

철근콘크리트 보의 전단강도 예측

Prediction of Shear Strength in RC Slender Beams

이 창 신 신 근 옥 김 우
Rhee Chang Shin Shin Geun Ok Kim, Woo

ABSTRACT

This paper deals with the verification of the new truss model that has been conceptually derived and formulated in preceding research. Since the model includes the arch coefficient- α , the characteristics of this coefficient are examined, and it appears that the coefficient- α is a function of a/d , ρ and ρ_v . The arch coefficient- α is applied to the test specimens available in literatures, and the predicted values are shown to be in excellent agreement with the experimental results.

1. 서 론

휨과 전단이 작용하는 RC부재의 해석을 위한 비-베르누이-적합 트러스 모델링 기법 연구^{1), 2)}를 통해 휨과 전단이 작용하고 있는 철근콘크리트 부재의 내력계(internal force flow)를 표현하기 위한 새로운 트러스모델의 개념을 유도하고 기하적 형상을 정식화하였다. 이 모델은 전단력은 모멘트의 변화율이라는 관계식 $V=dM/dx=zdT/dx+Tdz/dx$ 의 역학적 현상을 수치적으로 복제한 것으로서, 부재의 전단저항 메커니즘을 보작용과 아치작용이라는 두 구성 성분의 합으로 표현한 것이다. 이러한 현상의 수치적 복제를 위해, 두 작용의 구성비인 아치계수- α 와 아치형상합수라는 새로운 개념을 도입하였으며, 계수- α 의 값은 두 작용의 상호 변형적합조건에 의해 결정하였다. 이 때 복부의 변형과 힘의 상태를 파악하기 위해 수정압축장이론³⁾을 적용하였으며, 타이의 변형은 CEB/FIP MC-90의 해당 규준을 이용하였다. 이러한 과정에 의해 최종적으로 계수- α 의 값이 산출되는데, 이 값을 이용하면, 부재의 내력계를 표현할 수 있는 새로운 트러스의 기하적 형상을 결정할 수 있었다. 본 논문에서는 선행연구에서 다루어졌던 새로운 트러스모델의 단면 해석법을 이용하여 긴보($a/d \geq 2.5$)에서 위험단면을 산정하고, 새로운 모델의 적용성과 그 정확성에 대한 검증 내용을 다룬다.

2 스테립을 갖는 보의 전단강도 예측

2.1 위험단면의 산정

스테립을 갖는, 집중하중이 작용하는 철근콘크리트 보의 전단에 대한 위험단면은 최대 모멘트가 발생하는 하중 점으로부터 $0.5d$ 이내에 존재하는 것으로 나타났다. 그림 1(a)는 하중 증가에 따른 균열의 형태를 나타낸 것으로 하중점으로 갈수록 경사각이 90° 에 가깝게 발생하는 경향을 보이고 있다. 그림 1(d)는 Leonhardt(ET2) 보⁴⁾의 극한하중단계에서 경사각, 주인장변형률(ϵ_1) 및 복부의 평균 횡방향 변형률(ϵ_2)을 나타낸 것으로 하중점에 가까울수록 주인장변형률 및 경사각은 증가한다. 이때, 복부의 횡방향 변형률은 임계점까지 지속적으로 증가한 후, 하중점까지 다시 감소하는 경향을 나

* 정희원, 전남대학교 토목공학과 박사과정

** 정희원, 전남대학교 토목공학과 석사과정

*** 정희원, 전남대학교 토목공학과 교수

타내며, 이러한 현상은 그림 1(e)에서 보이고 있는 Mohr's strain circle을 만족한다. 따라서, 복부파괴의 관점에서 볼 때, 복부의 변형률이 최대인 위치를 위험단면으로 보는 것이 타당하다. 그림 1(a)의 음영부분을 하나의 membrane요소로 분리할 때, 음영부분은 도시된 그림 1(c)와 같은 트리스를 구성한다고 할 수 있으며, 이때 (mnop) membrane의 파괴를 지배하는 주부재(A)는 압축력의 합력점을 통과하는 기하조건을 갖는다. 경사각은 그림 1(b)의 기하조건으로부터 다음식과 같이 쓸 수 있다.

$$\mu_x = \tan^{-1} [(z_0 - z_x/2)/(a-x)] \quad (1)$$

2.2 극한전단강도(Vu) 예측식²⁾

본 논문에서는 새로운 트리스모델의 가능한 파괴 형태 중 스테럽 항복에 의한 파괴형태만을 다루기로 한다.

