

콘크리트 압축강도에 따른 횡철근 구속효과를 고려한 비선형 재료모델

A Nonlinear Material Model for Concrete Compression Strength considering confining effect

박재근* 이헌민** 성대정*** 최정호**** 신현목*****

Park, Jae Guen Lee, Heon Min Sung, Dae Jung Choi, Jung Ho Shin, Hyun Mock

ABSTRACT

When the concrete is confined to width direction, stress-strain curve of concrete are different from the uniaxial behavior. In case of normal strength concrete, Mander model are used with concrete material model which considers confining effect. Sakino-Sun model showed experimental result of specimen-level and the highest accuracy. Therefore, Normal strength concrete used Mander model. and High strength concrete used Sakino-Sun model. But there are significant differences from actual data when medium strength concrete used Mander or Sakino-Sun model. and Limit scope of maximum or minimum compressive strength of concrete is not clear when applied to two models. Therefore, In this research, material nonlinear model of confined concrete is suggested when concrete which has 30-40MPa's strength is confined to width direction.

요약

횡방향으로 구속된 콘크리트의 응력-변형률 거동은 구속되지 않은 콘크리트와는 다른 거동을 한다. 보통강도 콘크리트에서 구속효과를 고려한 콘크리트 재료모델로는 Mander 모델이 대표적이며 고강도 콘크리트의 구속효과의 경우 여러 연구자들에 의하여 제안된 모델 중 공시체 수준의 실험결과와 잘 일치하는 Sakino-Sun 모델을 사용하였다. 보통강도에서는 Mander 모델을 고강도 콘크리트에서는 Sakino-Sun 모델을 사용하였으나 중간 강도인 30-40MPa의 강도에서 Mander 모델과 Sakino-Sun 모델의 적용시 실험결과와 해석결과가 다소 차이를 보이며 또한 두 모델은 적용할 수 있는 최대 또는 최소 콘크리트 압축강도의 한계범위가 명확하지 않다. 따라서 이 연구에서는 30-40MPa의 강도의 횡방향으로 구속된 콘크리트의 비선형 재료모델을 제안하였다.

-
- * 정회원 · 성균관대학교 건설환경시스템공학과 BK post-doc., 공학박사
 - ** 정회원 · 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정
 - *** 정회원 · 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정
 - **** 정회원 · 환경대학교 토목공학과 교수, 공학박사
 - ***** 정회원 · 성균관대학교 건설환경시스템공학과 교수, 공학박사

1. 서론

콘크리트 구조물의 실제 거동을 해석적으로 파악하기 위한 방법으로 주로 사용되는 비선형 해석프로그램의 정확성은 사용 재료모델에 의해 많은 영향을 받는다. 보통강도의 구속된 콘크리트 응력-변형률 관계는 Mander 모델이 주로 사용되며 고강도 콘크리트의 경우에는 Sakino-Sun 모델이 사용되었다. 그러나 이 두 모델의 적용한계가 불명확하기 때문에 이 연구에서는 Mander 모델과 Sakino-Sun 모델 적용 시 콘크리트의 강도 한계점을 분석하여 30MPa 이상 40MPa 이하의 중간강도의 콘크리트에 대한 구속효과 모델을 제안하였다.

2. 기존 콘크리트 구속효과 모델

2.1 보통강도 콘크리트에 대한 구속효과 모델

지진하중 등과 같은 반복하중을 받는 경우에 콘크리트의 부재는 구속되지 않은 경우에 비해서 우수한 연성능력 및 복원력 특성을 나타낸다. 구속된 콘크리트의 압축강성을 표현하기 위한 압축응력-압축변형률 관계에 대해서 많은 연구자들이 제안한 모델이 있으며, 보통강도의 압축강도를 갖는 콘크리트에 대하여 주철근, 구속철근 및 기하학적 배근형상 등을 고려한 Mander 모델(Fig. 1)을 사용하였다.

2.2 고강도 콘크리트에 대한 구속효과 모델

Mander 모델의 경우 고강도 콘크리트에 대하여 적용할 때 최대응력과 최대응력에서의 변형률을 과대평가함으로써 교각구조의 연성응답이 실제보다 다소 높게 측정되는 문제점 있음을 기존 연구를 통해 알 수 있었으며 이를 개선하기 위하여 여러 연구자들에 의하여 제안된 모델 중 공시체 수준의 실험결과와 잘 일치하는 Sakino-Sun 모델을 사용하였다. 해석시 사용된 응력-변형률 관계는 fig. 2와 같다.

