

# 전단이 지배하는 RC 보의 주철근 인장력 산정

## Evaluation of Longitudinal Steel Tension in Shear-Critical RC Beams

정 제 평\*      김 대 중\*\*      김 우\*\*\*  
Jeong, Jae Pyong      Kim, Dae Joong      Kim, Woo

### ABSTRACT

The measured longitudinal reinforcement tensions in the shear-critical RC beams were significantly higher than the calculated values by the beam theory. This may be attributed to the reduction of the internal-moment arm length by the development of the arch action. In this paper, the measured longitudinal reinforcement tensions in the test performed by Kim<sup>4</sup> were compared with those predicted by the various truss model.

### 1. 서 론

지금까지 철근콘크리트 보의 주철근 인장력은 베르누이 적합 보이론을 적용하여 산정하고 있는 실정이다. 그러나 전단이 지배하는 RC 보의 주철근 인장력은 기존의 베르누이 적합 보이론으로 계산한 값 보다 훨씬 크게 발생한다. 이와 같은 주철근 인장력의 증가현상은 주로 보의 아치작용(arch action)에 기인한다. 즉, 현행 설계개념이나 평행트러스모델은 베르누이 적합가정을 따르기 때문에 내부모멘트팔길이가 보의 경간에 따라 일정한 값이 되어 보작용(beam action)만을 고려하고 아치작용은 반영하지 못하기 때문이다. 또한 고전트러스모델(classical truss model ; Ritter)을 개선한 팬트러스모델(fan truss model ; Marti), 스트럿-타이를 갖는 트러스모델(truss model combined with strut-ties ; Walraven and Niwa) 등의 평행트러스모델(parallel truss model)들은 부정정구조이기 때문에 기하학적 형상 선정뿐만 아니라 각 요소의 적절한 축강성 평가라는 또 다른 문제가 수반되는 단점이 있다. Leonhardt(1965)가 제안한 아치트러스모델도 아치작용에 의한 기하조건이 변수가 되기 때문에 정량적 설명이 힘들다. 따라서 이 연구에서는 RC 보의 실제 주인장 철근력을 측정 한 Kim, Kim and White(1998)의 실험자료 분석하여, 전단경간에 따른 주철근 인장력의 분포를 다양한 트러스모델과 비교분석하고자 한다.

### 2. 트러스모델에 의한 주철근 인장력 산정

휨과 전단을 받는 일반적인 철근콘크리트 부재는 사용하중보다 훨씬 낮은 하중단계에서부터 휨균열이 발생하며, 이후의 하중단계에서는 콘크리트 휨인장응력을 무시하고, 단면의 휨모멘트  $M$ 은 보 내부에 유발된 콘크리트 압축력  $C$ 와 주철근인장력  $T$ 의 작힘인  $M=Tz=Cz$  로 표현한다(여기서  $z$ 는 내부모멘트팔길이 이다). 이 관계를 전단력은 휨모멘트 변화율과 같다는 관계식  $V=dM/dx$ 에 대입하면 잘 알려진 다음식이 산출 된다.

\* 정희원, 전남대학교 토목공학과 박사과정  
\*\*\* 정희원, 전남대학교 토목공학과 교수

\*\* 정희원, 전남도립 남도대학 토목환경과 조교수

$$V = \frac{d}{dx} (T \cdot z) = z \frac{dT}{dx} + T \frac{dz}{dx} \quad V_b = z \frac{dT}{dx} \quad V_a = T \frac{dz}{dx} \quad (1)$$

