

2025년 추계학술발표대회 : 일반부문

전단철근이 배치되지 않은 프리스트레스트 콘크리트 부재의 차세대 유로코드 전단설계에 대한 부분 안전계수 고찰

A Study on Partial Safety Factors for Next-generation Eurocode Shear Design of Prestressed Concrete Members without Shear Reinforcement

○박 민 국*

Park, Min-kook

정 호 성**

Jeong, Hoseong

아 미 나****

Erdenebaatar, Amina

김 강 수*****

Kim, Kang Su

키워드 : 안전계수, 신뢰성 분석, 유로코드, 프리스트레스트 콘크리트, 전단설계

Keywords : Safety factor, Reliability analysis, Eurocode2, Prestressed concrete, Shear design

현행의 Eurocode2(이하 EC2)에서는 전단철근이 배치되지 않은 프리스트레스트 콘크리트 부재의 전단강도 산정식을 다음과 같이 제시하고 있다.

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c}k(100\rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1\sigma_{cp}]b_w d \quad (1)$$

여기서, f_{ck} 는 콘크리트의 압축강도, ρ_l 은 길이방향 철근비, σ_{cp} 는 부재 단면에 작용하는 축력에 의한 콘크리트 응력이며, k 는 크기 효과가 고려된 계수이다. 또한, $C_{Rd,c}$ 와 k_1 은 각각 상수로 정의되지만, 실제로는 전단설계식에 내재된 불확실성을 간접적으로 보정하는 역할을 한다. 즉, 현행 설계에서는 재료에 대한 부분 안전계수(γ_c)를 1.5로 적용하고 있으나, 전단강도를 산정할 때 콘크리트 압축강도의 영향이 지배적임에도 불구하고 설계식에서는 f_{ck} 가 1/3 지수로서 상대적으로 작게 반영된다. 따라서, 전단 설계식의 정확도를 확보하기 위하여 조정된 $C_{Rd,c}$ 와 k_1 을 사용하여 불확실성을 보완하는 방식이 적용되고 있다. 다만, 이러한 방식은 사고하중(accidental load) 상황을 고려할 경우 상대적으로 낮은 안전계수를 적용하게 되어 설계의 합리성을 저해하며, 기존 구조물의 내력 평가 시에도 한계가 존재한다. 따라서, 이를 개선하기 위하여 차세대 EC2에서는 전단에 대해서 독립적인 부분 안전계수(γ_v)를 새롭게 도입하여 전단철근이 배치되지 않은 콘크리트 부재의 전단강도 산정식을 다음과 같이 제시하였다.

$$V_{Rd,c} = \frac{0.66}{\gamma_v} \left(100\rho_l f_{ck} \frac{d_{dg}}{d} \right)^{1/3} b_w z \quad (2)$$

* 서울시립대 건축학부, 연구교수

** 서울시립대 건축학부, 박사후연구원

*** 서울시립대 건축공학과 스마트시티융합전공, 박사과정

**** 서울시립대 스마트시티학과 스마트시티융합전공, 석사과정

***** 서울시립대 건축공학과 스마트시티융합전공, 교수

(Corresponding author : Department of Architectural Engineering and the Smart City Interdisciplinary Major Program, University of Seoul, kangkim@uos.ac.kr)

이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2022-NR072460).

$$a_v = \sqrt{\frac{a_{cs}}{4}}d, a_{cs} = \left| \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \right| \geq d, k_{vp} = 1 + \frac{N_E}{|V_E|} \frac{d}{3a_{cs}} \geq 0.1(3)$$

여기서, d_{dg} 는 골재 맞물림을 고려한 계수이며, M_{Ed} 와 V_{Ed} , N_{Ed} 는 각각 설계 휨모멘트와 설계 전단력, 축력을 나타낸다. a_v 와 a_{cs} 는 전단경간을 고려하는 변수값이며, z 는 전단응력을 계산하기 위한 팔길이(lever arm)로 일반적으로 $0.9d$ 를 적용한다. 프리스트레스트 콘크리트 부재의 경우에는 식 (2)의 d 를 대신하여 식 (3)의 $k_{vp}a_v$ 값을 적용하도록 하고 있다. 또한, 새롭게 도입된 전단에 대한 안전계수(γ_v)는 1.4를 사용하는데, 여기에는 재료 강도의 불확실성(기존 γ_c), 단면 치수 오차에 따른 기하학적 불확실성, 그리고 제안식 자체의 모델 불확실성이 종합적으로 반영되어 있다.

한편, 차세대 EC2의 Annex A에서는 위에서 언급한 불확실성 요소들을 고려하여 다양한 목표 신뢰도 수준에 대응하는 안전계수를 산출할 수 있도록 통계적 데이터가 제시되어 있다. 이 연구에서는 프리스트레스트 콘크리트 부재에 대한 데이터베이스를 활용하여 현행 및 차세대 EC2 전단설계식의 전단 강도감소계수를 평가하였다. 설계값은 목표 신뢰도 지수(reliability index, β) 3.8(50년 기준 파괴 확률 10^{-4})에 도달하도록 설정하였으며, 산출된 현행 및 차세대 전단설계식의 전단 강도감소계수는 표1에 나타난 바와 같이 각각 1.75, 1.32로 확인되었다.

이는 현행 EC2 설계식이 다소 보수적인 경향을 보이는 반면, 차세대 EC2 설계식은 실험결과와 보다 일관된 수준의 신뢰성을 확보하고 있음을 의미한다. 따라서, 차세대 EC2에서 도입된 전단 강도감소계수 γ_v 는 목표 신뢰도 지수를 충족하며, 안전 여유율을 감소시킴으로써 설계의 합리성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

표1. 신뢰성 분석을 통한 전단 강도감소계수 산출 결과

	실험체수	AVG.	STD	CoV	γ_v
현행 EC2	176	1.448	0.432	0.298	1.75
차세대 EC2	176	1.503	0.323	0.215	1.32