

정착파괴가 관련된 깊은 보의 휨-전단 강도에 관한 연구

Flexural and Shear Strength of RC Deep Beams related to Anchorage Failure

김 대 진*

Kim, Dae-Jin

홍 성 곁**

Hong, Sung-Gul

ABSTRACT

This study presents the plastic analysis for the flexural and shear strength of RC beams related to anchorage failure. Five failure mechanisms based on the upper bound solution were constructed and the ultimate strength equations were formulated from them. The parametric study herein was carried out to observe the variation of the controlling failure mechanism depending on the parameters in the ultimate strength equations. The results of the parametric study show that controlling failure mechanism and ultimate strength are determined through the interaction of each parameter. This indicates that respective structural configurations must be treated in a unified manner. Additionally this study proposes the scope of the parameter to induce the flexural failure of RC deep beams.

1. 서론

정착문제를 해결하기 위한 ACI 구조설계기준¹은 많은 수의 정착과 검침에 관한 실험을 통해 정착길이를 산정하는 경험식을 제시하고 있다. 그러나 이와 같은 실험식의 적용은 한계가 있으며, 이를 극복하기 위하여 덴마크 공과대학의 Nielsen 등은 소성학의 상한계 이론을 이용한 연구²를 진행시켰다. 그러나 Nielsen 등에 의한 연구는 부재의 단면 방향에서만 정착문제를 고려하여 실제적인 3 차원 철근 콘크리트 구조물의 정착과 관련된 거동을 모두 설명하지 못하는 한계점이 있다. 따라서 본 연구는 Nielsen 등의 연구를 확장시켜 부재의 측면방향의 파괴 메커니즘도 동시에 고려하여 정착이 관련된 깊은 보의 휨-전단거동을 이론적으로 규명해 보고자 한다.

해석모델을 구성하기 위해 콘크리트 소성학의 상한계 이론을 이용하였으며, 부착강도를 산정하기 위한 단면방향의 파괴 메커니즘은 Nielsen 등에 의한 최신 연구²에 의존하였다. 해석모델이 소성학의 하한계 이론에 의해 동시에 검토될 수 없기 때문에 가능한 많은 수의 파괴 메커니즘을 고려하였다. 여러 파괴 메커니즘들 중에서 최소의 극한강도를 가지는 것이 지배적인 것이므로 파괴 메커니즘 사이의 상관관계는 파라미터 스터디를 통해 규명되어졌다. 이와 같은 파라미터 스터디는 물리적인 성질을 이해하는데 도움을 줄 뿐만 아니라 설계에 유용한 자료를 제공하기도 한다.

* 정회원, 서울대학교 건축학과 대학원

** 정회원, 서울대학교 건축학과 조교수

2. 상한계 이론에 의한 해석(Upper Bound Solution)

2.1 기본 가정

상한계 이론의 해석은 평면 변위장에서 이루어지며, 콘크리트는 인장강도가 0 이고 수정 Coulomb 항복기준을 만족하는 평면 응력 요소이다. 콘크리트와 철근의 접합면에 작용하는 부착응력은 철근을 둘러싸는 콘크리트의 수직응력에 대하여 완전소성거동으로,³ 부착강도는 철근뿔힘길이에 걸쳐 일정한 것으로 가정한다.

2.2 파괴 메커니즘과 극한강도식 (그림 1)

정착파괴가 관련된 철근 콘크리트 깊은 보의 휨-전단거동을 설명하기 위해 다섯 개의 파괴 메커니즘을 도입하였으며, 이는 이미 알려진 파괴 메커니즘^{2,4,5}을 그대로 이용하거나 적절히 변형시켜 구성한 되었다. 파괴 메커니즘과 함께 제시된 극한 전단강도식은 콘크리트 소성학의 상한계 이론에 근거하여 유도되었다. 각각의 파괴 메커니즘에서 독립 변수는 각도 α 와 β 그리고 휨 파괴에서 압괴가 발생하는 콘크리트 블록의 폭 r 이며 이에 대하여 극한강도식은 최적화 되어야 한다. 깊은 보의 경우 파괴면의 각도 β 는 하중점과 지지점을 잇는 선을 따라 결정되는 경우가 지배적이므로 ($\tan \beta = d/a$) 이를 이용한다.

