

RC 부재의 전단거동에 미치는 축력의 영향에 대한 연구

Effect of Axial Force on Shear Behavior in Reinforced Concrete Beams

정 제 평* 김 대 중** 염 환 석*** 김 우****
Jeong, Jae Pyong Kim, Dae Joong Yum, Hwan Seok Kim, Woo

ABSTRACT

It is well known that axial tension decreases the shear strength of RC beams without transverse reinforcement, and axial compression increases the shear resistance. What is perhaps not very well understood is how much the shear capacity is influenced by axial load. RC beams without shear reinforcement subjected to large axial compression and shear may fail in a very brittle manner at the instance of first diagonal cracking. As a result, a conservative approach should be used for such members. According to the ACI Code, the concrete contribution is calculated by effect of axial force and the vertical force in the stirrups calculated by 45° truss model. This study was performed to examine the effect of axial force in reinforced concrete beams.

1. 서 론

횡방향철근이 없는 부재에서 축방향 인장력은 전단강도를 감소시키고, 축압축력은 전단저항력을 증가시킨다는 것은 잘 알려진 사실이다. 그러나 아직까지 이해되지 않는 부분은 축력이 전단에 얼마만큼 영향을 미치고, 부재의 연성에는 어떤 영향을 주는지 이다. 횡방향 보강철근이 없는 부재에서 큰 압축력과 전단력을 받게 되면 첫 번째 경사균열이 일어나면서 그대로 취성파괴가 발생하기 때문에 ACI에서는 상당히 보수적 관점을 유지하고 있다. 반면에 횡방향철근이 배치된 경우에는, 압축과 인장을 받는 경우를 구분하여 콘크리트의 전단강도를 산정하며 계수전단력이 콘크리트 공칭전단강도 보다 클 경우 45° 트러스모델에 의해 전단 철근량을 산정하고 있다. 여기서 경사균열각 θ 가 45° 로 고정된다는 가정은 상당히 큰 문제를 야기 할 수 있다. 이런 배경에서 본 연구는 RC 보에 작용축력의 크기를 변화시켜 전단강도 변화와 경사균열각 θ 변화 등 전단거동에 영향을 주는 인자를 관찰하고자 한다. 본 연구에서 사용할 검증방법은 파괴역학을 근간으로 한 비선형 유한요소해석 프로그램 ATENA(Cervenka, 2000)⁵를 사용하였다.

2. 축력에 의한 전단강도와 균열각 θ 변화

축력의 주된 영향은 부재의 사인장균열강도를 변화시키는 것이다. 축력이 작용하면 사인장균열에서의 주응력 크기와 방향이 변하기 때문에 사인장균열하중이 현저하게 달라지며, 이로 인해 축압축력은 균열하중을 증가시키고 반면에 축인장력은 균열하중을 감소시킨다. ACI-Code 에서는 이러한 축력효과를 다음과 같이 산정하도록 정하고 있다^{2), 3)}.

* 정희원, 전남대학교 토목공학과 박사과정
*** 정희원, 광주대학교 건축학부 교수

** 정희원, 전남도립 남도대학 토목환경과 조교수
**** 정희원, 전남대학교 토목공학과 교수

$$V_c = 2 \left(1 + \frac{N_u}{2000 A_g} \right) \sqrt{f_{ck}} b_w d \quad \text{for axial compression (psi)} \quad (1a)$$

$$V_c = 2 \left(1 + \frac{N_u}{500 A_g} \right) \sqrt{f_{ck}} b_w d \quad \text{for axial tension (psi)} \quad (1b)$$

여기서, 축인장력일 경우 N_u 는 음수이다. 계수전단력이 콘크리트 공칭전단강도 보다 클 경우에는 45° 트리스모델에 의해 횡방향 전단 철근량을 다음과 같이 산정하도록 정하고 있다¹⁾.

$$V_s = \frac{A_w f_y d}{s} \cot 45^\circ \quad (2)$$

그림 1은 압축과 인장을 받는 $a/d=3$ 인 RC 보에 스티럽 항복을 유도한 FEM 해석결과 이다. 축압축력이 증가할수록 전단강도가 증가하지만 축인장력이 증가하면 전단강도는 현저히 낮아지는 것을 알 수 있다. 특이할만한 사실은 축인장력이 작용하면 식(1)과 식(2)에 의한 전단강도보다 극한전단강도가 낮아 불안전 영역(non conservative zone) 이 발생한다는 사실이다. 이것은 그림 2의 사인장균열 각 θ 의 변화로 설명할 수 있으며, 축압축력이 작용하면 균열각 θ 는 45° 보다 낮아져 식(2)의 스티럽효과가 증가하지만, 축인장력이 작용하면 균열각 θ 는 수직균열 90°에 가까운 방향으로 성장하기 때문에 스티럽의 효과는 낮아졌다.