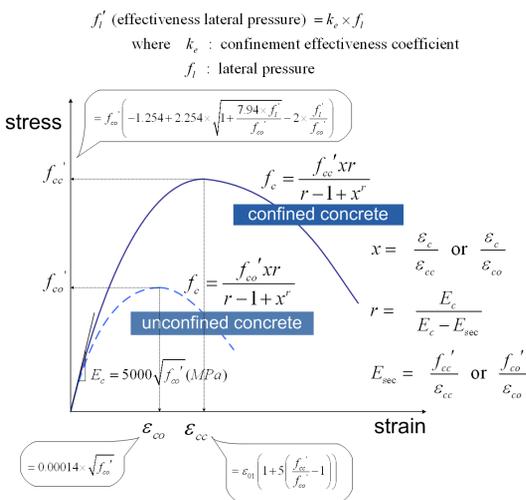


Fig. 1 Mander et al. model(1988)

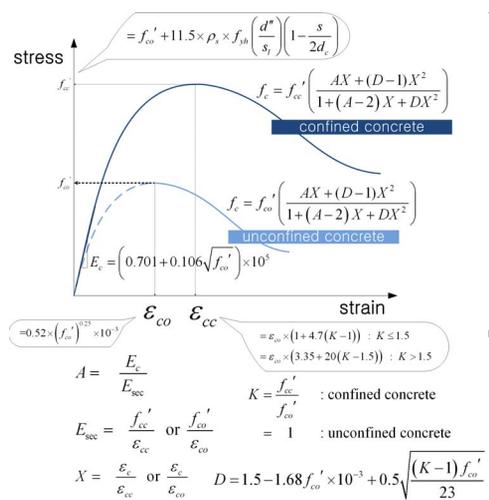


Fig. 2 Sakino and Sun model

3. 중간강도 콘크리트에 대한 구속효과 모델

일반적으로 사용되는 보통 콘크리트의 강도보다 큰 강도의 콘크리트 사용은 부재단면의 축소, 자중 감소, 공간의 효율적 사용, 경제성 향상 등의 장점을 가지고 있으나, 고강도 콘크리트 재료의 고유 특성상 압축강도에 비하여 상대적으로 낮은 인장강도, 전단강도, 부착강도를 나타내기 때문에 압축강도가 증가할수록 취성파괴의 위험성은 증대되고, 결국 연성도 급격히 저하된다. 따라서 수평하중을 받는 기둥의 경우 전단저항의 역할을 위하여 횡방향 구속철근의 배근이 중시되고 있으며, 고강도 콘크리트의 단점인 취성적인 파괴모드와 큰 변형에서의 급속한 에너지 방출을 지연시키기 위해 적절한 횡방향 구속철근을 배근하여 연성적인 거동을 유도해야 한다.

그러므로 다양한 압축강도의 콘크리트로 설계되어지는 경우 콘크리트의 압축강도에 따라서 다양한 횡방향 구속철근 배근에 의한 구속효과 모델을 정립해야한다. 기존의 해석 모델에서 사용되어진 콘크리트 구속효과 모델은 양장에서 언급한 바와 같이 보통강도 콘크리트의 경우 Mander 모델을 사용하였고, 콘크리트 압축강도가 고강도일 때에는 Sakino and Sun 모델을 사용하였다. 그러나 30MPa 이상의 콘크리트 압축강도에 대하여는 Mander 모델은 과대평가하고 있으며 Sakino and Sun 모델은 과소평가하여 각각 실제 실험결과와 잘 일치하지 않는 양상을 보이고 있다. 이를 위하여 중간강도의 압축강도를 갖는 콘크리트에 대하여 새로운 모델이 필요하게 되었다. 이 연구에서는 30-40MPa 강도를 갖는 구속효과를 고려한 콘크리트 재료모델을 Mander 모델과 Sakino and Sun 모델을 기반으로 천이모델을 제안하였다. 구속된 콘크리트 강도와 구속되지 않은 콘크리트 강도의 비와 구속된 콘크리트의 최대압축강도에서의 변형률을 각기 table 1과 같이 Mander 모델과 Sakino and Sun 모델 사이에 선형적으로 변화한다고 가정하였다.

Razvi and Saatcioglu(2007)에 의해 수행된 횡방향으로 구속된 고강도 콘크리트 공시체에 대한 실험결과와 해석의 비교를 통하여 고강도 공시체에서의 Sakino and Sun 모델의 적용성에 대한 신뢰성은 이미 검증된 바 있으며 이에 대한 대표적인 결과를 fig. 3에 나타내었다. 또한 이 연구에서 제안한 중간강도의 콘크리트에 대한 응력-변형률 곡선을 콘크리트 압축강도가 32.5 MPa, 35 MPa 그리고 37.5MPa에 대하여 보통강도 및 고강도 콘크리트에 대한 응력 변형률 곡선과 함께 fig. 4에 나타내었다.

