

# 철근 및 FRP Bar 콘크리트보의 전단변형 특성

## Shear Deformation Characteristics of Concrete Beams Strengthened with Steel/FRP Bar

신근옥\*  
Shin, Geun Ok

이창신\*\*  
Rhee, Chang Shin

김대중\*\*\*  
Kim, Dae Joong

김 우\*\*\*\*  
Kim, Woo

### ABSTRACT

This paper deals with the shear deformation characteristics of concrete beams strengthened with steel/FRP Bar. Applying the shear behavioral model based on shear deformation compatibility to RC beams tested by Ahmed K. El-Sayed et al.(2006), their transverse deformation in the web are calculated at ultimate loads after decoupling the shear carried by arch action in each beams. The calculated transverse deformation at ultimate loads are nearly same for the different reinforcement ratio. From these results, the temporary transverse deformation limit criterion is deduced. Using the proposed temporary limit criterion, the shear strength of concrete beams strengthen with FRP Bar tested by Ahmed K. El-Sayed et al.(2006) is predicted. These predicted values are compared with the measured values and the results are also compared with the current ACI and JSCE equation. The proposed method predicts the ultimate shear capacities more accurately than the equation of ACI and JSCE code. The predictions by the ACI and JSCE code are founded to be very conservative.

### 1. 서론

근래의 전단에 대한 연구는 실험 결과에 의존하는 것 보다 모든 경우에 일반적으로 적용할 수 있는 해석 모델을 개발하는데 관심이 집중되고 있다. 이러한 의도로 Kim은 휨과 전단이 동시에 작용하는 철근콘크리트 부재의 전단력은 휨모멘트의 변화율이라는 관계를 바탕으로 분산트러스 이상화 기법을 적용하여 전단거동을 설명할 수 있는 새로운 해석 모델을 개발하였다. 새로운 해석모델은 복부의 전단변형은 상·하현재의 상대적인 수평 변위량으로부터 산정한 전단변형과 일치해야 한다는 전단변형 적합조건에 기반하여 제안되었다. 또한, 아치작용과 보작용의 구성비인 아치계수- $\alpha$ 를 도입하고, 철근력을 이용하여 상·하현재의 상대적인 수평변위량에 의한 전단 변형량을 유도하였다. 제안 모델에 대한 자세한 설명은 참고 문헌 1에 있고 모델에 대한 요약은 그림 1과 같다.

이 논문은 해석모델의 확장성 및 적용성을 검증하기 위해 철근콘크리트보의 전단변형 특성을 나타내는 수직변형량을 임시적인 파괴기준으로 설정하고, Ahmed K. El-Sayed et al.(2006)의 실험결과에 적용하였다.

### 2. 철근콘크리트보

전단균열이 발생한 보의 수직변형량은 전단경간 중앙 부근에서 최대값을 나타내고 하중점과 지점으로 갈수록 감소하는 형태를 나타낸다고 실험을 통해 알려져 있다. 이러한 사실을 바탕으로 작용하중에