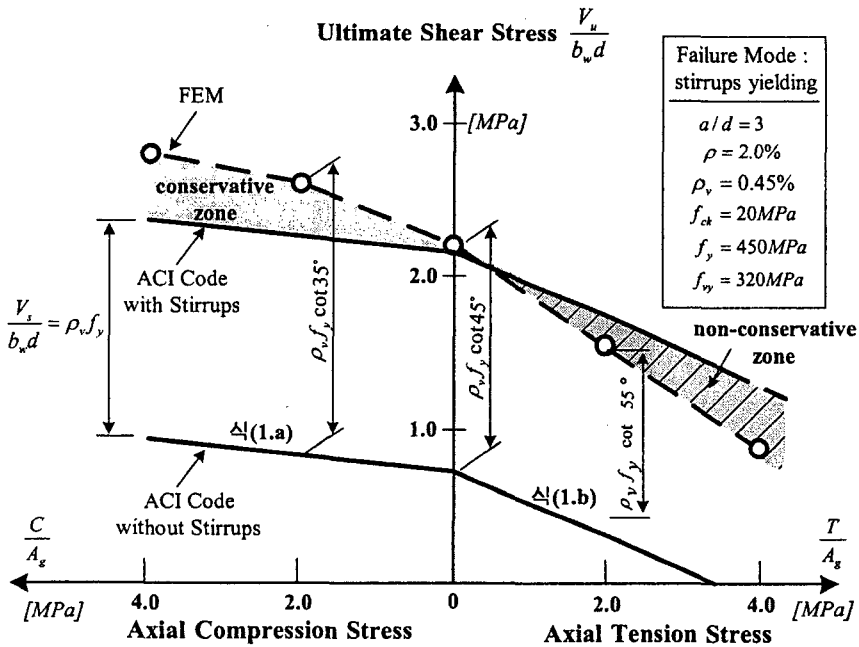
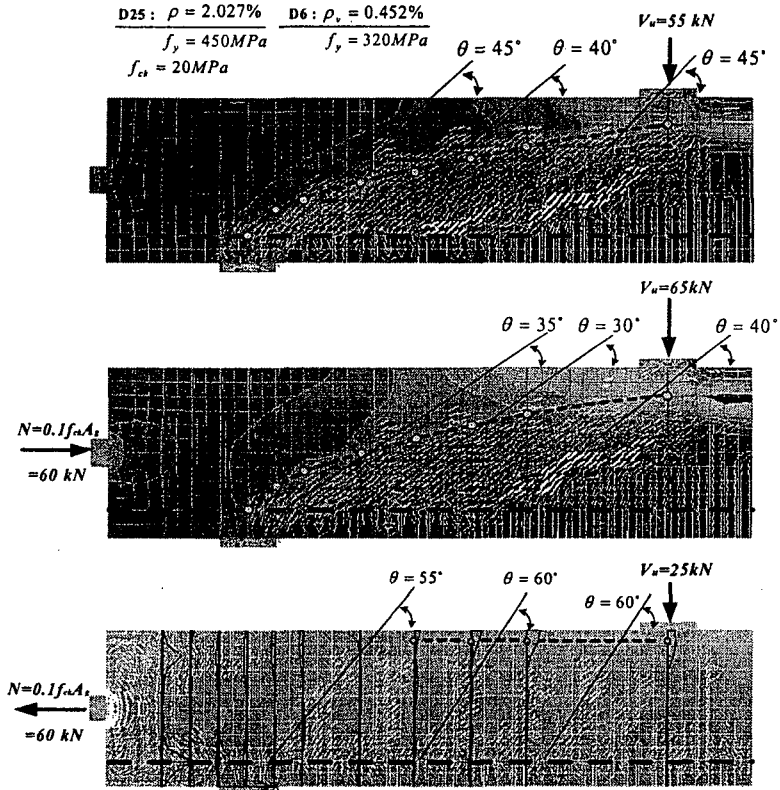


그림 1. 축력에 의한 전단강도 변화

횡방향철근이 없는 보에 축인장력을 작용시킨 Gupta 와 Collinse(1993) 실험결과를 통해 ACI가 안전측이지 않는다는 결과가 보고 되어 있지만³⁾, 그림 1의 해석결과는 일반적인 횡방향 보강철근이 있는 경우에도 ACI가 안전측이지 못한다는 것을 알 수 있다.



3. 주철근 인장력 변화

그림 3은 극한하중단계에서 주철근의 인장력과 전단경간의 1/2 위치에서 스티럽응력 분포를 나타낸 것이다.

