

전단이 지배하는 철근콘크리트 보의 주철근 인장력 산정

Predictoin of Longitudinal Steel Tension for Shear-Critical Reinforced Concrete Beams with Stirrups

이창신* 변수민** 신근옥*** 김 우****
Rhee, Chang Shin Byun, Su Min Shin, Geun Ok 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 were compared with those predicted by the new truss model on the basis of the compatibility condition of the shear deformation.

1. 서론

현행 설계개념이나 대부분의 기존트러스모델에서 철근콘크리트 보의 주철근 인장력은 베르누이 적합 보이론을 적용하여 산정하고 있는 실정이다. 그러나 실제 전단이 지배하는 RC보의 주철근 인장력은 기존의 베르누이 적합 보이론으로 계산한 값보다 훨씬 크게 발생한다. 보이론에 따라 계산할 경우 내부모멘트 팔길이가 보의 경간에 따라 일정한 값이 되어 보작용 (beam action)만을 고려하고 아치작용은 반영하지 못하기 때문이다.

그림 1은 전단기간내의 각 단면에서의 철근 인장력에 대한 그래프이다. 그림에서 나타낸 바와 같이, 실제 철근인장력은 보작용 (beam action)에 의한 철근인장력(T_B)과 아치작용 (arch action)에 의한 철근인장력(ΔT)으로 구성되어 있다고 할 수 있다. 보작용에 의한 철근인장력이 바로 베르누이 적합 보이론을 적용하여 계산한 철근인장력이므로 아치작용에 의한 철근인장력은 측정된 전체 철근인장력에서 이론적으로 계산된 철근인장력을 제거함으로써 산정할 수 있다.

이 논문에서는 전단변형적합조건에 기반을 둔 모델을 이용해 RC보의 실제 주철근 인장력을 측정한 Kim, Kim and White의 실험 자료를 분석하여 철근콘크리트보의 주철근 인장력을 산정하고 비교하는 내용을 다룬다.

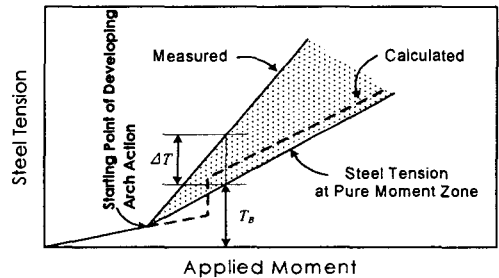


그림 1 보작용과 아치작용으로 구성된 철근 인장력

* 정희원, 전남대학교 토목공학과 박사과정
** 정희원, 전남대학교 토목공학과 석사과정
*** 정희원, 전남대학교 토목공학과 박사과정
**** 정희원, 전남대학교 건설지구환경공학부 교수

2. 전단변형적합조건

이 논문에서는 단면의 전단저항력이 보작용과 아치작용에 의해 저항한다는 배경에 기반하여, 두 전단 저항 성분의 구성비를 아치계수로 정의하고 다음과 같이 표현하였다.

$$\alpha = \frac{\text{Shear resisted by Arch Action}}{\text{Total Shear}} \quad (1)$$

단면의 휨인장력은 주철근이 모두 저항하고, 콘크리트 휨 압축영역을 압축합력이 작용하는 1축 압축부재로 이상화 하는 트러스 모델링 기법을 적용한다면, 그림 2(a)그림과 같이 경사상현재, 하현재와 면전단요소의 3요소로 구성된 분산트러스로 이상화 할 수 있다.

그림 2(b)는 그림 2(a)의 경사 상현재를 갖는 트러스모델을 보의 전단경간에 적용하고 곡선형 아치부분을 직선형의 1축 부재로 표현해 보인 것이다. 이처럼 1축부재로 이상화한 상/하현재에는 각각 dC/dx , dT/dx 가 분포 축력으로 작용하는 상태가 된다. 받침점 s 와 하중점 i, j 는 각각 구속과 대칭성에 의해 변형 후에도 수평변위가 발생하지 않는다. 따라서 이점을 기준으로 받침점에서 x 만큼 떨어진 위치의 타이와 아치의 상대적 수평 변위량인 u_m 과 u_n 은 각 부재의 축 변형량에 해당한다. 이 수평 변위량에 적합하도록 복부 전단 변형 즉 복부요소 mnp 의 상/하부 수평 변위가 발생해야 한다. 이와 같은 변형적합 조건에 의해, 그림 2(b)의 단면 $m-n$ 에 나타낸 것과 같이, 복부의 평균 전단 변형을 γ_w 와 수평 변위량 u_m 과 u_n 은 식(2)의 전단변형적합 조건식(gross compatibility condition)을 만족해야 한다.

$$\gamma_w = \frac{u_m + u_n}{z} \quad (2)$$

이 적합조건식에 의해 아치와 복부전단력의 분담비율이 결정된다.

