

스트럿의 유효압축강도계수

Effectiveness Factors for Struts

홍 성 곁* 임 우 영**

Hong, Sung Gul Lim, Woo Young

ABSTRACT

A new model which is able to understand the mechanical behavior is developed, based on investigating the theoretical background for design compressive strength in strut-and-tie model. A proposed model is an alternative method for engineers through analyzing the merits and demerits of the conventional models

요 약

스트럿-타이 모델의 압축요소의 설계압축강도에 대한 이론적인 배경을 검토하여 역학적인 이해가 가능한 모형에 근거한 모형을 제시한다. 기존 모형의 장단점을 분석하여 설계자 입장에서 합리적인 대안을 제시한다.

1. 콘크리트 강도의 특성

콘크리트의 비선형적이고 제한된 변형능력의 한계를 극복하기 위한 강도설계법과 소성설계는 부재 거동의 연성 확보와 파괴유형에 초점을 주고 있다. 특히 콘크리트의 압축강도가 지배하는 단면 및 부재 강도 산정은 합리적이고 간단한 응력분포의 설정이 필요하다. 강도설계법에서 휨모멘트강도 산정과 압축강도의 산정에서 보여주는 응력분포산정에서 그 의미를 찾을 수 있다. 이러한 응력분포의 가정의 이론적으로 하한계 정리에 근거한다고 볼 수 있다. 적절한 응력분포가 항복조건과 평형조건을 만족하면서 최대값에 도달하는 응력분포를 제시하는 것이다. 극한상태에 도달하기 위해 변형능력이 전제되어야 한다.

스트럿-타이 모델을 이용한 설계기법의 성공적인 이용은 설계초기단계에서 구성방식의 중요성과 더불어 구성요소의 항복조건의 이해가 필요하다.

2. 스트럿-타이 모델

설계를 위한 스트럿-타이 모델에서 대체로 의도하는 파괴모드는 연성과파괴이다. 인장타이의 항복이 전제되고 스트럿과 절점의 조기 파괴는 최대한 억제되어야 한다. 이를 위해 타이의 항복 발생을 유도하기 위해 압축 스트럿과 타이의 요구조건 설정이 필요하다. 이러한 이유에서 1980년대 스트럿-타이 모델의 보급과 더불어 스트럿의 압축강도 산정과 절점강도에 대한 연구가 지속적으로 이루어졌다. 휨모멘트에 대한 수평방향의 휨 압축대에 비해 경사진 스트럿의 강도의 변동 요인은 다양하다. 보부

*정회원, 서울대학교 건축학과 교수

**정회원, 서울대학교 건축학과 박사과정

재의 경우 경사진 스트럿의 강도는 비교적 균열한 응력 및 변형 분포를 근거로 압축장이론 등을 통해 유효압축강도가 변형률에 함수로 제안하고 있다. 한편, 불균일 응력구역에서의 스트럿의 강도문제는 전단강도 문제와 혼재되어 있다. 유효압축강도에 영향을 미치는 주요 요소는 압축강도, 균열유발 철근의 부착 특성 등이 있다.

3. 스트럿의 강도

형상비가 유효 압축강도에 주는 영향은 CEB-FIP MODEL CODE¹⁾에 언급되어 있다.

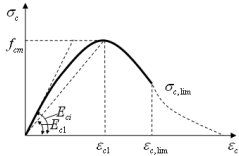


그림 1 응력-변형률 곡선 (CEB-FIP MODEL CODE)¹⁾

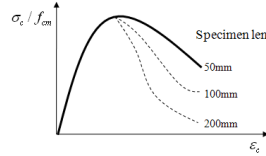


그림 2 형상비 영향 (Jan G.M. van Mier)²⁾

CEB-FIP MODEL CODE에서 제시하는 응력-변형률 곡선은 그림1과 같이 나타낼 수 있으며 응력은 다음 식(1)과 같다.

$$\sigma_c = -\frac{\frac{E_{ci}}{E_{cl}} \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cl}} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cl}}\right)^2}{1 + \left(\frac{E_{ci}}{E_{cl}} - 2\right) \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cl}}} f_{cm} \quad \text{for } |\epsilon_c| < |\epsilon_{c,lim}| \quad (1)$$

여기서, E_{ci} 는 접선탄성계수이며, σ_c 는 압축응력(MPa), ϵ_c 는 압축변형률, ϵ_{cl} 은 -0.0022 , E_{cl} 은 $f_{cm}/0.002$ 로서 최대 압축응력에서의 접선탄성계수이다. $f_{cm} = f_{ck} + \Delta f$ 이며, $\Delta f = 8MPa$ 이다.

그림1과 식1의 감소부분은 오직 $|\sigma_c|/f_{cm} \geq 0.5$ 일때만 유효하다.

그림 1과 같은 응력-변형률 관계를 기반으로 하여 Jan G.M. van Mier²⁾는 단면이 $100mm \times 100mm$ 인 실험체를 대상으로 형상비에 따른 응력-변형률 관계에 대해 그림 2와 같은 관계를 제시하였다.

4. 변형률의 영향

2축 응력장에서 콘크리트 스트럿의 압축응력-변형률 관계는 1축 압축 상태의 콘크리트 응력-변형률 관계와 다르며, softening effect가 나타나 압축 파괴 응력이 작아진다. Collins는 콘크리트 스트럿에 직각으로 발생하는 주인장 변형률의 크기의 함수로 감소되는 콘크리트 유효 압축강도를 $f_c = f'_c / (0.8 + 170\epsilon_1) \leq f'_c$ 으로 제안하였다. Muttoni는 콘크리트 설계압축강도에 의한 영향만을 고려하여 $f_c = 1.6(f'_c)^{2/3}$ 이라 제안하였으며, Kaufmann은 인장 철근의 횡변형률의 영향을 고려하여 $f_c = (f'_c)^{2/3} / (0.4 + 30\epsilon_1)$ 으로 제안하였다.

CEB-FIP MODEL CODE에서는 $\sigma_{c,lim} = -0.5f_{cm}$ 일 때 변형률 $\epsilon_{c,lim}$ 을 다음 식(2)와 같이 나타낸다.

$$\frac{\epsilon_{c,lim}}{\epsilon_{cl}} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} \frac{E_{ci}}{E_{cl}} + 1 \right) + \left[\frac{1}{4} \left(\frac{1}{2} \frac{E_{ci}}{E_{cl}} + 1 \right)^2 - \frac{1}{2} \right]^{1/2} \quad (2)$$

5. 소성모형

쿨롱마찰 이론에 의한 이미 발생된 균열면에 따라 발생 응력에 대한 평형조건으로 스트럿의 강도 모형이 가능하다.

참고문헌

1. CEB-FIP MODEL CODE 1990, "CEB Bulletin d'information No. 213/214", Committee Euro-International Du Beton, Thomas Telford, 1993, pp. 34~41
2. Jan G.M. van Mier, "Multiaxial strain-softening of concrete", Materials and Structures, No. 11, May/June, 1986, pp. 179~200