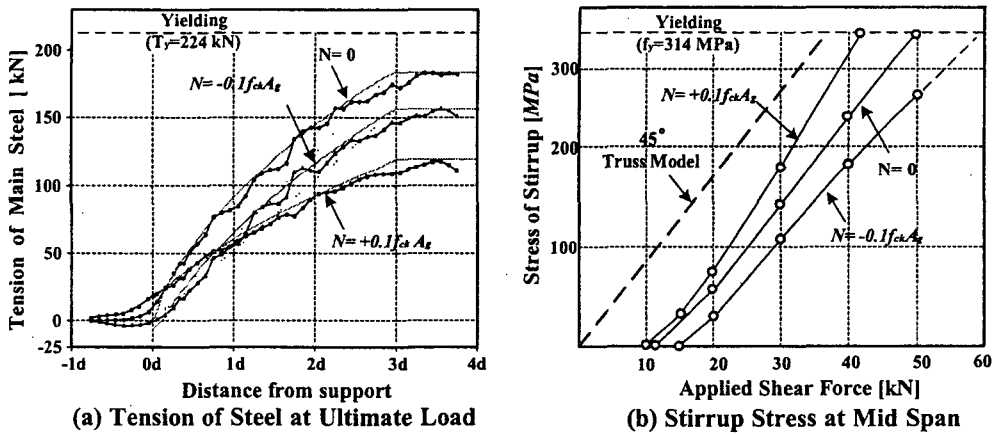


그림 3. 주철근인장력과 스티럽응력 변화

축력효과에 따라 주철근인장력 분포는 시간에 따라 곡선형으로 나타났으며, 특히 그림 3(b)의 해석 결과를 보면, 축인장력이 작용하는 경우 전단경간 중앙단면의 스티럽응력은 사인장균열각이 45° 보다 크게 발생하기 때문에 스티럽이 빨리 항복함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 축력이 RC보의 전단거동에 미치는 영향을 비선형유한요소 프로그램을 사용하여 분석한 내용이며 요약하면 다음과 같다.

- 1) 스티럽이 항복할 수 있는 제원으로 해석한 전단거동변화를 살펴보면, 축압축력이 작용하면 전단강도는 점진적으로 증가하였으나, 축인장력 작용시에는 급하게 낮아졌다. 또한 축압축력 작용시의 내부모멘트 팔길이 z 는 아치모양으로 발생하였지만 축인장력 작용시에는 z 가 일정한 형태를 유지하였다. 그리고 축인장력이 작용하는 경우 전단경간 중앙단면의 스티럽응력은 사인장균열각이 45° 보다 크게 발생하기 때문에 스티럽이 빨리 항복함을 알 수 있었다.
- 2) ACI Code를 기준으로 볼 때, 축인장력을 받는 RC보의 사인장 균열각 θ 는 45° 보다 크게 발생되므로 경사균열각 θ 를 45° 로 고정하는 현행 전단설계는 상당히 큰 문제를 야기 할 수 있다.
- 3) 본 연구는 해석이라는 제한된 방법으로 검증한 것으로 실험자료 등을 이용한 신뢰할 수 있는 방법으로 추가 검증이 필요하다. 또한 ACI-ASCE 445 위원회에서 언급했듯이, 전단력과 축인장력이 작용하는 부재들의 거동에 관한 전단설계모델들은 전단에 저항하는 압축영역이 존재하지 않는 점과 인장응력이 집중되는 곳에서 파괴영역이 존재하지 않는 점 그리고 임계경사균열의 기울기 변화 등에 관한 후속연구가 합리적인 방법으로 진행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(과제번호 R01-2002-000-00592-0) 지원으로 수행된 결과의 일부이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. ACI Committee 318 (1995), "Building Code Requirement for Reinforced concrete and Commentary", ACI, Detroit, M.I.
2. ASCE-ACI Committee 426 (1973), "The shear strength of reinforced concrete members", *Journal of Structural Division*, ASCE, Vol.99, No.6, pp. 1091-1187
3. ASCE-ACI Committee 445 (1998), "Recent approaches to shear design of structural concrete", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol.124, No.5, pp. 1375-1417
4. Bhide, S. B., and Collins, M. P. (1989), "Influence of axial tension on the shear capacity of reinforced concrete members," *ACI Structural Journal*, Vol. 86, No. 5, pp. 551-564.
5. Cervenka, V. (2000), *ATENA Program Documentation*, Cervenka Consulting.
6. Haddadin, M. J. and Mattock, A. H. (1971), "Stirrup effectiveness in reinforced concrete beams with axial force", *Journal of Structural Division*, ASCE, Vol. 97, pp.2277-2297
7. Vecchio, F. J., Collins, M. P. (1986), "The modified compression field theory for reinforced concrete elements subjected to shear", *ACI Journal*, Vol.83, No.2, pp. 219-231