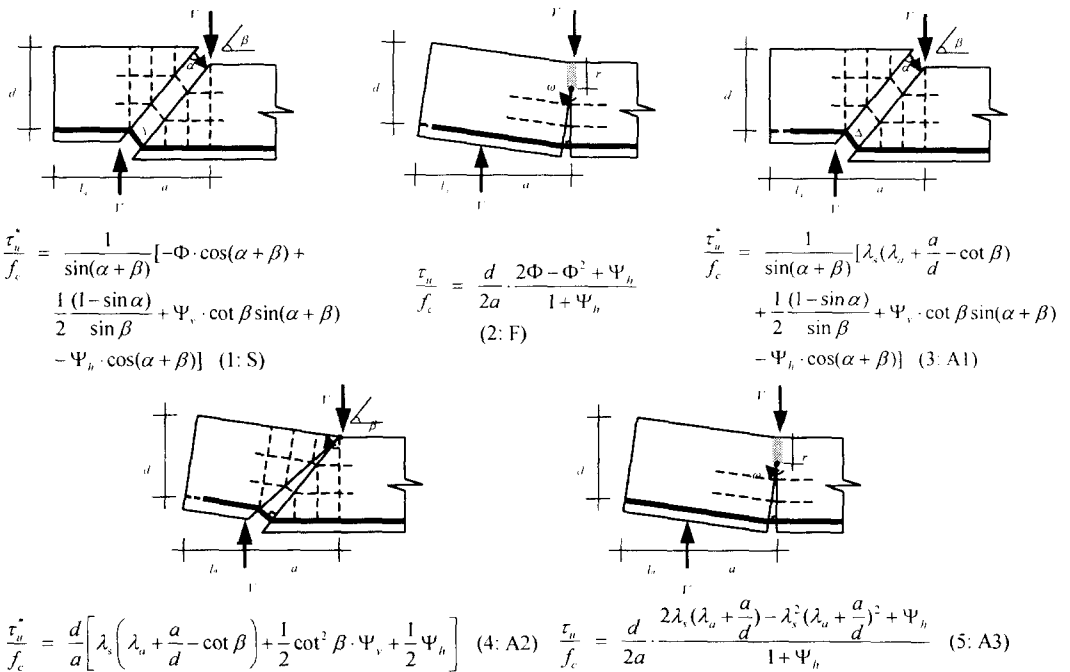


그림. 1 정착파괴가 관련된 깊은 보의 휨-전단 파괴 메커니즘

3. 설계변수의 분석(Parametric Study)

3.1 파라미터의 물리적 의미

표. 1 파라미터의 물리적의미

이름	기호	수식	물리적 의미
주철근비	Φ	$\frac{A_{st} \cdot f_{yt}}{bd f_c}$	주철근의 배근량을 나타낸다.
수평전단철근비	Ψ_h	$\frac{A_{sh} \cdot f_{yh}}{bs f_c}$	수평방향 전단철근의 배근량을 나타낸다.
수직전단철근비	Ψ_v	$\frac{A_{sv} \cdot f_{yv}}{bs_2 f_c}$	수직방향 전단철근의 배근량을 나타낸다.
단면부착성능비	λ_s	$\frac{n\pi d_h \cdot \tau_h}{b f_c}$	부착성능에 관한 철근의 단면방향의 기하학적 조건이다. 부착강도 τ_h 는 Nielsen 등이 제시한 방법 ¹ 으로 계산한다.
지지점 이후 길이비	λ_u	$\frac{l_u}{d}$	지지점 이후에 존재하는 철근길이로 단면부착성능비와 더불어 부재의 부착성능을 결정하는 파라미터이다.
전단스팬비	$\frac{a}{d}$	$\frac{a}{d}$	하중점과 지지점 사이의 거리와 보 축의 비로 보의 전단파괴 양상을 결정한다.