Table 1 Confined concrete material model for concrete strength effect

f_{ck}	$f_{ck} < 30MPa$	$30MPa \leq f_{ck} < 40MPa$	$40MPa \leq f_{ck}$
Model Name	Mander J. B.	Proposed Model	Sakino-Sun
Shape function	$f_c = \frac{f'_{cc} \cdot xr}{r - 1 + x^r}$	$f_c = \frac{f'_{cc} \cdot xr}{r - 1 + x^r}$	$f_c = f'_{cc} \left(\frac{AX + (D-1)^2}{1 + (A-2)X + DX^2} \right)$
$\frac{f'_{cc}}{f'_{co}}$	$SK_{mander} = 2.254 \times \sqrt{1 + \frac{7.94 \times f'_l}{f'_{co}}} - \frac{2f'_l}{f'_{co}} - 1.254$	$\frac{SK_{mander}(400 - f_{ck}) + SK_{sakino}(f_{ck} - 300)}{100}$	$SK_{sakino} = 1 + 11.5 \rho_s \frac{f_{yh}}{f'_{co}} \left(\frac{d''}{s_l} \right) \left(1 - \frac{s}{2d_c} \right)$

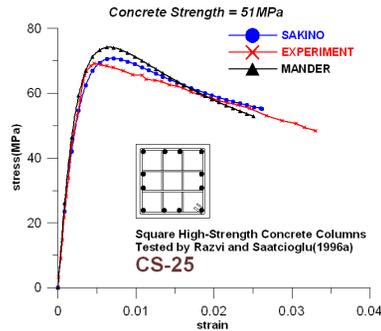


Fig. 3 Stress-Strain Curve of High Strength Confined Concrete

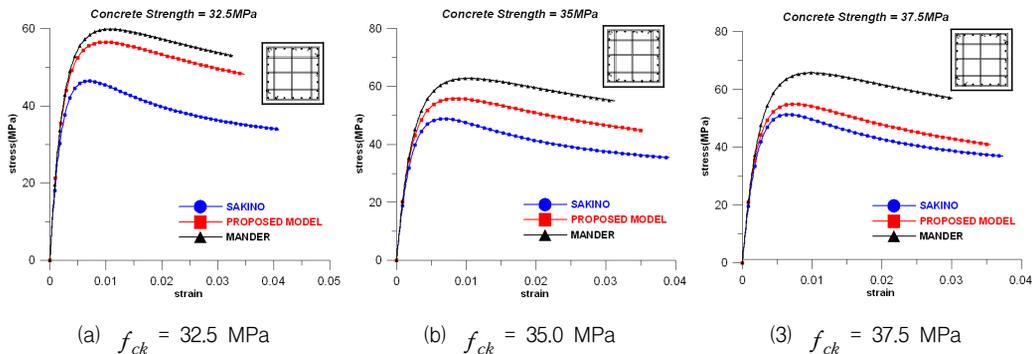


Fig. 4 Stress-Strain Curve of middle strength confined concrete

5. 결론

이 논문에서는 횡방향 구속된 콘크리트의 재료모델로 보통강도에서 사용되는 Mander 모델의 강도 상한계점을 30MPa로, 고강도 콘크리트에 사용되는 Sakino-Sun 모델의 사용시 하한계점을 40MPa로 각각 제안하였다. 또한 30-40MPa의 강도를 갖는 콘크리트가 횡방향으로 구속될때 비선형 응력-변형률 모델을 기존 Mander 모델과 Sakino-Sun 모델을 이용하여 새로이 제안하였다. 제안한 모델을 이용하여 30-40MPa의 강도를 갖는 콘크리트가 횡 방향으로 구속되었을 경우의 거동은 좀 더 정확히 묘사할 수 있을 것이라고 판단된다.

감사의 글

이 연구는 교량설계핵심기술연구단을 통한 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업(KBRC)의 2008년도 연구비 지원에 의하여 이루어졌음을 밝히며 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Mander, J. B., Priestley, M. J. N., and Park. R., "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete," Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 114, No. 8, 1988, pp. 1804-1826.
2. Sakino, K., and Sun, Y., "Stress-Strain Curve of Concrete Confined by Rectilinear Hoop," J. Struct. Constr. Eng., AIJ, No. 461, 95-104, 1994