

철근콘크리트 코벨의 설계를 위한 부정정 스트럿-타이 모델 및 하중분배율의 제안

Proposals of Indeterminate Strut-Tie Model and Load Distribution Ratio for Design of RC Corbels

채현수*

Chae, Hyun Soo

윤영목**

Yun, Young Mook

ABSTRACT

The RC corbels with the ratio of shear span-to-effective depth less than 1 are commonly used to transfer loads from beams to columns. The ultimate strengths and structural behaviors of RC corbels are controlled by the shear span-to-effective depth ratio, strength of concrete, shape and quantity of the reinforcement, and geometry of corbels. In this study, a simple indeterminate strut-tie model reflecting all characteristics of the ultimate strengths and complicated structural behaviors is presented for the design of RC corbels. In addition, a load distribution ratio, defined as a magnitude of load transferred by a horizontal truss mechanism, is proposed to help structural designers perform the design of RC corbels by using the strut-tie model approaches of current design codes. The ultimate strengths of 30 RC corbels tested to failure are evaluated by using the ACI 318-05's strut-tie model code for the validity check of the proposed indeterminate strut-tie model and load distribution ratio.

요약

철근콘크리트 코벨은 전단지간대 유효깊이의 비가 1보다 작은 부재로서, 주로 보의 하중을 기둥으로 전달하기 위해 사용된다. 이러한 철근콘크리트 코벨의 극한강도 및 거동은 전단지간대 유효깊이의 비, 콘크리트의 압축강도, 철근의 배근형태와 배근량, 그리고 부재의 형상 등 다양한 변수들의 영향을 받는다. 본 연구에서는 이러한 철근콘크리트 코벨의 강도 및 거동 특성을 모두 반영하여 설계를 수행할 수 있는 부정정 스트럿-타이 모델을 제안하였다. 또한 현행 설계기준의 스트럿-타이 모델 방법을 부정정 스트럿-타이 모델을 이용한 철근콘크리트 코벨의 설계에 합리적으로 적용하기 위해 수평 트러스 메커니즘에 의해 전달되는 하중의 크기 즉 부정정 스트럿-타이 모델의 하중분배율을 제안하였다. 제안한 하중분배율을 ACI 318-05 스트럿-타이 모델 설계규정에 적용하여 파괴실험이 수행된 30개 철근콘크리트 코벨에 대한 극한강도 평가를 수행하였으며, 그 결과를 실험결과 및 ACI 318-05 설계기준에 의한 극한강도 평가결과와 비교하였다.

* 정회원, 경북대학교 건축토목공학부 박사과정

** 정회원, 경북대학교 건축토목공학부 교수

1. 서론

철근콘크리트 코벨은 전단지간대 유효깊이의 비가 1보다 작은 부재로서, 주로 보의 하중을 기둥으로 전달하기 위해 사용된다. 철근콘크리트 코벨에 관한 연구(Kriz & Raths, 1965; Mattock et al., 1976; Fattuhi & Hughes, 1989; Fattuhi, 1994; Yong & Balaguru, 1994; Foster et al., 1996; 윤영목 등, 2007)는 많은 연구자들에 의해 수행되어 왔으며, 이러한 연구를 통해 철근콘크리트 코벨의 극한강도 및 거동은 전단지간대 유효깊이의 비, 콘크리트의 압축강도, 철근의 배근형태와 배근량, 그리고 부재의 형상 등 다양한 변수들의 영향을 받는 것으로 밝혀졌다. 본 연구에서는 이러한 철근콘크리트 코벨의 강도 및 거동 특성을 모두 반영하여 설계를 수행할 수 있는 부정정 스트럿-타이 모델을 제안하였다. 또한 현행 설계기준의 스트럿-타이 모델 방법을 부정정 스트럿-타이 모델을 이용한 철근콘크리트 코벨의 설계에 합리적으로 적용하기 위해 수평 트러스 메커니즘에 의해 전달되는 하중의 크기 즉 부정정 스트럿-타이 모델의 하중분배율을 제안하였다.

