

# 트러스 모델을 이용한 스티럽이 없는 철근콘크리트보의 주철근력 평가

## Evaluation of Reinforcement Tension in RC Beams without stirrup using Truss Model

이 창 신\* 이 승 현\*\* 김 대 중\*\*\* 김 우\*\*\*\*  
Rhee, Chang Shin Lee, Seung Hyun Kim, Dae Joong Kim, Woo

### ABSTRACT

This paper describes an evaluation of reinforcement tension in RC beams using the variable truss models. The models were examined with the beam test results by Kim, Kim and White. Consequently, a fixed inclination  $\theta$  at the support un-explains global state of internal force flow in cracked reinforced concrete beams subjected to shear and bending. Accordingly, we must introduce the arch factor for development of consistent model in reinforced concrete beams subjected to shear and bending

### 1. 서 론

부재 실험 결과에 의존하는 전단설계방법은 특정 조건에서만 적용 가능한 것으로서, 적용범위의 제한을 갖고 있다. 근래에 들어 모든 경우에 일반적으로 적용할 수 있는 해석모델을 개발하는데 관심이 점점 집중되고 있으며, 현재 그 합리성을 인정받고 있는 역학적 이론이 트러스 모델이다. Ritter와 Mörsh는 많은 변수들에 의해 영향을 받는 철근콘크리트 보의 전단거동을 쉽게 설명하기 위해 개념적인 도구로 트러스 모델을 사용하였다. 초기 트러스 모델은 사인장균열이 발생한 보의 복부를 45°로 일정하게 기울어진 경사 압축재로 이상화하여 전단력에 저항하는 것으로 가정하였다. 이를 바탕으로 전단과 비틀림을 받는 트러스 모델에 관한 연구가 수행되어져 수정트러스 모델이 완성되었으며, 이후 소성이론의 발전과 더불어 변각트러스 모델, 스트럿-타이 모델 등의 소성트러스 모델로 발전하였다.

이 논문에서는 균열이 발생한 철근콘크리트 보에서 평행 트러스 모델을 이용하여 주철근력을 평가하여, 실험결과와 비교·분석하였다. 또한 보의 아치현상을 고려한 새로운 트러스를 실험결과와 비교하여 정확성 및 일관성을 검증하였다.

### 2 평행 트러스 모델을 이용한 주철근력 평가

스티럽이 없는 철근콘크리트 보의 전단저항기구를 명확히 밝히는 중요한 자료는 실제 어떠한 내력

\* 정회원, 전남대학교 토목공학과 박사과정

\*\* 정회원, 전남대학교 토목공학과 석사과정

\*\*\* 정회원, 남도대학 토목환경과 부교수

\*\*\*\* 정회원, 전남대학교 토목공학과 교수

상태(주철근 인장력, 경사각)의 변화를 알아야 가능한 것이다. 따라서 이 논문에서는 주철근 인장력의 올바른 평가를 위해 트러스 모델을 이용한 주철근력을 평가하고, 이를 실측자료와 비교·분석 하였다. 그림 1은 수정압축장이론<sup>1)</sup>(MCFT)를 이용한 주철근력 평가를 나타낸 것이다. 압축 스트럿과 인장타이가 평행하고, 복부 요소에 균열이 발생하면 트러스 작용은 복부에 축력  $V \cot \theta$ 를 유발시킨다. 그런데 이 힘은 단면의 모멘트 평형조건에 의해 주철근의 인장력을 변화시키게 된다. 즉, 균열단면의 주철근 인장력은 다음 식(1)과 같다.