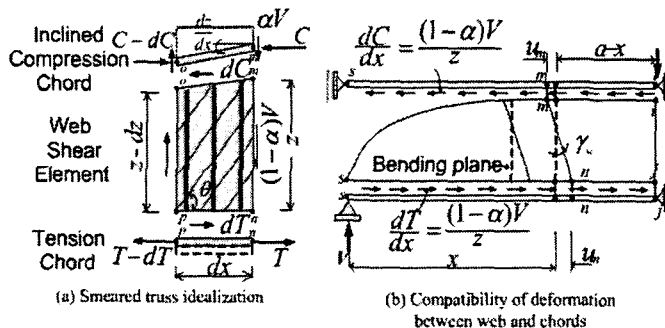


그림 2 전단변형적합조건

3. 주철근력 산정 및 비교

그림 3은 Kim, Kim and White의 실험보의 주철근 인장력 이력 자료를 이용하여 각 보의 전단경간 중앙 단면에서 아치계수- α 와 작용하중과의 관계를 계산하여 나타낸 그래프이다. Kim 등의 실험 보는 일정

복부철근비를 갖는 상태에서 전단경간-깊이 비와 주철근비를 주요 변수로 하고 있다.

이 결과를 살펴보면, $a/d=2$ 인 2P1W, 2P2W의 a 값은 0.6에 가까운데 반해, $a/d=4$ 인 4P1W, 4P2W의 값은 0.2보다 작다. 즉, 보의 경간이 짧아지면 a 값은 1.0에 접근하고, 경간이 길어지면 0에 접근하고 있다. 이에 반해 주철근비의 영향은 a/d 에 비해 상대적으로 적으며, 주철근비가 클수록 a 값이 증가함을 관찰할 수 있다. 이러한 현상은 타이와 복부의 상대적 강성 크기의 관점에서 이해할 수 있다. 즉, 주철근비가 커지면 타이의 강성이 증가하여 복부의 하중분담 비율이 작아지므로 a 값이 증가하게 된다.

그림 4는 실험한 각 보의 전단경간 중앙단면에서 측정된 하중 증가에 따른 주철근 인장력의 변화를 나타낸 그래프이다. 그림 4(a)와 그림 4(b)는 각각 주철근비가 1%와 2%인 보의 실험값을 아치계수- a 를 적용한 새로운 트러스 모델과 AASHTO LRFD로 각 하중단계마다 예측한 값과 비교하였다. 그림 4에서 볼 수 있는 바와 같이 순수 휨구간에 휨균열이 발생한 이후 ($M_x/M_{cr} > 1$) 주철근 인장력은 크게 증가한다. 또한 전단경간의 길이에 따라 a/d 가 2인 경우에는 T_x/T_0 가 거의 1.6까지 접근하는 반면 a/d 가 4인 경우에는 1.2이하로 증가폭의 차이가 있다. 이 결과를 살펴보면, AASHTO LRFD로 예측한 값은 균열 발생 이후 하중증가에 따른 주철근력의 증가율이 크지 않아 직선의 분포형태를 나타내고 있다. 즉, 전단경간비가 작을수록 주철근 인장력이 현저하게 증가하는 실험현상을 반영하지 못하고 있다. 이러한 원인은 베르누이 적합 보이론에 근간한 현행의 설계기준들이 아치작용을 표현하지 못하고 있기 때문이다. 반면에 새로운 트러스 모델로 예측한 값은 전단경간비에 대한 실제 보의 주철근 인장력의 증가 경향을 비교적 정확히 나타내고 있음을 알 수 있다.