2. 철근콘크리트 코벨을 위한 부정정 스트럿-타이 모델 및 하중분배율

본 연구에서는 철근콘크리트 코벨 부정정 스트럿-타이 모델의 하중분배율을 결정하기 위해 먼저 철근콘크리트 코벨의 주요 하중전달 메커니즘을 정의하고, 이러한 하중전달 메커니즘을 반영하는 부정정 스트럿-타이 모델을 선정하였다. 그림 1과 같이 선정된 부정정 스트럿-타이 모델을 이용하여 작용하중에 대한 각 하중전달 메커니즘이 부담하는 하중의 크기 즉 철근콘크리트 코벨의 주요하중전달 메커

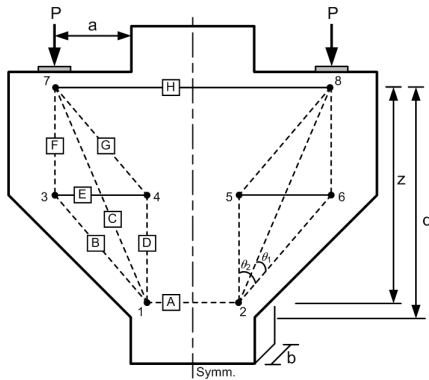


그림 1. 본 연구의 부정정 스트럿-타이 모델

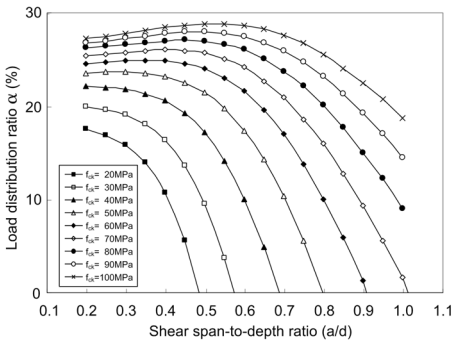


그림 3. 주요설계변수에 따른 하중분배율 ($\rho = 3.75\rho_{min}$)

