

도로교설계기준(한계상태설계법)을 위한 철근콘크리트부재의 재료계수 결정

Determination of Material Factors for Reinforced Concrete Members in Korean Highway Bridge Design Code (Limit State Design)

이해성* · 송상원** · 김지현***

Lee, Hae Sung · Song, Sang Won · Kim, Ji Hyeon

이 연구에서는 도로교설계기준(한계상태설계법)에서 제시하고 있는 철근콘크리트부재의 극한한계상태설계를 위한 재료계수의 타당성을 분석하였다. 재료계수를 결정하는 기존 연구의 문제점을 분석하고, 그 문제점을 해결하기 위하여 최적화를 기반으로 한 재료계수의 결정법을 개발하였다. 개발된 최적화 기법을 이용하여 도로교설계기준(한계상태설계법)의 합리적인 재료계수를 제안 하였으며, 제안한 재료계수에 의해 확보되는 신뢰도수준이 목표신뢰도를 균일하게 만족하는 것을 확인하였다.

핵심용어 : 재료계수, 목표신뢰도지수, 철근콘크리트, 도로교설계기준, 최적화

1. 서 론

도로교설계기준(한계상태설계법)(국토교통부, 2016)에서는 철근콘크리트(RC)부재의 극한한계상태설계를 위해 콘크리트에 대해 0.65, 철근 및 프리스트레싱 강재에 대해 0.90의 재료계수를 제시한다. 이 재료계수는 김재홍 및 이재훈의 연구(2000)에 의하여 결정되었으며, 2015년에 도로교설계기준(한계상태설계법)에 채택되었다. 이 연구에서는 김재홍 및 이재훈(2000)의 연구의 문제점을 분석하고, 이 문제점을 해결하기 위하여 최적화를 기반으로 한 재료계수의 결정법을 개발하였다. 개발한 최적화 기반 재료계수 결정법을 이용하여 도로교설계기준(한계상태설계법)의 재료계수를 제안하고, 신뢰도분석을 통해 제안한 재료계수의 타당성을 검증하였다.

2. 기존 연구의 문제점

도로교설계기준(한계상태설계법)의 재료계수를 결정하기 위하여 기존 연구(김재홍 및 이재훈, 2000)에서는 재료계수에 상응하는 등가저항계수와 목표저항계수의 차이를 최소화하는 최적화 기법을 개발하였다. 이 때 등가저항계수는 재료계수로 산정한 설계강도를 공칭강도로 나눈 것으로 정의하였으며, 목표저항계수는 콘크리트구조설계기준(한국콘크리트학회, 1999)에서 제시하고 있는 저항계수로 설정을 하였다. 개발한 최적화 기법을 이용하여 철근비와 재료강도를 변수로 설정한 단면들에서 휨과 압축에 대해 개별적으로 재료계수들을 계산하였고, 계산된 재료계수들의 평균값을 설계기준의 재료계수로 제안하였다. 하지만 기존 연구(김재홍 및 이재훈, 2000)는 다음과 같은 여러 문제점이 있다. 첫째, 기존연구에서 정의하고 있는 목적함수들은 부정방정식으로, 해의 유일성이 보장되지 않는 문제점이 있다. 둘째, 콘크리트 응력 산정 시 도로교설계기준(한계상태설계법)에 명시되어 있는 포물선-직선 응력-변형도 관계를 사용하지 않고 등가직사각형 응력분포를 이용하였다. 셋째, 도로교설계기준(한국도로교통협회, 2005)과 도로교설계기준(한계상태설계법)의 하중계수의 차이를 고려하지 않고 저항계수의 등가성만을 고려하여 재료계수를 산정하였다. 그 뿐만 아니라 재료의 불확실성을 고려하여 재료계수를 산정하지 않았기 때문에 신뢰도기반 설계기준의 하중-저항계수 결정을 위한 기본 개념에 위배된다는 문제점이 있다. 따라서 이 연구에서는 위와 같은 문제점을 해결하기 위하여 새로운 최적화 기법을 제안한다.