위 식에 의하면 전단력은 두 성분으로 구성되어 있다. 첫 번째 항은 주철근 인장력의 변화량인 부착력에 의해 발생하는 전단력을 의미하는 것으로 보통 “보작용(beam action)”에 의한 전단저항성분  $V_b$ 라고 한다. 두 번째 항은 팔길이  $z$ 의 변화에 의한 전단력 성분을 나타낸 것으로 “아치작용(arch action)”에 의한 전단저항성분  $V_a$ 라고 불린다(Park and Pauley, 1975)<sup>5</sup>. 그림 1(a)는 식(1)이 갖는 전단저항성분을 평행트러스모델과 아치트러스모델로 표현한 것이다. 그림 1(b)는 복부 경사각이 두 모델에서 서로 같다는 조건에서 주철근인장력을 도시하였다. 내부모멘트 팔길이  $z$ 가 일정하고 보작용만에 의한 평행트러스모델 보다 아치트러스모델이 식(1)이 갖는 물리적 의미를 충실히 반영하는 것을 알 수 있다.

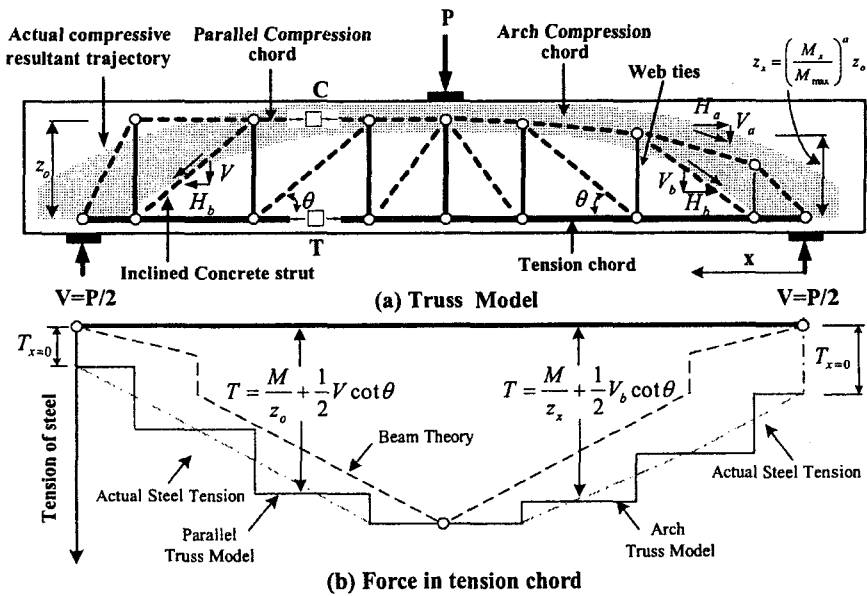
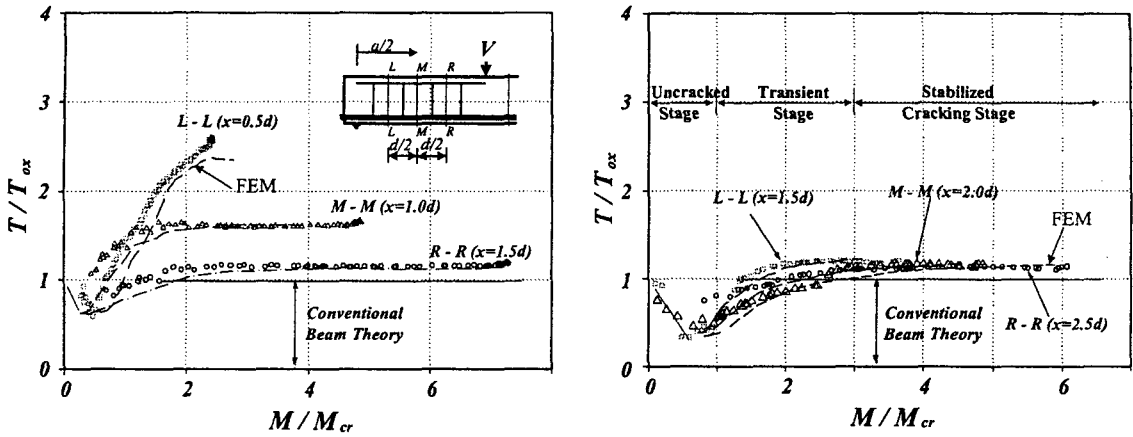


