

# 국내 도로교설계기준을 위한 통합 하중-저항계수

## Unified Load-Resistance Factors for Korean Highway Bridge Design Codes

이해성\* · 김지현\*\* · 이호현\*\*\* · 송상원\*\*\*\*

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

국내 도로교의 한계상태설계법기반 설계기준은 대상교량의 형식에 따라 도로교설계기준(한계상태설계법)과 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편으로 구분되어 있다. 이 설계기준들은 별도의 캘리브레이션 과정을 통해 작성되어 하중-저항계수의 설정 근거 및 철학이 상이하다. 이 연구에서는 두 설계기준의 하중-저항계수를 통합하여 하나의 하중-저항계수체계로 나타내기 위한 통합 코드캘리브레이션을 수행하고 그 결과를 수록하였다.

**핵심용어** : 통합 코드캘리브레이션, 한계상태설계법, 하중-저항계수, 도로교설계기준, 신뢰도기반 설계기준

### 1. 서론

현재 국내의 도로교설계기준은 일반교량과 케이블교량 각각을 대상으로 하는 두 개의 기준으로 분리되어 있으며 이를 통합한 캘리브레이션을 수행하기 위한 연구가 진행 중이다. 이 논문에서는 국내 도로교설계기준의 통합캘리브레이션을 위한 연구 결과를 기술한다.

### 2. 종력방향하중지배 한계상태에 대한 하중-저항계수 설정

통합 하중-저항계수 산정을 위해 우선 하중효과와 공칭강도를 표준화 한 뒤 고정하중비( $\xi$ )와 DC하중비( $\eta$ )로 매개화 하여 교량형식과 독립적으로 표시하였으며 이를 토대로 하중-저항계수가 확보하는 공칭강도와 목표신뢰도지수를 정확하게 만족시키는 강도인 목표강도 간의 오차를 최소화하는 최적화기법을 도입하였다.

$$\text{Min} \Pi = \frac{1}{2} \int_{\xi}^{\xi_u} \int_{\eta}^{\eta_u} (\bar{S}_0(\phi, \gamma, \xi, \eta) - \bar{S}_T)^T (\bar{S}_0(\phi, \gamma, \xi, \eta) - \bar{S}_T) d\eta d\xi \quad (1)$$

여기서  $\bar{S}_0$ 는 하중-저항계수가 확보하는 표준화된 공칭강도를 의미하며  $\bar{S}_T$ 는 표준화된 목표강도로 역신뢰도 해석을 통해 계산한다. 최적화를 통해 제안된 하중-저항계수는 다음과 같다.

표 1. 일반부재의 제안 저항계수

하중효과 휨 및 전단	$\phi_{RC}$	$\phi_{ST}$	$\phi_{PC}$
	0.90	0.95	0.90

표 2. 일반부재의 제안 하중계수

고정하중비	$\gamma_{DC}$		$\gamma_{DW}$	$\gamma_{LL}$
	공장제작	현장제작		
$0.00 \leq \xi \leq 0.55$	1.05		1.05	1.80
$0.55 \leq \xi \leq 1.00$	1.25	1.30	1.40	1.45

케이블의 경우 비선형 거동을 보이므로 식(1)과 같은 최적화를 적용하기 위해 케이블 장력을 선형화 하였다. 선형화된 장력을 바탕으로 표2의  $0.55 \leq \xi \leq 1.00$ 구간의 하중계수를 적용한 상태로 최적화를 수행하여 케이블 부재의 저항계수 및 케이블 자중의 하중계수를 다음과 같이 제안하였다.

표 3. 현수교 주케이블의 제안 하중-저항계수

$\beta_T$	저항계수	하중계수			
	$\phi_{CB}$	$\gamma_{CB}$	$\gamma_{GD}$	$\gamma_{DW}$	$\gamma_{LL}$
6.96	0.52	1.08	1.25	1.40	1.45

표 4. 사장교 케이블의 제안 하중-저항계수

$\beta_T$	저항계수	하중계수		
	$\phi_{CB}$	$\gamma_{DC}$	$\gamma_{DW}$	$\gamma_{LL}$
5.77	0.60	1.25	1.40	1.45