* 정희원 · 서울대학교 건설환경공학부 교수, 공학박사 (E-mail: chslee@snu.ac.kr) - 발표자

** 서울대학교 건설환경공학부 석사과정, 공학사 (E-mail: swsong13@snu.ac.kr)

*** 정희원 · 서울대학교 교량설계핵심기술연구단 선임연구원, 공학박사 (E-mail: jhkim07@snu.ac.kr)

최적화방법	목표저항계수		재료계수	
	$\phi_{T,RC}^f$	$\phi_{T,RC}^c$	θ_c	θ_s
기존(휨)	0.850	-	0.646	0.896
기존(압축)	-	0.700	0.643	0.890
제안	0.967	0.750	0.710	1.013

표 1. 최적화 방법별 재료계수 계산결과

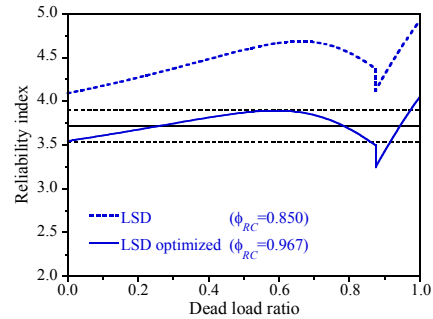


그림 1. 저항계수별 신뢰도분석 결과

3. 최적화 기반 재료계수 결정법 제안

이 연구에서는 재료계수를 결정하기 위하여 다음과 같은 최적화 문제를 정의한다.

$$\text{Min } \Pi = \frac{\Theta}{2} \int_{t_f^u}^{t_f^l} (\phi_{T,RC}^f - \phi_{RC}^f(\theta_s, \theta_c))^2 dt_f + \frac{1-\Theta}{2} \int_{t_c^u}^{t_c^l} (\phi_{T,RC}^c - \phi_{RC}^c(\theta_s, \theta_c))^2 dt_c \quad (1)$$

여기서, Θ , $\phi_{T,RC}^f$, $\phi_{T,RC}^c$, ϕ_{RC}^f , ϕ_{RC}^c , θ_s , θ_c 는 각각 가중치, 목표휨저항계수, 목표압축저항계수, 등가휨저항계수, 등가압축저항계수, 철근재료계수, 콘크리트재료계수이다. 적분변수 t_f 및 t_c 는 휨 및 압축부재의 철근비에 철근의 항복강도를 곱하고 콘크리트의 압축강도를 나눈 것으로 정의한다. 목적함수의 적분의 상하한은 $t_f^u = 0.35$, $t_f^l = 0.02$, $t_c^u = 0.35$, $t_c^l = 0.02$ 로 결정한다. 식 (1)로부터 목표휨저항계수 및 목표압축저항계수를 동시에 만족하게 하는 재료계수를 계산할 수 있다. 도로교설계기준(한계상태설계법)에서 제시하고 있는 하중계수와 함께 목표신뢰도를 확보하는 RC부재의 휨저항계수는 0.967이며, 이 값을 목표휨저항계수로 설정한다. 목표압축저항계수는 0.75로 설정한다. 식 (1)의 최적화 문제를 통하여 계산된 재료계수는 콘크리트와 철근에 대해 각각 0.710와 1.013으로 나타난다. 표 1에는 기존 연구 및 이 연구에서 사용된 목표저항계수와 계산된 재료계수를 정리하였으며, 그림 1에는 설계기준의 하중계수와 휨에 대한 목표저항계수에 의해 확보되는 신뢰도지수를 도시하였다.

4. 결론

이 연구에서는 재료계수 결정을 위한 기존 연구(김재홍 및 이재훈, 2000)의 문제점들을 확인하고, 그 문제점을 해결하기 위하여 새로운 결정방법을 제안하였다. 도로교설계기준(한계상태설계법)에 적합한 목표저항계수를 설정하고 그에 상응하는 합리적인 재료계수를 계산하였다. 설정된 목표저항계수 및 설계기준의 하중계수에 의해 확보되는 신뢰도수준이 목표신뢰도를 균일하게 만족하는 것을 확인하였다.

감사의 글

이 연구는 국토교통부 건설기술 연구사업 중 케이블교량 글로벌 연구단 2세부과제(18SCIP-B119963-03)를 통하여 경제적 지원을 받아 연구가 이루어진 것입니다. 연구지원에 감사 드립니다.

참고문헌

1. 국토교통부 (2016). 도로교설계기준(한계상태설계법), 국토교통부, 서울, 대한민국.
2. 김재홍, 이재훈 (2000). "철근콘크리트 휨부재 및 압축부재의 재료저항계수 적용에 관한 연구" 한국콘크리트학회논문집, 제12권2호, pp. 21-30.
3. 한국도로교통협회 (2005). 도로교설계기준, 한국도로교통협회, 서울, 대한민국.
4. 한국콘크리트학회 (1999). 콘크리트구조설계기준, 대한건축학회, 서울, 대한민국.