

이축인장압축장이론에 기반한 PSC보의 전단변형

Shear Deformation based on the Biaxial Tension-Compression Theory in Prestressed Concrete Members applied by Axial Loading

정 제 평* 김 대 중** 모 귀 석*** 김 우****
Jeong, Jae Pyong Kim, Dae Joong Mo, Gui Suk Kim, Woo

ABSTRACT

ASCE-ACI Committee 426 and 445, on Shear and Torsion, well noted in their report^{1) 2)} that recent research work regarding shear and torsion had been devoted primarily to members. But it was not logical approach of PSC members applied by axial force based on the shear deformation in web element. And it was not included that the effect of axial is to shift the shear strain(or crack width) in the web element versus the applied shear curve up or down by the amount by which the biaxial tension-compression state varies. The shear strength also increases or decreases, so that the change in shear strain at service load due to the presence of axial load is to some extent changed. Generally, in corresponding beams the shear strain at service load is less in the beam subject to axial compression and greater in the beam subject to axial tension, than in the beam without axial load. In particular, however, no research were available on the shear deformation in shear of PSC members with web reinforcement, subject to axial force in addition to shear and bending. Therefore, this study was basically performed to develop the program for the calculation of the shear deformation based on the shear effect of axial force in prestressed concrete members.

Keyword : PSC Members, Shear Deformation, Shear Behavior

1. 서 론

ASCE-ACI 426, 445 위원회는 최근의 연구에 대해 보고서를 통해 전단과 비틀림에 관해 잘 정리하였다^{1), 2)}. 그러나 축력을 받는 부재에서 복부 전단요소의 전단변형에 대한 논리적 접근은 없었으며, 축력작용에 따른 2축인장-압축상태 변화와 복부요소의 전단변형의 관계를 다루지 않았다. 사용하중단계에서 PSC 부재의 전단강도는 축력작용 상태에 기인한 전단변형률의 변화에 따라 증가하거나 감소한다. 일반적으로 사용하중 단계에서 복부요소의 전단변형률은 축력이 작용하지 않을 때 보다 축 압축력이 작용하면 감소하고, 축 인장력이 발생하면 증가한다. 그러나 실제 보와 같이, 휨과 전단이 동시에 작용하면서 축력에 지배받는 PSC 부재의 전단변형에 대해서 유용한 연구가 많지 않았다. 따라서 본 연구는 PSC 부재에서 축력효과에 기반한 전단변형을 계산하기 위한 수치적 프로그램을 개발하고, 축력을 받는 PSC보의 응력-변형률 상태를 예측하기 위한 핵심기술개발의 기초연구를 수행하기 위한 것이다.

* 정희원, 용마엔지니어링 광주자문단 차장
*** 정희원, 대불대학교 토목공학과 교수

** 정희원, 전남도립남도대학 토목환경과 교수
**** 정희원, 전남대학교 토목공학과 교수

2. 축력에 의한 전단거동 변화

2.1 평형조건

그림 1에 나타난 복부전단요소에는 전단응력 $v_b=(1-\alpha)v=(1-\alpha)V/b_wz$, 부재의 축력 N 에 의한 축압 축 응력 $f_n=N/A_g$ 와, 등분포하중 w 중에서 아치작용(아치계수 α)을 제외한 복부 요소에 전달되는 수직 응력 $(1-\alpha)w/b_w$ 이 외력으로 작용하고 있다. 이 외력에 의해 복부 콘크리트에 유발되는 압축주응력, 축방향 응력과 수직 응력의 크기는 그림 1(b)의 Mohr원을 이용하여 다음과 같이 표현된다.

$$f_2 = (1-\alpha)v (\tan \theta + \cot \theta) - f_1 \quad (1)$$

$$f_x = (1-\alpha)v \cot \theta - f_1 \quad (2)$$

$$f_t = (1-\alpha)v \tan \theta - f_1 \quad (3)$$

위 콘크리트 수직 응력 f_t 는 수직 스테럽력과 수직 응력 $(1-\alpha)w/b_w$ 과 평형을 이뤄야 한다. 즉 $f_t = \rho_v f_v + (1-\alpha)w / b_w$ 이라는 평형조건에 의해 (여기서 $\rho_v = A_v / (b_w \cdot s)$ 이고, A_v 와 f_v 는 각각 스테럽 단 면적과 응력이고, s 는 간격) 수직 스테럽 인장력은 다음과 같게 된다(그림 1(c)).