$$T_x = T_o + \Delta T = \frac{M_x}{Z_o} + 0.5V_x \cot \theta_x \quad (1)$$

그림 1의 평행트러스 모델은 식(1)에서 경사각의 변화를 주 변수로 취하고 있으며,  $\theta$ 가 최대  $90^\circ$ 에서  $\theta_{min}$  ( $=\tan^{-1}(z_o)$ )까지 변화한다. 최대 경사각  $90^\circ$ 에서는  $\Delta T$ 가 0이 되어 주철근력이 기존의 보이론에 의한 값과 같은 값을 갖게 되며,  $\theta_{min}$ 에서는  $\Delta T$ 가 최대값을 갖는다. 즉, 평행트러스 모델에 의한 주철근력은 경사각이  $\theta_{min}$  일 때의 T력과 보이론에 의한 주철근력 사이에 존재하게 된다. 평행트러스 모델에 의해 산정될 수 있는 최대 주철근력을 이용하여 실측값과 비교해 보면, 실제값과는 큰 차이가 있다는 사실을 알 수 있다. 이와 같은 결과에 비춰볼 때 경사각만을 변수로 취하는 트러스 모델은 실제 보의 내력상태를 표현하는데 한계성을 갖는다는 사실을 알 수 있다. 또한, 실제 내력상태를 표현하기 위해서는  $\theta$ 가 기형적으로 작은 값을 가질 수밖에 없을 것이다.

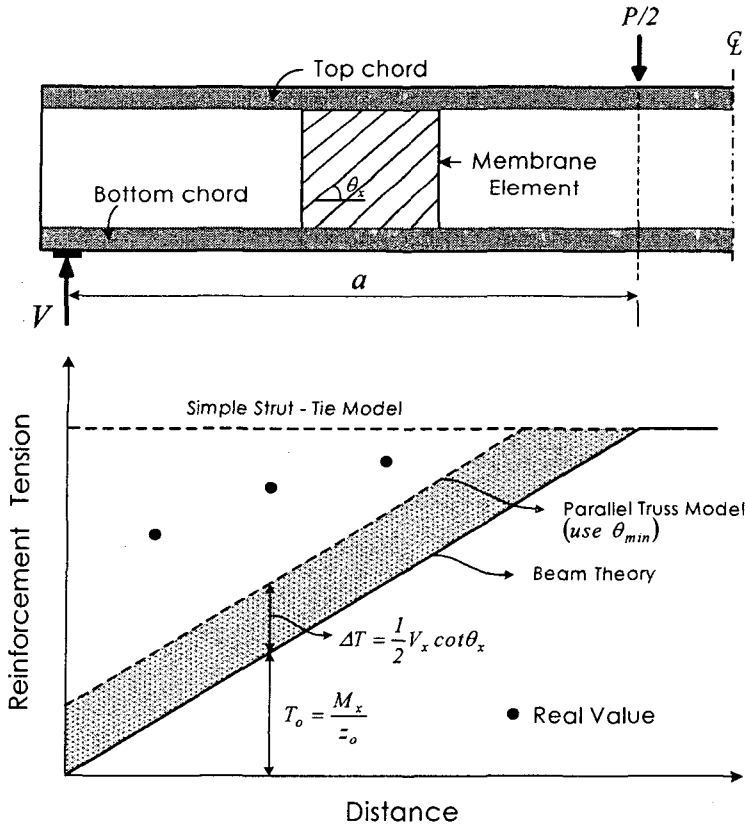


그림 1 평행 트러스 모델을 이용한 주철근력의 평가

### 3. 아치계수를 이용한 트러스 모델의 주철근력 산정

철근콘크리트 보에 균열이 발생한 이후 내력상태는 보 이론만으로 설명할 수 없다. 그 중 대표적인 현상이 하중 재하점에서 지점으로 갈수록 내부모멘트팔길이가 줄어드는 아치작용이 현저해지는 거동이다. Kim et al.<sup>2),3)</sup>은 이러한 현상을 정량화한 아치모델을 발표하였다. 그림 2의 트러스 모델<sup>4)</sup>은 아치작용의 정도를 나타내는 아치계수를 도입하여 전단경간비에 따른 거동의 차이를 표현할 수 있으며, 압축 스트럿은 아치작용 정도에 따라 위치 및 각이 변화하게 된다. 압축 스트럿의 위치는 아치계수를 이용하여 압축응력 궤적을 따라 연속적으로 결정되므로 기존의 트러스 모델이 갖는 많은 가정들로부터 비교적 자유롭다. 이 논문에서는 Kim et al.<sup>2),3)</sup>의 연구결과에 따른 아치계수를 적용하였으며, 실제 내부 모멘트 팔길이를 사용하므로, 주인장철근의 인장력을 보다 정확히 계산할 수 있다.

