 석사과정

** 정회원, 성균관대학교 토목환경공학과 박사수료

*** 정회원, 성균관대학교 토목환경공학과 교수

**** 한국건설기술 연구원 건축연구부 수석연구원

***** 한국건설기술 연구원 토목연구부 수석연구원

2. 유한요소 해석

2.1 개요

종합적인 유한요소 모델을 구성하기 위해서는 콘크리트 모델, 철근 모델, 콘크리트-철근의 본드-슬립 모델 등의 기존 철근 콘크리트 보의 해석 시 필요한 모델과 추가적으로 복합소재의 재료모델 및 콘크리트-복합소재의 본드-슬립 모델이 필요하다. 본 연구에서는 DIANA을 사용하여 유한요소해석을 수행하였으며, 콘크리트 모델은 압축축의 Drucker -Prager 모델을 사용하였다. 이때 압축축 1축 응력-변형도 관계는 Mander 등의 모델을 이용하였다.

전체적인 유한요소 모델은 그림 1, 2 와 같으며, 본 연구에서는 철근-콘크리트의 본드-슬립은 고려하지 않았다. 2차원 해석을 수행하였으며, 콘크리트는 평면 응력요소, CFRP 보강재는 트러스 요소, 철근은 rebar 요소, 콘크리트-CFRP 부착층은 계면요소(interface element)로 모델링 하였다.

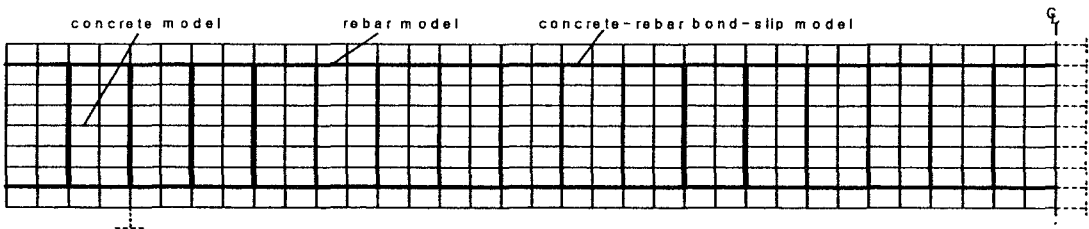


그림 1. 철근 콘크리트 보의 유한요소 모델

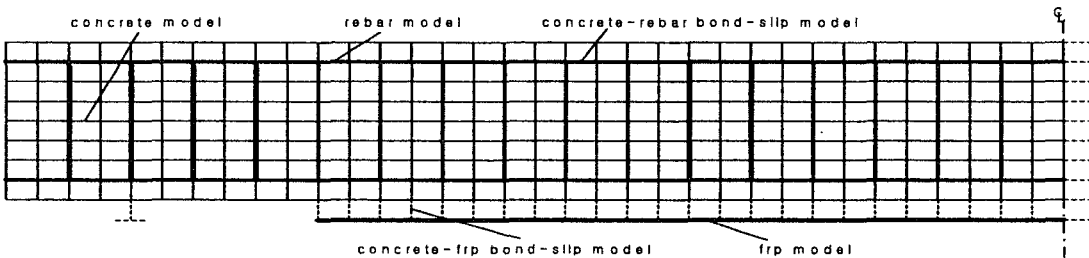


그림 2. 보강된 철근 콘크리트 보의 유한요소 모델

2.2 보강재 접합면의 계면 모델

콘크리트-CFRP 계면에서는 계면요소(interface 요소)를 사용하였으며, 재료모델로 본드-슬립 모델을 적용하였는데, 그림 3과 같은 비선형 곡선 모델을 적용하였다. 특히, 본드-슬립 모델에 사용된 파라미터인 δ_1 , δ_f , τ_f 는 부착이음의 실험결과로 결정할 수 있지만, 부착이음에서 사용된 콘크리트, CFRP, 에폭시 등의 재료가 서로 다르기 때문에 직접적으로 적용하기가 불가능하다. 따라서, 본 연구에서는 반복적이고 파라미터 해석을 통하여 보강재인 탄소섬유판에 대한 본드-슬립 모델을 결정하였다. 콘크리트와 CFRP의 접착층은 전단응력과 수직응력이 서로 연계되어 있다. 하지만 두께가 매우 얇고, 균열을 발생할 경우 그 주위의 접착층 내부에서 전단응력이 집중되기 때문에 독립적인 재료모델로 처리 하였다.

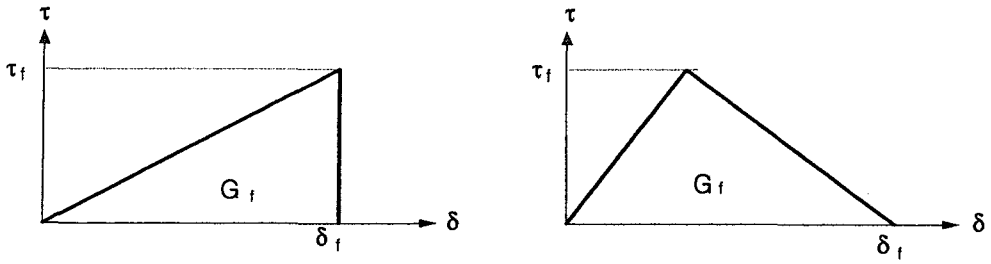


그림 3. 콘크리트-CFRP 계면에 사용된 본드-슬립 모델

3. 해석 결과

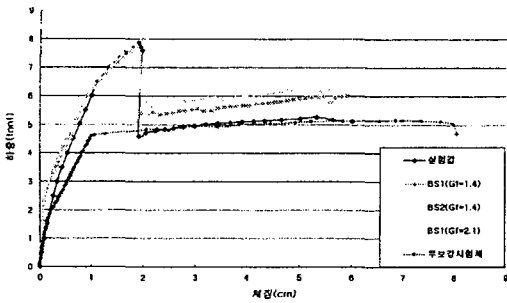


그림 4. 하중-처짐 곡선(본드-슬립 모델 변화)