그림 1(c)는 균열이 발생한 부재의 경사균열을 가로지르는 단면에 작용하는 전단력을 나타낸 것으로 한 단면의 전체 전단력은 세 기본 저항 성분의 합으로 표현할 수 있다. 즉,

$$V = V_a + V_{ci} + V_s \quad (1)$$

균열면에서는 골재 맞물림작용에 의해 저항하는 전단력 V_a 가 작용하고 있다. 실제 콘크리트 보에서는 다월작용 또는 골조작용에 의해 저항하는 성분이 존재한다. 이러한 저항성분을 V_a 에 추가한다면, 실제 V_a 는 골재 맞물림 작용 만의 의한 값과 다를 수 있으며, 이러한 효과들을 모두 반영한다면 그 과정이 매우 복잡하게 될 것이다. 따라서 간단하면서도 기존 실험 결과 및 설계기준의 접근 방법과 일관성을 확보하기 위한 실제적 대안이 필요하게 된다. 따라서 본 논문에서는 수많은 실험 결과를 토대로 작성된 미국 ACI 설계기준에서 사용하고 있는 아래의 최소 전단력 값을 V_a 로 간주하는 것이 합리적인 대안 중 하나일 것이라 판단된다.

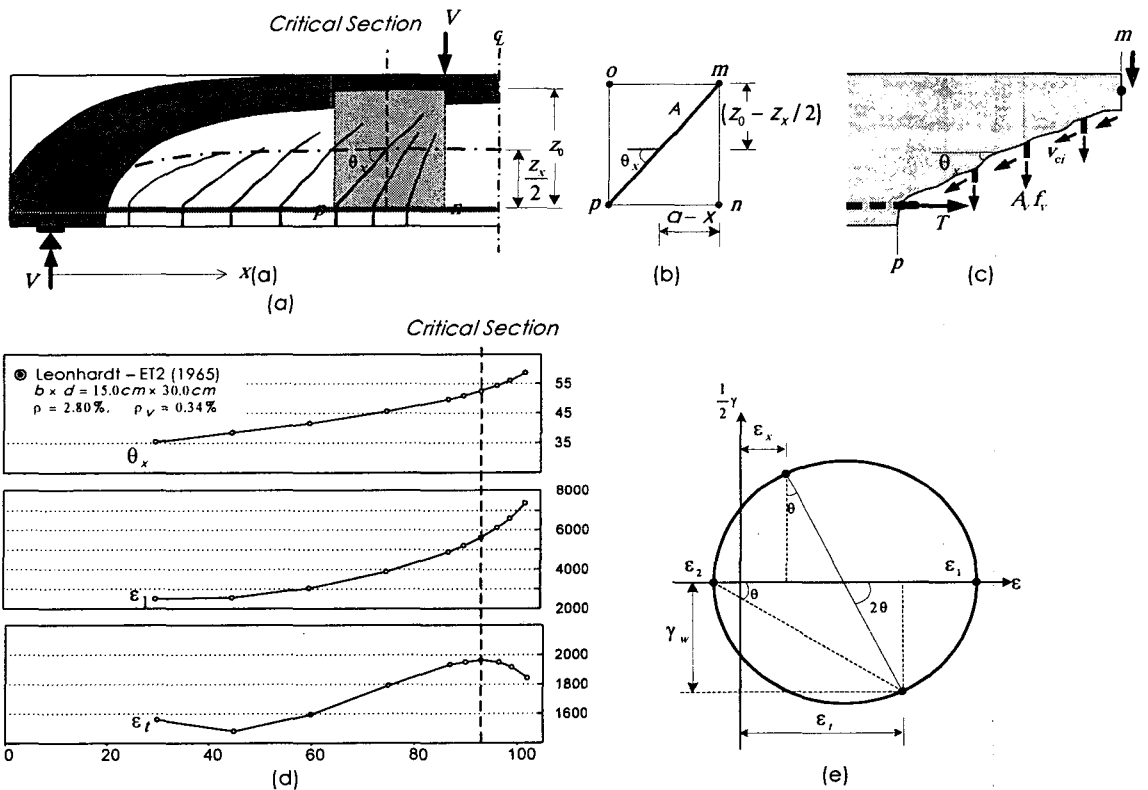


Fig. 1 Determination of Shear Critical Section

$$V_{ci} = 0.16\sqrt{f_{ck}}b_w d \quad (2)$$

스터립 항복에 의한 극한전단강도 V_{uy} 는 f_v 가 f_{vy} 에 도달할 때의 전단력 V 에 해당할 것이다. 즉,

$$V_{u,y} = \frac{1}{1-\theta} (V_{ci} + A_v f_{vy} \frac{Z_x}{S} \cot \alpha_x) \leq V_{u,l} \quad (3)$$