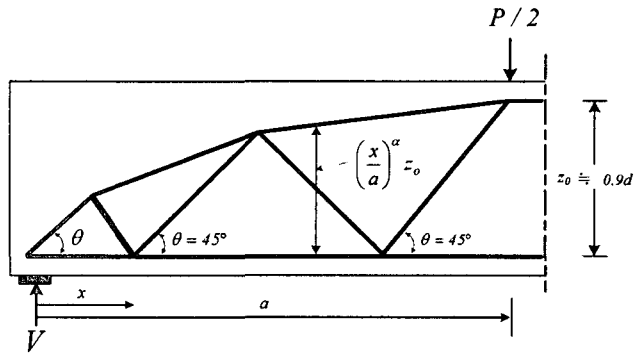
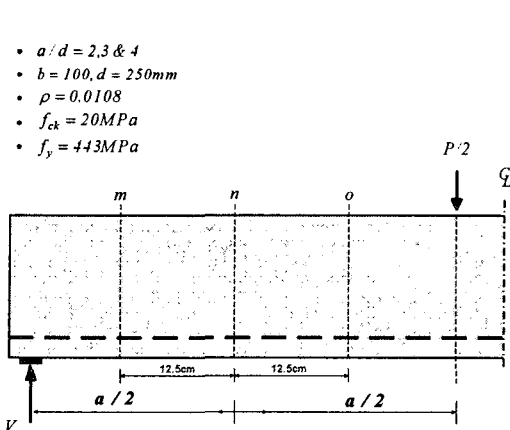
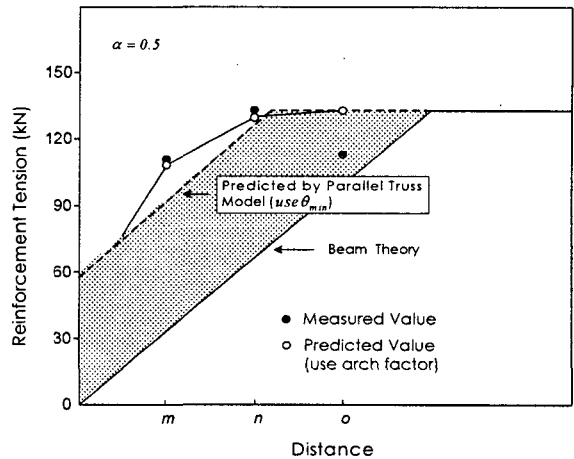


그림 2 아치계수를 이용한 트러스 모델

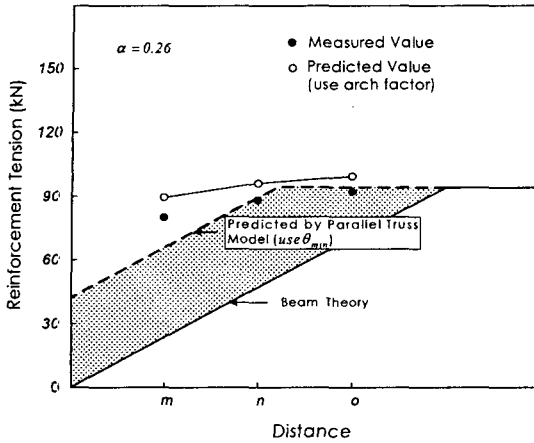
그림 3에서는 Kim, Kim and White<sup>5)</sup>의 실험 자료를 이용하여 아치계수를 이용한 트러스 모델을 구성하고, 주철근 인장력을 산정하였다. 해석 대상 제원은 그림 3(a)에 나타냈으며, 전단경간 깊이 비를 주변수로 하여 극한하중 단계에서 해석하였다. 산정된 주철근력은 앞 절에서 논의한 평행 트러스 모델을 이용해서 구한 주철근력 및 실측값과 비교하였다. 해석 결과 아치계수를 이용한 트러스 모델로 산정된 주철근력은 실측값에 매우 근사하게 나타나고 있다. 그림 3(b)와 (c)는 짧은 보에서 주철근력을 평가한 것으로 실측값이 평행 트러스 모델에 의해 예측될 수 있는 범위를 벗어나고 있음을 알 수 있으며, 이러한 경향은 지점쪽에서 더욱 뚜렷이 나타나고 있다. 즉 경사각만을 변수로 취하는 기존의 트러스 모델은 균열이 발생한 철근콘크리트 보의 내력상태를 파악하는데 한계성이 있다는 것을 의미한다.