3.2 파라미터에 따른 지배적인 파괴 메커니즘의 변화 (그림 2)

해석결과를 살펴보면 다른 파라미터의 값이 일정할 때 단면부착성능비와 지지점 이후 길이비가 특정한 값 이상이 되어야 정착파괴가 발생하지 않음을 알 수 있다. 단면부착성능비와 지지점 이후 길이버는 철근비와 밀접한 관련이 있어서 철근비가 증가하면 단면부착성능비나 지지점 이후 길이비가 증가해야 정착파괴를 방지할 수 있다. 그리고 단면부착성능비나 지지점 이후 길이버의 값이 변화하지 않는 경우에도 다른 철근비가 증가하면 전반적인 강도가 커지게 된다.

전단스팬비에 따른 지배적인 파괴 메커니즘과 극한전단강도를 살펴보면 각도 β 를 전단스팬비와 동일한 값으로($\tan \beta = d/a$) 가정하였기 때문에 전단스팬비가 비교적 작은 경우에 대해서만 정확한 결과를 보여준다고 할 수 있지만, 기존의 실험결과²와 비슷한 극한전단강도를 보이며 단면부착성능비와 지지점 이후 길이버의 크기에 따라 지배적인 파괴 메커니즘의 영역이 변화함을 알 수 있다. 즉 값이 큰 경우에는 휨이나 전단파괴가 값이 작은 경우에는 정착파괴가 지배적인 파괴 양상이 됨을 알 수 있다. 다른 파라미터를 변화시켜 지배적인 파괴 메커니즘을 알아보는 경우에도 철근비와 단면부착성능비(혹은 지지점 이후 길이비) 사이의 상대적인 크기가 중요한 역할을 담당함을 알 수 있다.

3.3 깊은 보의 휨파괴가 발생하도록 하는 파라미터의 범위

깊은 보도 일반적인 보와 마찬가지로 과도한 하중이 작용할 경우의 파괴양상을 휨 파괴로 유도할 필요가 있으며, 이를 위해서는 전단파괴와 정착파괴가 발생하지 않도록 파라미터의 값이 제한되어야 한다. 즉, 전단강도의 크기를 휨강도의 크기보다 작게 만들기 위해 여러 철근비(Φ, Ψ_v, Ψ_h)를 제한하고(식 6), 정착파괴가 발생하지 않도록 λ_s 와 λ_u 의 값을 조정해야 한다(식 7). 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\left[\left(\frac{2\Phi - \Phi^2 + \Psi_h}{1 + \Psi_h} \right) - 2\Psi_v \left(\frac{a}{d} \right) \right] \leq \left(\sqrt{1 + \left(\frac{a}{d} \right)^2} - \frac{a}{d} \right) \quad (6)$$

$$\lambda_s \lambda_u \geq \frac{1}{2} \left[\left(\frac{2\Phi - \Phi^2 + \Psi_h}{1 + \Psi_h} \right) - \left(\left(\frac{d}{a} \right)^2 \Psi_v + \Psi_h \right) \right] \quad (7)$$