여기서 $V_{u,l}$ 는 휨파괴가 발생할 때의 전단력을 의미한다. 따라서 간단하면서 기존 실험결과 및 설계기준의 접근방법과 일관성을 확보하고 있다고 판단되는 ACI-318 설계기준의 최소전단력 값을 사용한다. 만약 위 식에 V_{ci} , $\alpha_x=0$ 및 $\theta=45$ 도를 대입하면, 식 (3)은 현행 ACI-318 설계기준과 동일하게 된다는 것을 알 수 있다.

3. 실험 자료를 통한 검증

그림 2~5는 스테럽이 있는 보의 극한전단강도에 대해 기 발표된 실험자료와 식(3)을 이용한 극한전단강도 예측값을 비교한 결과이다. 실험자료 11set, 96개^(6~7)의 철근콘크리트 구형보는 다양한 콘크리트 강도(f_{ck}), 주철근 비율($\frac{1}{2}$

$\frac{1}{2}$), 전단경간비(a/d)를 주 변수로 하였으며, 실험결과와 제안모델에 의한 예측 결과가 모든 보에서 대체로 잘 맞는 것으로 나타났다.

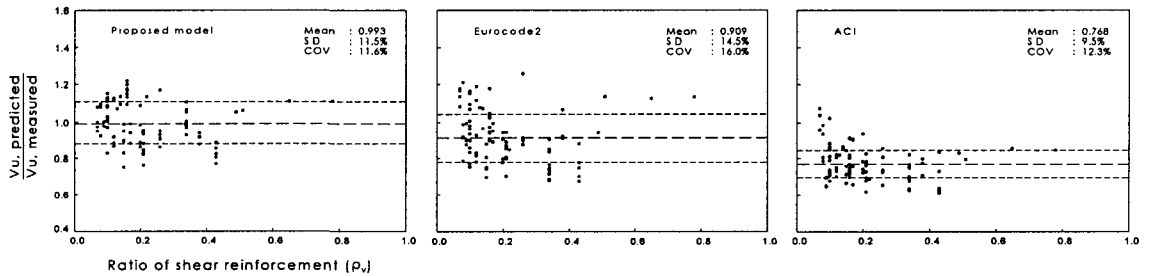


Fig. 2 Ratio of prediction to experimental results for shear reinforcement

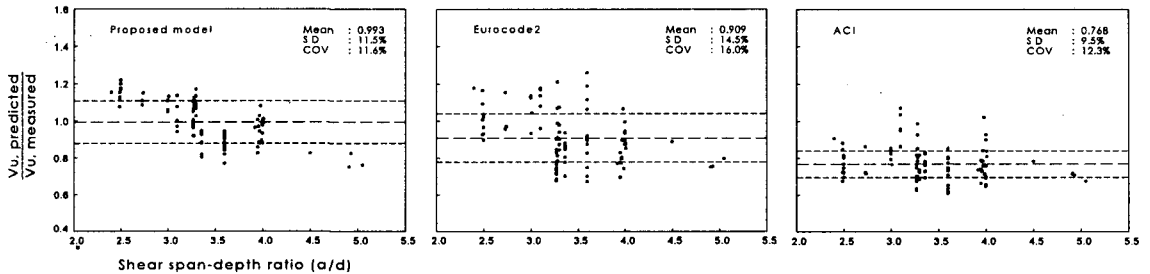


Fig. 3 Ratio of prediction to experimental results for shear span-depth ratio

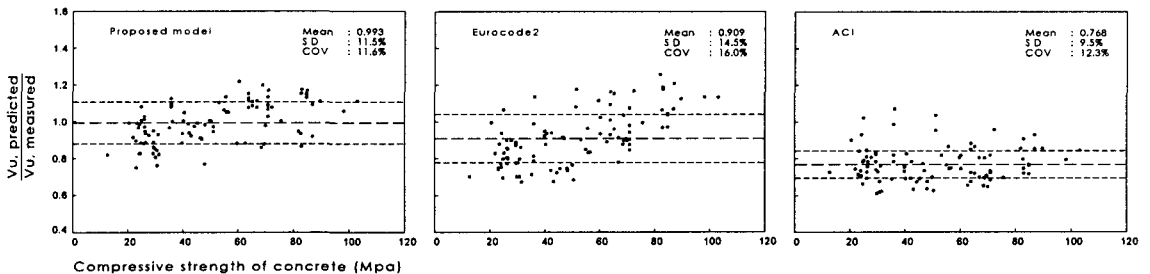


Fig. 4 Ratio of prediction to experimental results for compressive strength of concrete

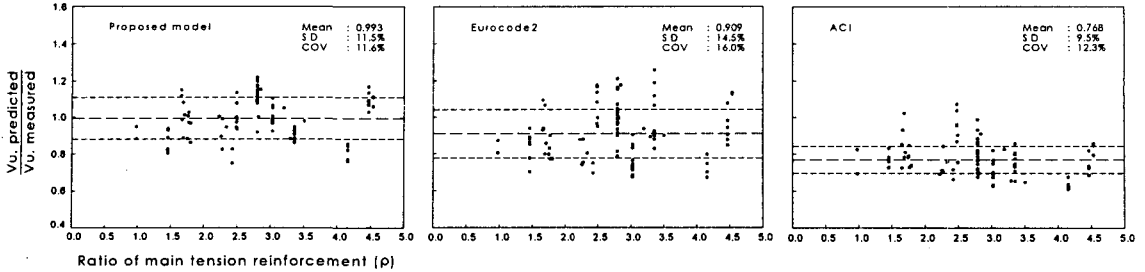


Fig. 5 Ratio of prediction to experimental results for main tension reinforcement

4. 결론

본 연구는 새로운 트러스 모델에 대한 적용성 및 검증 단계의 일환으로 수행되었으며, 복부파괴의 관점에서 위험 단면을 산정하고, 아치계수- α 를 이용하여 기존 문헌에서 주어진 실험결과에 새 모델의 적용성을 검증한 결과, 전단 보강된 철근콘크리트 보($a/d \geq 2.5$)의 극한 전단 강도 예측에 대한 정확성이 매우 양호한 것으로 나타났다. 현행 설계기준과 비교해 본 결과, Eurocode는 전단보강이 적은 보 및 고강도 콘크리트 제원에서 전단능력을 과대평가하고 있는 것으로 나타났으며, ACI는 실제값보다 매우 낮게 나타나 설계과정이 매우 보수적인 것으로 보인다.