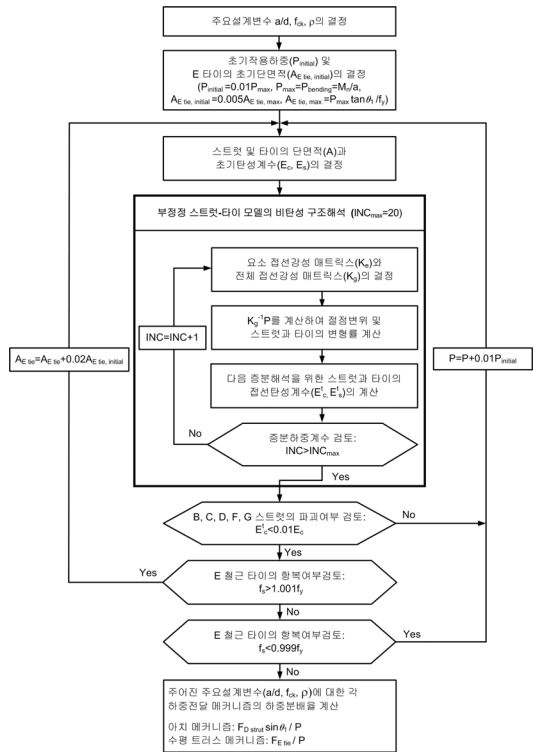


그림 2. 전단 평형철근비 개념을 이용한 부정정 스트럿-타이 모델의 하중분배율 결정 알고리즘

니즘이 부담하는 하중분배율을 스트럿과 타이 요소의 재료적 비선형 거동을 고려하는 비탄성 구조해석을 그림 2와 같은 절차에 따라 수행하여 결정하였다. 스트럿과 타이 요소의 재료적 비선형 거동을 고려한 비탄성 구조해석에서는 전단저항 메커니즘을 구성하는 콘크리트 스트럿의 압축파괴와 철근 타이의 인장 파괴가 동시에 발생하는 전단평형철근비 개념을 이용하여 철근콘크리트 코벨의 전단파괴에 대한 연성거동 능력을 확보하였다. 또한 철근콘크리트 코벨의 강도 및 거동에 영향을 미치는 전단지간대 유효깊이의 비(a/d), 주철근비(ρ), 그리고 콘크리트의 압축강도(f_{ck}) 등의 주요설계변수가 부정정 스트럿-타이 모델의 하중분배율에 미치는 영향을 분석하였다. 주요설계변수의 범위는 $0.2 \leq a/d \leq 1.0$, $1.25 \leq \rho/\rho_{min.} \leq 6.25$, $20MPa \leq f_{ck} \leq 100MPa$ 이다. 전단지간대 유효깊이의 비의 범위는 ACI 318-05 설계기준에서 정의하는 철근콘크리트 코벨로 결정되는 영역으로 결정하였으며, 주철근비의 범위는 ACI 318-05 설계기준에서 제시하고 있는 최소철근량 기준을 고려하여 결정하였다. 그림 3은 그림 2의 하중분배율 결정 알고리즘에 따라 결정한 주요설계변수의 변화에 따른 부정정 스트럿-타이 모델의 하중분배율을 나타낸 것이다.

3. 철근콘크리트 코벨의 극한강도 평가

본 연구에서는 그림 1의 부정정 스트럿-타이 모델 및 ACI 318-05 설계기준을 적용하여 Foster et al.(1996)에 의해 파괴실험이 수행된 30개 철근콘크리트 코벨의 극한강도를 평가하였다. 본 연구의 부정정 스트럿-타이 모델 및 하중분배율에 의한 극한강도 평가는 그림 4의 절차에 따라 수행하였으며, ACI 318-05 설계기준에 의한 극한강도 평가 시 ACI 318-05 11.9절의 전단파괴 및 휨파괴와 관련한 극한강도식을 이용하였다.

두 방법에 의한 극한강도 평가결과는 그림 5와 같다. 평가결과 ACI 318-05 설계기준은 극한강도를 실험파괴하중의 55%로 예측해 과소평가하는 것으로 나타났다. 반면에 본 연구에서 제안한 부정정 스트럿-타이 모델을 이용하는 방법은 극한강도를 실험파괴하중의 92%로 예측해 철근콘크리트 코벨의 극한강도를 비교적 정확히 평가하나 표준편차는 다소 크게 나타났다.