$$\rho_v f_v = [(1-\alpha)v \tan \theta - f_1] - (1-\alpha)w / b_w \quad (4)$$

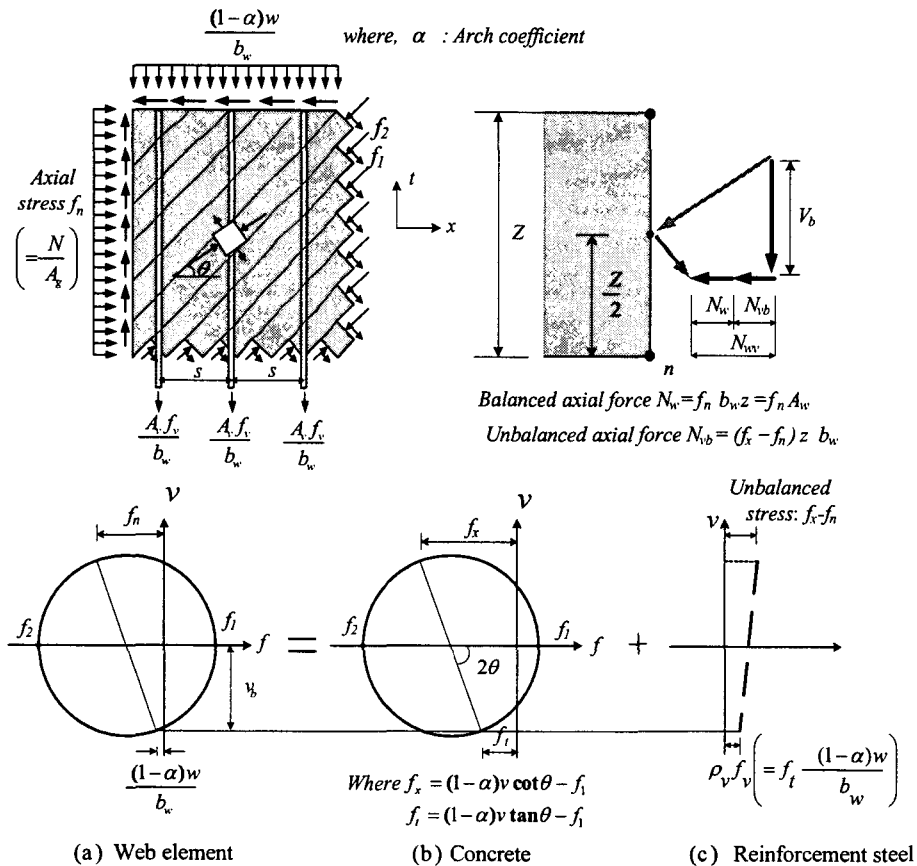
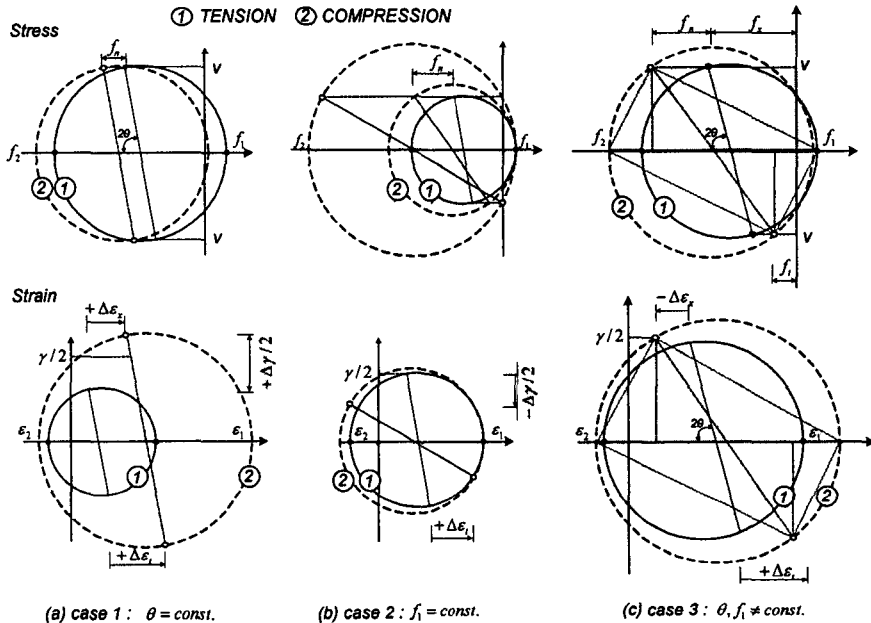


그림 1 Force equilibrium in web element with combined load.