그림 1. Longitudinal Reinforcement Tension calculated by Truss Model

### 3. 실제 주철근 인장력 자료 분석

Kim, Kim and White(1998)가 실험한 보 중에서 주철근비  $\rho=2\%$ , 스테럽비  $\rho_v=0.5\%$ , 전단경간 대 유효깊이 비  $a/d$ 가 2, 2.5, 4인 3개보의 전단경간에서 측정된 주철근 인장력  $T$ 를 그림 2에 기존의 베르누이 적합 보이론으로 계산한 값  $T_{0x}$ 에 대한 비율로 나타냈다. 측정된 철근 인장력은 해당 단면의 작용 하중이 대략  $3M_{cr}$ 에(여기서  $M_{cr}$ 은 균열모멘트) 도달한 이후의 하중 단계에서부터 파괴까지  $T_x/T_{0x}$ 값이 일정해지는 안정화단계(stabilized stage)를 형성하고 있다. 이 사실은 보의 복부에 균열이 발생한 이후부터 파괴하중까지의 하중단계에서 안정된 새로운 저항 내력계가 존재한다는 매우 중요한 의미가 된다. 따라서 철근콘크리트 부재는 하중단계에 따라 초기 하중 단계의 비균열단계(uncracked

stage), 휨과 복부 균열이 점차 발생하여 안정화 단계까지 도달하는 전이단계(transient stage), 작용하중이 휨균열하중의 3배 이후부터 안정화 단계(stabilized stage)을 포함한 3단계로 구분할 수 있다.



(a) 2P2W ( $a/d=2, \rho=2\%, \rho_v=0.5\%$ )

(b) 4P2W ( $a/d=4, \rho=2\%, \rho_v=0.5\%$ )

그림 2.  $M/M_{cr}$  vs.  $T/T_{ox}$  Graph by Kim, Kim and White(1998)

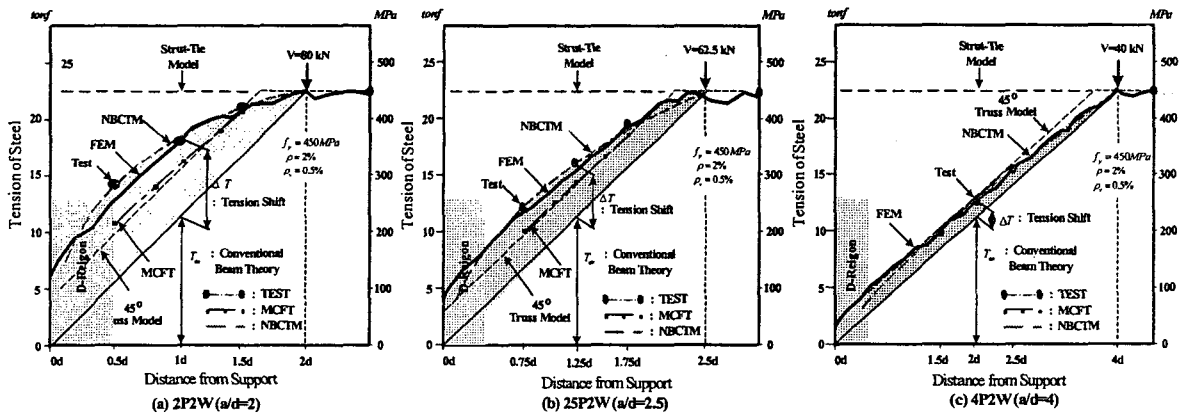


그림 3. Comparison of various truss model with test results by Kim, Kim and White(1998)