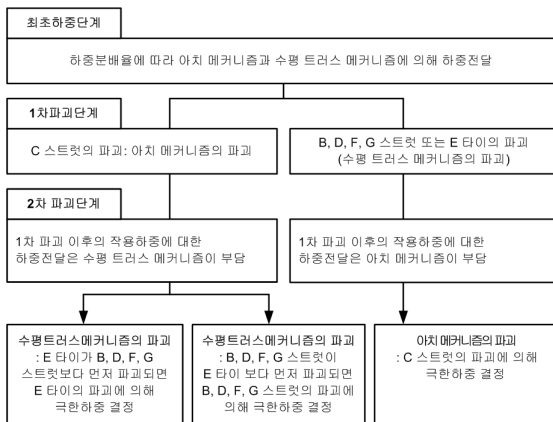


그림 4. 부정정 스트럿-타이 모델을 이용한 극한강도 평가절차

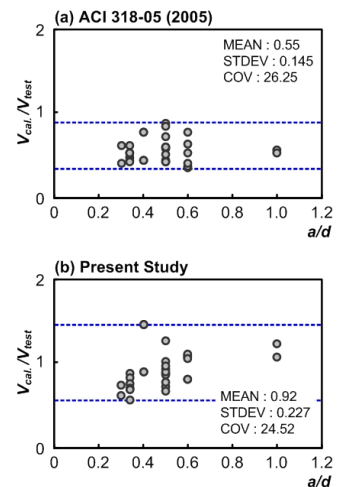


그림 5. 극한강도 평가결과

4. 결론

철근콘크리트 코벨의 극한강도 및 거동은 전단시간대 유효깊이의 비, 콘크리트의 압축강도, 철근의 배근형태와 배근량, 그리고 부재의 형상 등 여러 변수들의 영향을 받음으로서 복잡한 역학적 관계를 가진다. 스트럿-타이 모델 방법이 철근콘크리트 코벨의 합리적인 설계방법으로 정립되기 위해서는 철근콘크리트 코벨의 하중전달 메커니즘을 적절히 반영하는 모델이 제시되어야 함은 물론 주요설계변수가 철근콘크리트 코벨의 강도 및 거동에 미치는 영향을 설계과정에 고려하여야 한다. 본 연구에서는 철근콘크리트 코벨의 주요 하중전달 메커니즘을 정의하고 이를 반영한 부정정 스트럿-타이 모델을 제시하였다. 또한 스트럿과 타이 요소의 재료적 비선형 거동을 고려한 부정정 스트럿-타이 모델의 비탄성 구조해석을 통해 철근콘크리트 코벨의 강도 및 거동에 영향을 미치는 전단시간대 유효깊이의 비, 주철근비, 그리고 콘크리트의 압축강도 등의 주요설계변수를 고려함과 동시에 철근콘크리트 코벨의 전단에 대한 연성거동을 보장할 수 있는 부정정 스트럿-타이 모델의 하중분배율을 제안하였다.

본 연구의 부정정 스트럿-타이 모델 및 하중분배율을 이용한 철근콘크리트 코벨의 극한강도 평가결과, 본 연구의 방법은 ACI 318-05 설계기준에 비해 철근콘크리트 코벨의 극한강도를 비교적 정확히 평가하나 표준편차는 다소 크게 나타났다. 이는 ACI 318-05 설계기준의 경우 “공칭전단강도 V_n 은 $0.2f_{ck}b_wd$ 또는 $5.6b_wd$ 이하여야 한다.”는 규정에 의해 철근콘크리트 코벨의 극한강도가 결정됨으로서 일반적으로 낮은 값을 예측함에 따른 결과로 판단된다. 앞으로 더 많은 시험체의 극한강도 평가 및 다양한 설계방법과의 비교를 통해 본 연구의 방법의 타당성을 검증하는 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 윤영목, 김병현, 이원석, 정찬택 (2007) 전단마찰 및 스트럿-타이 모델을 이용한 철근콘크리트 코벨의 전단강도 예측, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제 27권, 제 2A호, pp. 141-155.
2. American Concrete Institute (2005) *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-05) and commentary (ACI 318R-05)*, Farmington Hills, Michigan, USA.
3. Fattuhi, N. I. and Hughes, B. P. (1989) Ductility of reinforced concrete corbels containing either steel fibers or stirrups, *ACI Structural Journal*, Vol. 86, No. 6, pp. 644-651.
4. Fattuhi, N. I. (1994) Reinforced corbels made with plain and fibrous concretes, *ACI Structural Journal*, Vol. 91, No. 5, pp. 530-536.
5. Foster, S. J., Powell, R. E., and Selim, H. S. (1996) Performance of high-strength concrete corbels, *ACI Structural Journal*, Vol. 93, No. 5, pp. 555-563.
6. Kriz, L. B. and Raths, C. H. (1965) Connections in precast concrete structures—strength of corbels, *PCI Journal*, Vol. 10, No. 1, pp. 16-61.
7. Mattock, A. H., Chen, K. C., and Soongswang, K. (1976) Behavior of reinforced concrete corbels, *PCI Journal*, Vol. 21, No. 2, pp. 52-77.
8. Yong, Y. K. and Balaguru, P. (1994) Behavior of reinforced high-strength concrete corbels, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 120, No. 4, pp. 1182-1201.