\* 정회원, 전남대학교 토목공학과 석사과정  
\*\* 정회원, 전남대학교 토목공학과 박사과정

\*\*\* 정회원, 남도대학 토목환경과 부교수  
\*\*\*\* 정회원, 전남대학교 토목공학과 교수

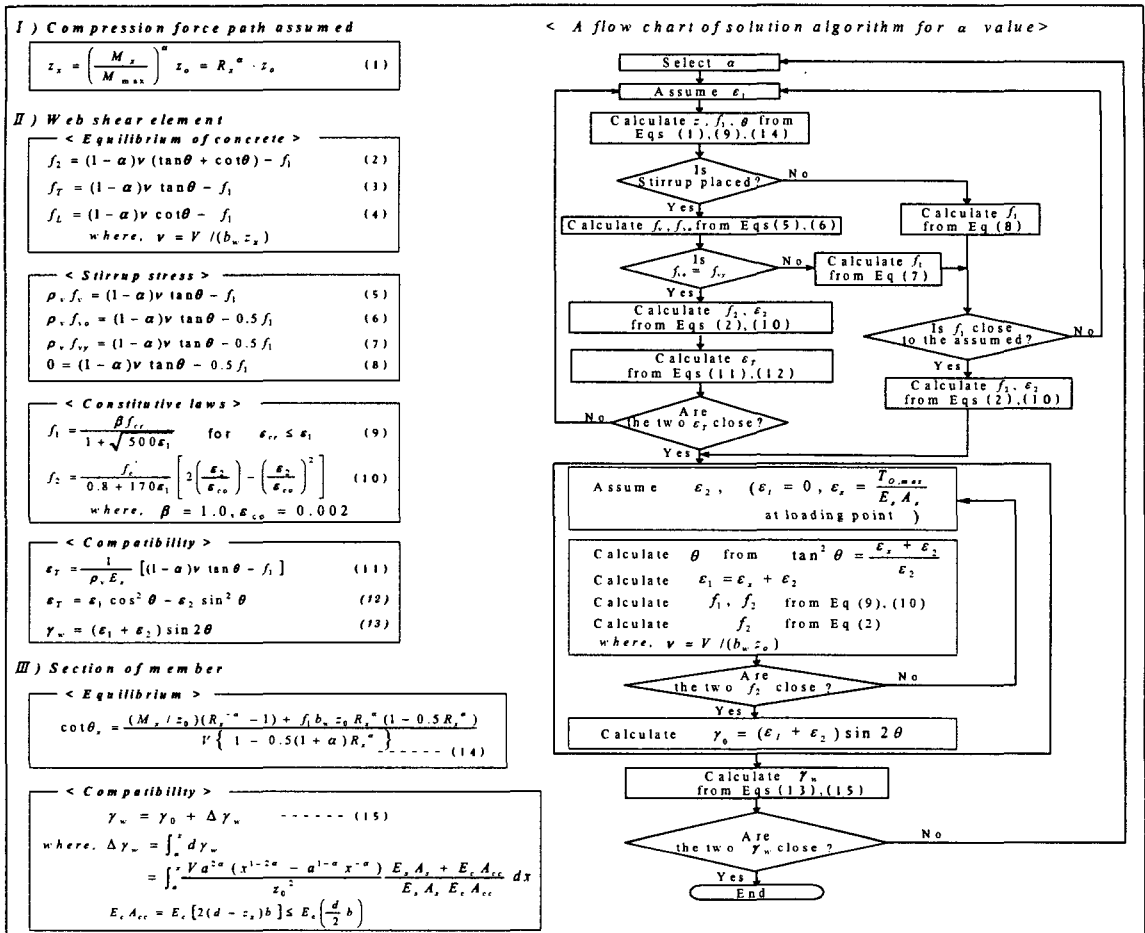
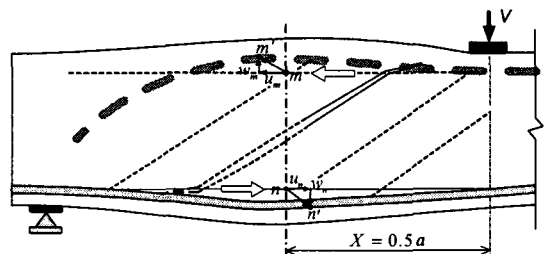


그림 1 해석 모델 요약

대해 균열이 발생한 철근콘크리트보를 그림 2와 같이 나타낼 수 있다. 그림 3은 Ahmed K. El-Sayed et al.(2006)이 실험한 철근콘크리트보를 제안 모델로 해석하여 얻어진 수직변형량을 보의 전단경간에 대해 나타낸 것이다. 해석에 의한 수직변형량의 분포는 실험에 의한 수직변형량 분포와 동일한 형태를 나타내고, 이것은 제안 모델이 보의 전단 거동을 잘 반영하고 있음을 나타낸다. 또한, 주철근비가 변하는 시험체에 대해 지간에 따른 수직변형량 분포가 거의 일치함을 알 수 있다. 주철근비와 파괴하중이 서로 다른 보가 0.166mm로 거의 동일한 수직변형량을 나타낸다는 사실은 수직변형량이 보의 파괴에 영향을 주는 중요한 인자임을 말한다. 그림 4는 전단경간 중앙에서 하중증가에 따른 수직변형량의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 상대적으로 주철근비가 낮은 보는 ACI에서 제안한 보의 전단균열 하중인  $1/6\sqrt{f_{ck} b_w d}$ 에서 이미 큰 수직변형량이 발생하여 약간의 하중증가에 대해 파괴값에 도달하였다.