2.2 구성관계응력-변형을 관계

PSC 부재는 2축 인장압축장이 형성된 하중상태에서는 Collis의 MCFT⁴⁾나 Hsu의 STM과 같이 평형조건과 구성조건 그리고 적합조건을 이용하면 복부전단요소의 응력과 변형을 예측이 가능해진다. 그림 2와 같이, 축력에 의한 응력과 변형률의 변화는 3가지 경우에 따라 쉽게 이해할 수 있으며, Wagner의 방법(상부·하부 음영삼각형 높이 일치 조건)을 사용하면 해의 수렴상태를 쉽게 접근할 수 있다.²⁾



(a) case 1: $\theta = \text{const.}$ (b) case 2: $f_1 = \text{const.}$ (c) case 3: $\theta, f_1 \neq \text{const.}$
 그림 2 Stress-Strain relation of web element applied by Axial Loadings

2.3 단면 축력의 재분배

복부요소의 전단거동($f_1 - \epsilon_1, f_2 - \epsilon_2, \theta$)은 PSC 부재의 단면 평형과 적합하게 발생되기 때문에 단면에 발생하는 축력 재분배 과정이 필요하고, 이를 그림 3에 나타내었다.

3. PSC 부재의 수치해석

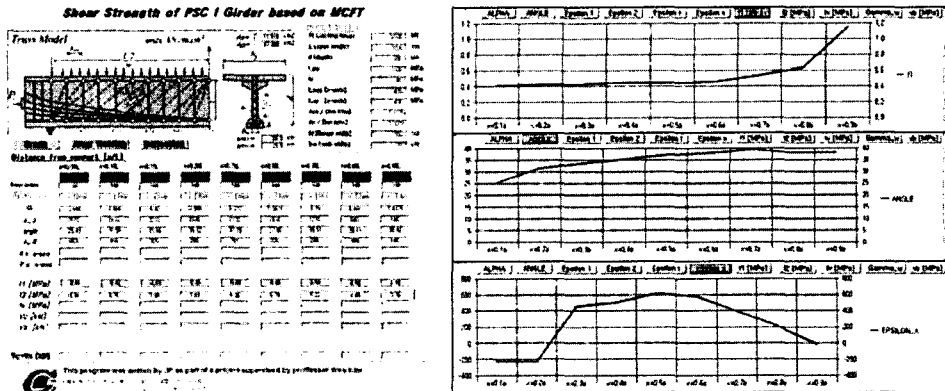


그림 4 Numerical analysis by the proposal logics

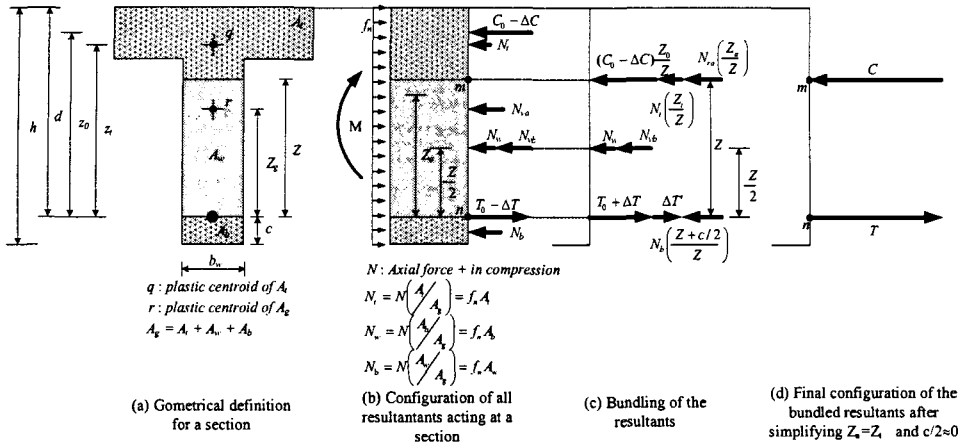


그림 3 Axial force equilibrium at a section

4. 결론

본 연구는 축력을 받는 PSC보의 응력-변형률 상태를 예측하기 위한 핵심기술개발의 기초연구이다. 이를 위해 PSC부재를 상현재 요소와 복부전단요소 그리고 하현재 요소로 분해한 요소이산화 개념을 통해 전단변형량을 예측하는 수치적 접근법에 대해 연구하였고, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 축력에 의한 복부전단요소의 평형조건과 MCFT 또는 STM 등의 이축인장압축장모형을 이용한 응력-변형률 구성관계와 변형적합조건, 그리고 PSC 부재 단면의 축력재분배과정을 통해 축력의 크기에 따른 복부요소의 응력-변형률 변화를 수치적으로 접근할 수 있었다.
2. 본 연구는 PSC 부재의 전단변형량의 수치적 예측모형을 개발한 내용으로 실험 측정자료와 비교한 신뢰할 수 있는 방법으로 추가 검증이 필요하다.

감사의 글

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

참고 문헌

1. ASCE-ACI Committee 426 (1973), "The shear strength of reinforced concrete members", *Journal of Structural Division*, ASCE, Vol.99, No.6, pp. 1091-1187.
2. 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.
3. 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.
4. 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.