안정화단계에서  $T_x/T_{ox}$ 의 크기는 보의 제원에 따라 크게 변한다. 그림 2a에 나타난 2P2W 보의 전단경간 중앙 단면 M에서 안정화단계의 철근력을 살펴보면, 실제 철근력은 베르누이 보이론으로 계산한 값의 1.60배에 해당하는 일정한 값을 유지하고 있다는 것을 알 수 있으며, 이 값은 45도 트러스모델에 의해 산출되는 1.37보다 더 큰 값이다. 한편, 그림 2b에 나타난 4P2W 보의 전단경간 중앙 단면에서의  $T_x/T_{ox}$ 의 값은 1.12로, 45도 트러스모델에 의한 1.18보다 작은 값을 보이고 있다.

Kim, Kim and White(1998)가 실험한 보의 극한하중단계에서 측정된 주철근 인장력을 다양한 트러스모델에 의해 예측한 값과 비교하여 그림 3에 나타났다. 전단경간에서 실제 측정된 주철근 인장력은 현행 설계의 근본인 베르누이 적합 보이론으로 계산한 값보다 훨씬 크게 나타남을 알 수 있다. 또한 45° 트러스모델과 MCFT, 스트럿-타이모델 등과 같은 트러스모델에 비하여 아치트러스모델인 NBCTM<sup>6,7</sup>에 의해 예측한 값이 실제 값과 잘 일치함을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

이 연구는 Kim, Kim and White(1998)의 주철근 인장력을 측정한 실험결과를 분석하고, 다양한 트러스모델과 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

RC 보의 하중이력에 따른 주인장철근력은 하중단계에 따라 초기 하중 단계의 비균열단계 (uncracked stage), 휨과 복부 균열이 점차 발생하여 안정화 단계까지 도달하는 전이단계(transient stage), 작용하중이 휨균열하중의 3배 이후부터 안정화 단계(stabilized stage)을 포함한 3단계로 구분할 수 있었다.

주철근인장력 증가현상이 일정하게 발생하는 안정화 구간에서  $a/d$ 가 2, 2.5, 4 인 보의 실험결과를 살펴보면,  $a/d$ 가 작아질수록 주철근 인장력의 증가량이 증가하였고  $45^\circ$  트러스모델에 의한 주철근 인장력 예측 값과의 차이가 증가하였다. 이것은  $a/d$ 가 작아질수록 아치작용이 증가하기 때문이며, 보작용만을 반영한 평행트러스모델은 이러한 현상을 효과적으로 설명할 수 없었다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(과제번호 R01-2002-000-00592-0) 지원으로 수행된 결과의 일부이며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. ACI Committee 318 (1995), "Building Code Requirement for Reinforced concrete and Commentary", ACI, Detroit, M.I.
2. ASCE-ACI Committee 426 (1973), "The shear strength of reinforced concrete members", *Journal of Structural Division*, ASCE, Vol.99, No.6, pp. 1091-1187
3. ASCE-ACI Committee 445 (1998), "Recent approaches to shear design of structural concrete", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol.124, No.5, pp. 1375-1417
4. Kim, D-J., Kim, W., and White, R. N. (1998), "Prediction of Reinforcement Tension Produced by Arch Action in Reinforced Concrete Beams", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 124, No. 6, pp.611-622.
5. Park, R., and Paulay, T. (1975). "Reinforced concrete structures", Wiley, New York, pp.270-345
6. 김 우, 정제평, 김대중 (2003). "휨과 전단이 작용하는 RC 부재의 해석을 위한 비-베르누이-적합트러스 모델링 기법연구(I)-기본개념유도를 중심으로", 대한토목학회논문집, 제23권, 제6A호, pp1247~1256
7. 김 우, 정제평, 박대성 (2003). "휨과 전단이 작용하는 RC 부재의 해석을 위한 비-베르누이-적합트러스 모델링 기법연구(II)-실질적 해법을 중심으로", 대한토목학회논문집, 제23권, 제6A호, pp1257~1266