transverse deformation ;  $w = w_m + w_n = \epsilon_1 \cdot z_x$

그림 2 전단 파괴 기구

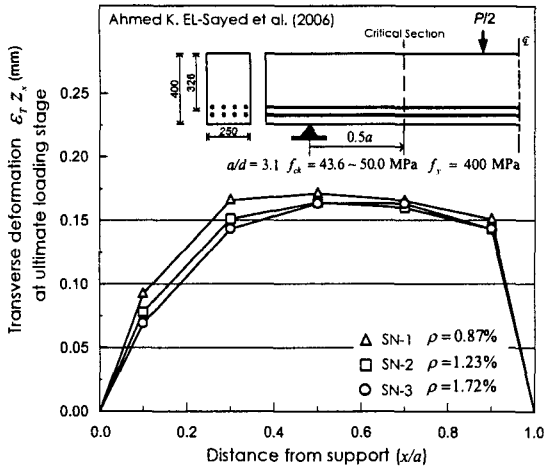


그림 3 극한하중단계에서 수직변형량의 시간별 분포

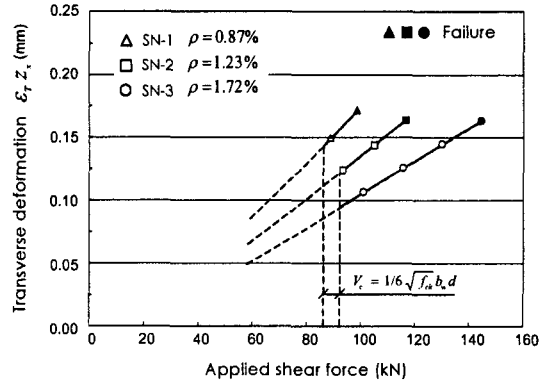


그림 4 하중단계에 따른 수직변형량 변화

반면, 주철근비가 높은 보는  $1/6\sqrt{f_{ck}}b_w d$ 에서 비교적 작은 수직변형량이 발생하였고 하중증가에 대해 점진적으로 증가하다가 파괴값에 도달하였다. 하중증가에 대한 수직변형량의 이러한 경향은 주철근비 변화에 따른 보의 파괴양상을 잘 반영하고 있다.

### 3. FRP Bar 콘크리트보

철근의 부식은 철근콘크리트 구조물의 수명을 단축시키는 주요 원인이며, 공용기간 중에 많은 유지관리비용을 발생시키고 있다. 이러한 재료적 문제를 해결하기 위해 철근에 비해 내부식성이 뛰어나고 고강도인 섬유복합재료(Fiber Reinforced Polymers, FRP)가 철근의 효과적인 대체재로 제안되고 있으며, 국내외적으로 FRP 보강근의 개발 연구가 활발하다. 제안 모델이 사용재료가 변화하여도 일반적으로 적용가능한지 검토하기 위해 FRP 보강 콘크리트보에 대한 검토를 수행하였다.

철근콘크리트보의 해석결과로부터 수직변형량이 보의 파괴를 결정하는 중요한 인자임을 확인하였다. 앞에서 해석한 철근콘크리트보의 파괴하중단계에서 전단경간 중앙의 평균 수직변형량인 0.166mm를 임시적인 파괴기준으로 선정하고, 동일한 해석모델을 이용하여 Ahmed K. El-Sayed et al.(2006)이 실험한 FRP Bar 콘크리트보의 전단강도를 예측하였다. 그 결과를 그림 5와 그림 6에 나타내었다. 그림 5는

