대한건축학회 창립80주년기념대회 및 추계학술발표대회논문집
제45권 제2호(통권 제84집) 2025년 10월 29일 ~ 10월 31일

2025년 추계학술발표대회 : 일반부문

철근콘크리트 외부 보-기둥 접합부의 비선형 거동을 고려한 전단응력 및 변형률 예측

Prediction of Shear Stress-Strain considering the nonlinear behavior of Reinforced Concrete Exterior Beam-Column Joins

○황 지 민* 안 세 진* 황 원 준** 김 시 윤*** 김 승 직****
Hwang, Ji Min An, Se Jin Hwang, Won Jun Kim, Siyun Kim, Sung Jig

키워드 : 외부 보-기둥 접합부, 전단거동, 전단스프링, 유한요소해석, 전단응력-변형률
Keywords : Exterior Beam-Column Joint, Shear Behavior, Shear Spring, Finite Element Analysis, Shear stress-strain

철근콘크리트 모멘트 골조에서 보-기둥 접합부는 전체 구조물의 거동에 영향을 미치는 중요한 구조부재이므로, 구조물의 안전성을 위하여 이에 대한 비선형 거동을 정확하게 예측할 필요가 있다. 따라서, 본 연구에서는 OpenSees를 활용하여 내부 접합부에 비해 구속효과가 낮아 더욱 취약한 외부 보-기둥 접합부의 해석모델을 제안하였다. 또한, 30개의 연성 접합부, 27개의 비연성 접합부 실험데이터를 기반으로 단계적 회귀분석을 수행하여 전단응력-변형률 예측식을 제안하였다.

그림1.에 나타난 바와 같이 접합부 패널은 단일 전단스프링과 세 개의 강체 요소로 구성된다. *pinching4* 모델을 활용하여 전단스프링의 이력거동을 모사하였으며, 이는 *zeroLength element*로 구현하였다. 보와 기둥은 휨거동 모사를 위하여 *nonlinearBeamColumn element*를 활용하여 모델링하였다. 섬유단면에 대하여 *Concrete02, Steel02* 재료 모델을 사용하였으며, 콘크리트 구속계수는 Cusson and Paultre(1995)[1]에 따라 산정하였다.

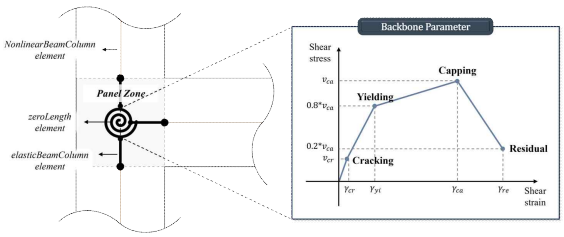

그림1. 외부 보-기둥 접합부 해석모델

신뢰도 높은 예측식 제안을 위하여 ASCE 41-23에 따라 연성 및 비연성 접합부로 구분하였다. 외부 보-기둥 접합부의 전단거동과 관련이 있다고 여겨지는 물리적 매개변수를 수집하여 단계적 회귀분석 시 독립변수로 활용하였으며, 보정 과정에서 도출된 전단응력 및 변형률을 종속변수로 활용하였다. 모든 매개변수는 로그로 변환하여 사용하였으며, 결정계수와 평균 제곱근 오차를 기준으로 신뢰도 높은 예측식이 도출될 때까지 단계적 회귀분석을 반복하여 수행하였다. 두 접합부 모두 항복점의 전단응력은 최대점의 0.8배, 잔류점의 전단응력은 최대점의 0.2배로 지정하여 별도의 단계적 회귀분석은 수행하지 않았다. 식(1)~(6)은 연성 접합부, 식(7)~식(12)은 비연성 접합부의 도출된 전단응력 및 변형률 예측식을 나타내었다.

$$v_{cr} = e^{-2.61}(f_{ck})^{0.53}(h_b/h_c)^{1.05} \quad (1)$$

$$v_{ca} = e^{2.72}(f_{ck})^{0.46}(h_b)^{-1.18}(b_j)^{0.76} \quad (2)$$

$$\gamma_{cr} = e^{-16.96}(f_{ck})^{0.54}(b_j)^{-4.29}(I_{gb})^{1.45}(\rho_b)^{-0.43} \quad (3)$$

$$\gamma_{yi} = e^{-16.87}(b_j)^{-1.56}(I_{gb})^{0.99} \quad (4)$$

$$\gamma_{ca} = e^{-18.24}(f_{ck})^{0.64}(b_j)^{-4.58}(I_{gc})^{1.41}(f_{ytj})^{0.85}(\rho_b)^{-0.95} \quad (5)$$

$$\gamma_{re} = e^{3.86}(f_{ck})^{0.15}(b_j)^{-4.36}(I_{gc})^{1.04}(f_{ylb})^{-0.41}(\rho_j)^{0.15} \quad (6)$$

$$v_{cr} = e^{-1.72}(f_{ck})^{0.29}(BI)^{-0.04}(h_b/h_c)^{0.78} \quad (7)$$

$$v_{ca} = e^{0.16}(f_{ck})^{0.60}(BI)^{0.46} \quad (8)$$

$$\gamma_{cr} = e^{-2.64}(b_j)^{0.64}(f_{ylc})^{-1.29}(v_{cr})^{0.68} \quad (9)$$

$$\gamma_{yi} = e^{19.35}(f_{ck})^{1.01}(b_j)^{3.07}(L_b)^{-5.85}(I_{gc})^{0.71}(f_{ylc})^{-3.58}(\rho_c)^{-1.08} \quad (10)$$

$$\gamma_{ca} = e^{14.91}(f_{ck})^{0.83}(I_{gb})^{-0.88}(I_{gc})^{0.68}(f_{ylc})^{-2.33}(P)^{-0.21} \quad (11)$$

$$\gamma_{re} = e^{21.67}(I_{gb})^{-0.45}(f_{ylb})^{-2.14}(\rho_c)^{0.37} \quad (12)$$

예측식을 통해 도출된 값을 보정값과 비교한 결과, 모든 예측식의 결정계수는 0.80 이상으로 높은 정확도를 나타내었다. 이를 적용하여 해석한 결과를 실험데이터와 비교한 결과, 중앙값을 기준으로 두 접합부 모두 최대모멘트는 85~90%, 초기강성은 95% 수준으로 과소평가하였다.

* 계명대 대학원 석사과정
** 계명대 대학원 박사과정
*** 계명대 건축공학과 박사후연구원
**** 계명대 건축공학과 교수, 공학박사
(Corresponding author : Department of Architectural Engineering, Keimyung University, sjkim4@kmu.ac.kr)

이 연구는 2025년도 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원으로 수행된 과제임. 과제번호:RS-2021-NR061963

참고문헌

[1] Cusson, D., & Paultre, P. (1995). Stress-strain model for confined high-strength concrete. Journal of Structural Engineering, 121(3), 468-477.