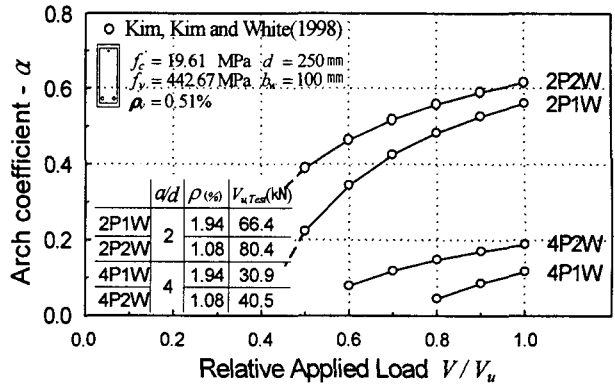


그림 3 하중증가에 따른 α 의 변화

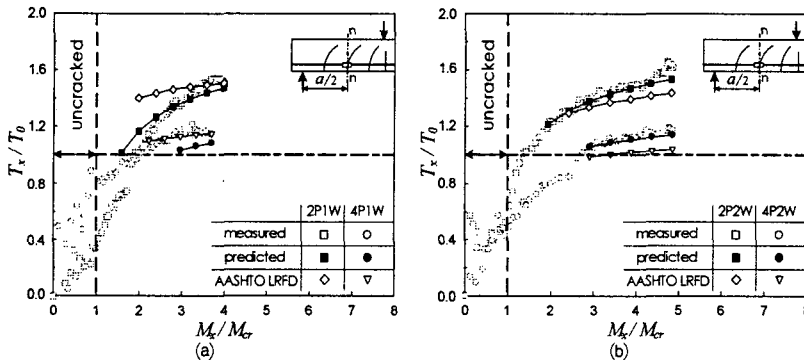


그림 4 하중증가에 따른 주철근 인장력의 변화

그림 5는 Kim 등 실험 보의 안정화 하중 단계에서 측정된 전단경간 내의 주철근 인장력의 변화를 다양한 트러스모델에 의해 예측한 값과 비교한 그래프이다. 이 결과에 의하면, 전단경간에서 실제 측정된 주철근 인장력은 현행 설계의 근본인 베르누이 적합 보이론으로 계산한 값보다 크게 나타난다.

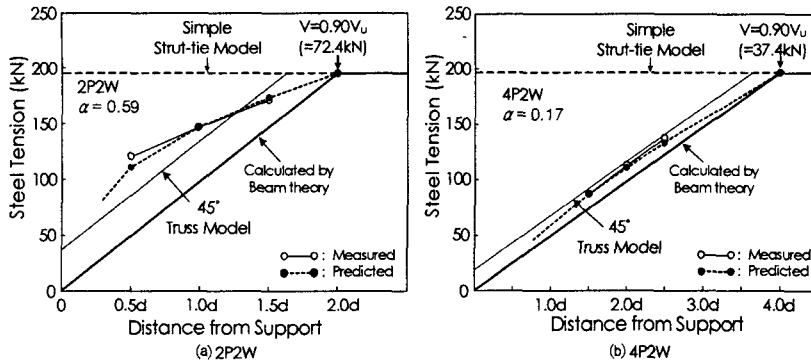


그림 5 측정값과 해석값의 주철근 인장력의 비교

또한 45°Truss Model, Simple Strut-tie Model 등에 비하여 새로운 트리스모델로 예측한 값이 거의 동일한 정확도를 갖는다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

이 논문에서는 Kim, Kim and White(1998)의 주철근 인장력을 측정된 실험 자료를 분석하여 전단 변형적합조건에 기반을 둔 모델을 이용해 철근콘크리트보의 주철근 인장력을 산정하였다. 그리고 다른 모델들과 비교하여 다음과 같은 사실들을 파악할 수 있었다.

- (1) 휨균열 발생 이후 실험 보에서 측정된 전단경간내의 주철근 인장력은 베르누이 적합 보이론으로 계산한 값보다 상당히 크게 발생한다. 이때 제안모델을 이용하면 다른 모델들에 비해 거의 동일한 정확도를 갖는 예측치를 구해낼 수 있었다.
- (2) 하중증가에 대한 주철근 인장력의 증가율은 전단경간비에 따라 현저한 차이를 보였다. AASHTO LRFD에 따라 계산한 값은 전단경간비에 따른 하중증가에 대한 주철근 인장력의 증가 경향을 잘 표현하지 못하였으나, 제안모델을 이용하면 비교적 정확히 표현할 수 있었다.

감사의 글

이 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2004년도 건설핵심기술 연구개발사업(과제번호:04핵심기술 C02-02)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 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
2. Michael P.Collins, "Prestressed Concrete Structures" Prentice Hall.
3. 김우, 정재평, 김대중, "전단이 지배하는 RC 부재의 새로운 트리스 모델링 기법 연구(전편)-기본 개념 유도를 중심으로-", 콘크리트학회논문집, 16권, 6호, 2004, pp.785~794.