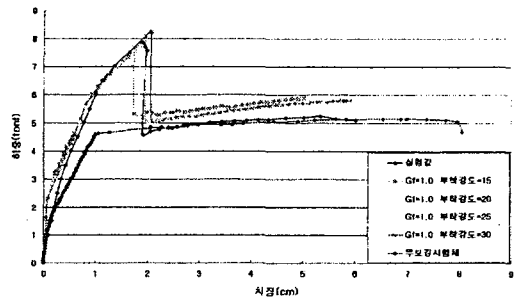


그림 5. 하중-처짐 곡선 ($G_f=1.0\text{kqf/cm}$, 부착강도 변화)

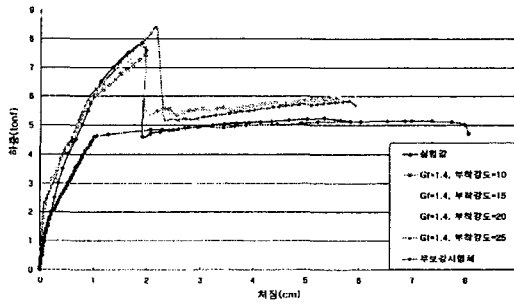


그림 6. 하중-처짐 곡선 ($G_f=1.4\text{kqf/cm}$, 부착강도 변화)

그림 4에서 BS1 과 BS2 는 그림 3의 두 본드-슬립 모델을 의미하며 그림 5,6은 본드-슬립 모델을 변화 시켜서 실험값과 유사한 경향을 보이는 BS1 모델을 적용하여 부착강도를 변수로 유한요소해석 한 결과를 나타내고 있다. 결과적으로 본드-슬립모델에서는 직각삼각형모델(BS1)이 실험값에 근접하였으며, 매개변수로서는 파괴에너지는 1.4 kgf/cm이상, 부착강도는 20 kgf/cm²이상인 모델이 실험 결과와 가장 유사한 경향을 보이고 있다.

4. 결론

탄소섬유판(CFRP) 보강된 철근 콘크리트 보의 거동은 보강재의 부착거동이 큰 영향을 미치고, 파괴양상이나 균열양상이 복잡한 거동의 특성을 보인다. 이러한 예측시를 이용하여 슈트형태(탄소섬유, 아라미드, 유리섬유) 뿐 만 아니라 탄소섬유판도 역시 시공성이나 시공기술자의 숙련도, 환경적인 여건 등에 따라 많은 변수가 존재하고 실험을 수행하는데 있어서 오차가 발생할 수 있다.

본 장에서는 기존에 연구되어온 부착모델을 제시하였고, 실험적 모델 보다는 파괴역학을 기반으로 한 부착모델을 도입하여 parametric 해석을 수행하였다. 해석프로그램은 DIANA을 이용하였으며, 콘크리트, 철근, 탄소섬유판에 대한 합리적인 모델을 제시하였다. Parametric 해석에서는 본드-슬립모델(삼각형모델, 직각삼각형), 파괴에너지(G_f) 및 부착모델에 사용된 매개변수인 δ_1 , δ_f , τ_f 등을 변화시켜 하중조건에 따른 무보강 기준실험체와 보강실험체에 대하여 비선형 유한요소해석을 수행하였다. 결과적으로 본드-슬립모델에서는 직각삼각형모델이 실험값에 근접하였으며, 매개변수로서는 파괴에너지는 1.4 kgf/cm 이상, 부착강도는 20 kgf/cm² 이상인 모델이 가장 적합한 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 심종성, 배인환 (1997), "강판 및 탄소섬유로 보강된 철근콘크리트에 대한 해석적 연구", 한국콘크리트학회 논문집, 제 9권 제 6호, pp. 129-137.
2. 한만엽 (1997), "보수·보강재료 및 공법개발 연구", 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 제 9권, 제 1호, pp.592-597
3. 이리형, 이현호, 구은숙(1998), "탄소섬유슈트로 휨보강한 RC보의 거동에 관한 실험적 고찰", 대한건축학회 논문집, 대한건축학회, 제14권 제6호, pp. 77~84
4. 연길환, "탄소섬유를 사용한 RC보의 구조거동에 관한 기초적 연구", 대한건축학회논문집, 제7권 6호, 1991. 12. pp229~236
5. 건설교통부, "교량구조물의 보수·보강편람", 1994
6. 일본도로협회, "도로교 보수편람", 1985
7. 中島規道, "アラミド纖維シートにより補強した鐵道高架橋のせん斷性状", 콘크리트學年次論文報告集, 第19卷 第2号, 1997. 6.
8. 關島謙藏, "ガラス纖維を用いたH形FRPの曲げ性状に関する解析的研究", 콘크리트學年次論文報告集, 第20卷 第3号, 1998. 7.
9. Ehsani, M.R. and Saadatmanesh, H., (1990-a), "Fiber Composite Plate for Strengthening Bridge Beams", International Journal of Composite Structures Volumn 15, Number 4, Elsevier Science Publishers, England, 1990, pp.343~355
10. Francois Buyle-Bodin, Emmanuelle David and Eric Ragneau (2002), "Finite element modelling of flexural behaviour of externally bonded CFRP reinforced concrete structures", International Journal of Engineering Structures Number 24, Elsevier Science Publishers, England, 2002, pp.1423~1429