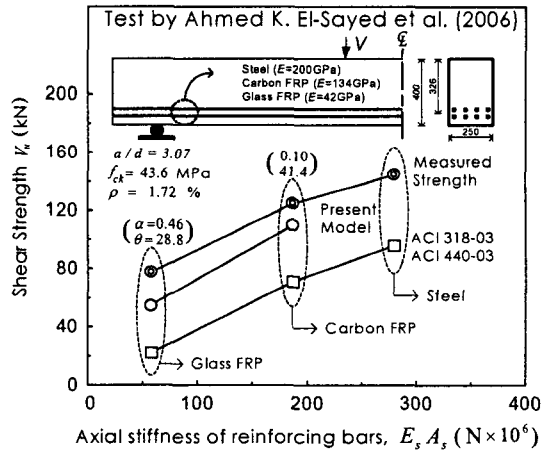


그림 5 인장보강재 변화에 따른 전단강도 예측

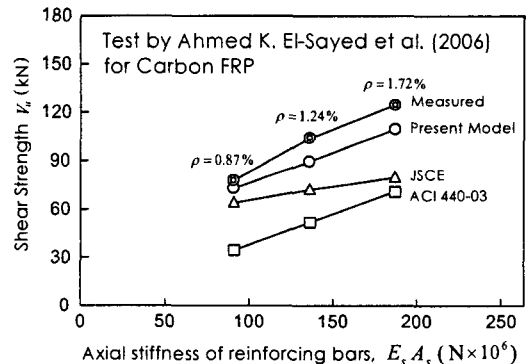


그림 6 Carbon FRP의 축강성 변화에 따른 전단강도 예측값 비교

주철근비 및 콘크리트 압축강도가 동일하고 인장재로 각각 Carbon FRP와 Glass FRP Bar를 사용한 보의 강도를 예측한 것이다. ACI 설계기준식에 비해 비교적 정확하게 강도를 예측함을 알 수 있다. 그림 6은 서로 다른 비율의 Carbon FRP Bar로 보강된 보의 강도를 예측한 것으로서 JSCE나 ACI 설계기준에 비해 제안한 해석모델이 정확한 강도예측을 한다. ACI 설계기준에 비해 JSCE 설계기준이 더 정확하게 강도를 예측하지만, 두 기준 모두 보수적인 결과를 나타낸다.

#### 4. 결론

이 논문은 Kim이 제안한 해석모델의 확장성과 적용성을 검증하기 위해 수행되었다. 제안된 해석모델을 주철근비가 서로 다른 철근콘크리트보에 적용하여 전단변형 특성을 파악하고자 하였다. 해석결과로부터 보의 전단경간에 대한 수직변형량 분포는 전단경간 중앙에서 최대값을 나타내고, 하중점과 지점쪽으로 갈수록 감소한다는 사실을 확인하였다. 그리고 주철근비가 서로 다른 철근콘크리트보의 파괴 하중단계에서 수직변형량이 거의 일치하였다. 이러한 사실로부터 수직변형량이 콘크리트보의 파괴에 영향을 주는 중요한 인자라고 판단하고 철근콘크리트보에서 측정된 평균 수직변형량 0.166mm를 임시적인 파괴기준으로 선정하였다.

선정한 파괴기준을 동일한 해석모델을 이용하여 Ahmed K. El-Sayed et al.(2006)이 실험한 FRP Bar 콘크리트보에 적용하고, 전단강도를 예측하였다. 해석모델로 예측한 전단강도는 ACI 및 JSCE 설계기준으로 예측한 강도에 비하여 정확하였고, ACI 및 JSCE 설계기준은 보수적인 결과를 나타냈다.

본 논문에서 수직변형량을 기준으로 선정된 파괴기준은 지극히 제한적인 실험 자료를 해석하여 결정되었다. 비록 FRP Bar 콘크리트보에 대해 다른 설계기준보다 비교적 정확하게 전단강도를 예측하였으나, 향후 다양한 부재와 실용적 적용을 위한 파괴기준 특성에 관한 연구가 더 필요하다.

#### 감사의 글

이 연구는 건설교통부에서 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2004년도 건설핵심기술연구 개발사업(과제번호:04 핵심기술 C02-02)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 김 우, 이창신, 정제평, "전단변형적합조건에 기반한 철근콘크리트 부재의 전단 해석 모델." 콘크리트학회논문집, 18권, 3호, 2006, pp.379~388.
2. ACI Committee 318, "Building Code Requirement for Reinforced Concrete and Commentary (318R-99)," ACI, Detroit, M.I. 1999, 391 pp.
3. ACI Committee 440, "Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars(ACI 440.1R-0.)," ACI, Farmington Hills, Mich., 2003, 41pp.
4. El-Sayed, A. K., El-Salakawy, E. F., and Benmokrane, B., "Shear Strength of FRP-Reinforced Concrete Beams without Transverse Reinforcement," *ACI Structural Journal*, Vol. 103, No. 2, Mar.~Apr. 2006, pp. 235~243.