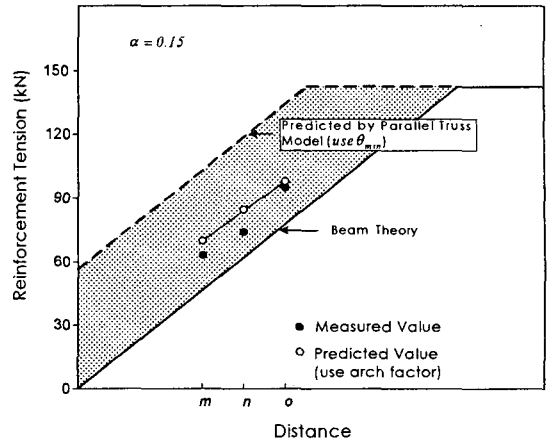
(a) 해석 보의 제원



(b)  $a/d=2$



(c)  $a/d=3$



(d)  $a/d=4$

그림 3 아치계수를 이용한 트러스 모델의 주철근력 평가

#### 4. 결론

이 논문은 균열이 발생된 철근콘크리트보를 트러스 모델을 이용하여 주철근 인장력을 산정하고, 실험값과 비교·분석을 실시하였다. 압축 스트럿과 인장타이가 평행하고, 균열 발생 후 복부를 기울어진 경사 압축재로 이상화시킨 평행 트러스 모델의 경우 산정한 주철근력은 실험값과 상당한 차이를 보였다. 이러한 결과는 경사각만을 변수로 취하고 있는 트러스 모델들의 한계성을 보여 준다. 일반적으로 깊은 보의 해석에 있어서는 스트럿-타이 모델을 적용하고, 긴 보에서는 45° 트러스 모델을 취하는 방법들이 이용되고 있으나, 중간 보에서는 아치작용과 보작용이 복합적으로 작용하여 기존 모델로는 설명하기 어렵다. 따라서 휨과 전단이 작용하는 부재에 있어 일관성 있는 모델 개발이 요구되며, 모멘트 팔길이가 균열 발생 이후에 지점쪽으로 갈수록 짧아지는 아치현상을 설명하는 아치계수를 도입하여 제안한 모델은 주철근력을 보다 정확히 예측함을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

이 연구는 한국과학재단 특정기초 연구(과제번호 R01-2002-000-00592-0) 지원으로 수행된 결과의 일부이며, 이에 감사드린다.

#### 참고문헌

1. Michael P.Collins, "Prestressed Concrete Structures" Prentice Hall.
2. 김우, 정제평, 김대중, "휨과 전단이 작용하는 RC 부재의 해석을 위한 비-베르누이-적합 트러스 모델링 기법 연구(I) -기본 개념 유도를 중심으로-", 대한토목학회 논문집, 23권 6A호, 2003, pp.1247~1256.
3. 김우, 정제평, 박대성, "휨과 전단이 작용하는 RC 부재의 해석을 위한 비-베르누이-적합 트러스 모델링 기법 연구(II) -실제적 해법을 중심으로-", 대한토목학회 논문집, 23권 6A호, 2003, pp.1257~1266.
4. 김우, 정제평, 김지훈, "전단보강철근이 없는 RC 보의 트러스해석 기법 연구", 대한토목학회 논문집, 22권 3A호, 2002, pp.563-571.
5. Kim,D.J., Kim,W. and White,R.N., "Prediction of Reinforcements Tension Produced by Arch Action in RC Beams" *ASCE Journal of Structural Engineering*, V.124, No.6, June 1988, pp.611-622.