결론적으로, 본 연구의 제안모델은 긴보($a/d \geq 2.5$)에서 주철근비, 전단보강 철근비, 전단경간비, 콘크리트 강도에 따른 영향을 현행 설계기준에 비해 본 연구에서 제안하고 있는 새로운 트러스 모델에 의한 극한전단강도 예측 결과가 현행 설계기준에서 채택하고 있는 극한전단강도 예측식에 비해 해석결과의 정확성을 크게 향상시킨 것으로 판단되며, 향후 제안모델을 이용한 다양한 검증 및 확장이 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 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.
2. 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.
3. Vecchio, F. J., and Collins, M. P., "The modified compression field theory for reinforced concrete elements subjected to shear", *ACI Journal*, Vol. 83, No. 2, 1986, pp.219~231.
4. Leonhardt, F. (1965), "Reducing the shear reinforcement in reinforced concrete beams and slabs," *Magazine of Concrete Research*, Vol. 17, No.53, pp.187~198.
5. Mphonde, A. G., and Frantz, G. C., "Shear Tests of High- and Low-Strength Concrete Beams with Stirrups", *High-Strength Concrete*, SP-87, H. G. Russell, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1985, pp.179~196.
6. Placas, A., and Regan, P. E., "Shear Failure of Reinforced Concrete Beams", *ACI Journal*, Proceedings V. 68, No. 10, Oct. 1971, pp.763~773.
7. Johnson, M. K., and Ramirez, J. A., "Minimum Shear Reinforcement in Beams with Higher Strength Concrete", *ACI Structural Journal*, V. 86, No. 4, July-Aug. 1989, pp.376~382.