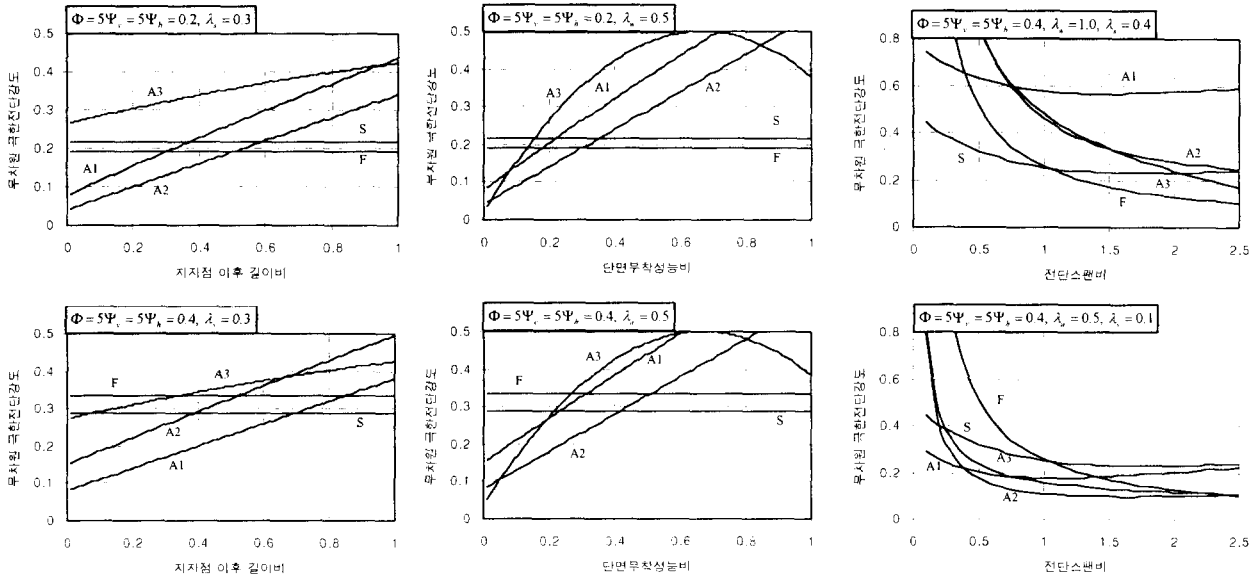


그림. 2 파라미터에 따른 지배적인 파괴 메커니즘의 변화

4. 결론

본 연구의 결론은 다음과 같다.

- 1) 철근 콘크리트 깊은 보 단부의 정착에 관한 문제는 부재 전체를 구성하는 여러 파라미터(각종 철근비, 전단스팬비, 단면부착성능비, 지지점 이후 길이비 등)와 분리시켜 생각할 수 없으며 이들과의 상호작용을 고려하여 결정해야 한다.
- 2) 철근 콘크리트 깊은 보의 정착문제와 관련된 주요 설계 파라미터는 단면부착성능비(λ_v)와 지지점 이후 길이비(λ_s)이다. 이들은 부재의 정착 능력을 향상시키는 데에 있어 동일한 역할을 담당하며, 철근비에 비례하여 적절히 증가되어야 한다.
- 3) 철근 콘크리트 깊은 보의 파괴양상이 바람직한 휨파괴로 발전하기 위해서는 식 6 과 7 에 제시된 바와 같이 철근비와 단면부착성능비, 지지점 이후 길이비의 값을 조정해 주어야 한다.

감사의 글

본 연구는 '98년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비 지원에 의한 것으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. ACI Committee 318(1995), "Building Code and Commentary (ACI 318-95)," Farmington Hills, MI 369pp
2. Nielsen, M.P.(1999), "Limit Analysis and Concrete Plasticity/ 2nd Ed.," CRC press LLC, 908pp
3. Hong, S.-G.(1994), "Consistent Truss Modeling of Bar Development and Anchorage," PhD dissertation, Department of Civil Engineering, Lehigh University, Bethlehem, Pennsylvania, May, 399pp
4. Jensen, J.F. (1982), "Discussion of 'An upper-bound rigid-plastic solution for the shear failure of concrete beams without shear reinforcement,' by K.O. Kemp, and M.T. Al-Safi." Mag. of Concrete Res., 34(119)
5. Sigrist, V., Alvarez, M., and Kaufman, W.(1995), " Shear and Flexure in Structural Concrete Beams," Reprint from CEB Bulletin d'Information No. 223 "Ultimate Limit State Design Models" A state-of-art report