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

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

\*\*\* 정희원 · 서울대학교 건설환경공학부 박사과정, 공학석사 (E-mail:hhlee07@snu.ac.kr)

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

### 3. 철근콘크리트부재의 재료계수 설정

도로교설계기준(한계상태설계법)에서는 콘크리트부재 설계 시 재료계수를 적용하도록 규정하고 있다. 이 연구에서는 최적화 기법을 바탕으로 재료계수가 나타내는 등가저항계수와 목표저항계수 사이의 오차를 최소화 하는 재료계수를 산출하였다. 목표저항계수는 전술한 하중-저항계수 최적화 결과를 바탕으로 설정하였고, 최적화의 목적함수에 휨과 압축을 동시에 고려하였다.

$$\text{Min}II = \int_{\rho_{fl}^{-l}}^{\rho_{fl}^u} (\phi_{fl} - \psi_{fl}(\theta_s, \theta_c, \tilde{\rho}_{fl})) d\tilde{\rho}_{fl} + \int_{\rho_{cp}^{-l}}^{\rho_{cp}^u} (\phi_{cp} - \psi_{cp}(\theta_s, \theta_c, \tilde{\rho}_{cp})) d\tilde{\rho}_{cp} \quad (2)$$

여기서  $\phi_{fl}$ 과  $\phi_{cp}$ 는 각각 휨과 압축의 목표저항계수이며  $\psi_{fl}$ 과  $\psi_{cp}$ 는 각각 휨과 압축의 등가저항계수이다.  $\tilde{\rho}_{fl}$ 과  $\tilde{\rho}_{cp}$ 는 각각 휨과 압축의 강도철근비로, 철근비와 철근항복강도를 곱한 것에 콘크리트 압축강도를 나눈 것으로 정의된다. 최적화를 통해 제안된 재료계수는 다음과 같다.

표 5. 철근콘크리트부재의 재료계수 산정결과

목표 저항계수		재료계수	
휨	압축	철근	콘크리트
0.90	0.75	0.93	0.72

### 4. 풍하중지배 한계상태의 목표신뢰도 설정

도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편에서 풍하중지배 하중조합의 목표신뢰도지수는 3.1로 설정되어 있으나 이 연구에서는 설계수명과 재현주기 간의 비(RRD)에 근거하여 3.1이 과도하게 크다고 판단하였다. 붕괴방지수준의 지진하중과 동일한 RRD값인 24를 기준으로 보면 풍하중지배 하중조합의 목표신뢰도지수는 2.25가 적절하다고 판단되며, 현 기준에서 명시하는 기본풍속과 함께 목표신뢰도를 만족하게 하는 평균 풍하중계수는 1.7로 현행기준과 유사한 수준이다. 동일한 개념을 적용하여 도로교설계기준(한계상태설계법)의 RRD값인 10에 상응하는 신뢰도를 확보하기 위하여, 설계기준에서 명시하고 있는 하중계수 1.4와 함께 목표신뢰도를 확보하는 기본풍속을 계산하여 표 6에 나타내었다.

표 6. RRD=10에 해당하는 지역별 기본풍속 (m/s)

지역 구분	지명	풍속 통계특성		현행 기본풍속	제안 기본풍속	지역 구분	지명	풍속 통계특성		현행 기본풍속	제안 기본풍속
		평균	표준편차					평균	표준편차		
I	서울	28.4	3.13	30.0	27.2	II	인천	31.4	3.50	35.0	30.2
	울산	31.3	4.03	40.0	30.5		IV	목포	34.4	3.62	45.0
III	부산	34.7	3.45	40.0	32.8	V		울릉도	41.0	5.27	50.0

### 5. 결론

국내 도로교설계기준(한계상태설계법)의 통합 코드캘리브레이션을 위해 중력방향하중지배 한계상태에 대해 공칭강도의 최적화기반 코드캘리브레이션을 수행하였으며 철근콘크리트부재의 재료계수 설정 및 풍하중지배 한계상태에 대한 목표신뢰도지수 설정에 대한 연구를 수행하여 설계기준 규정값을 제안하였다.

### 감사의 글

이 연구는 국토교통부 건설기술 연구사업 중 케이블교량 글로벌 연구단 2세부과제(18SCIP-B119963-03)를 통한 연구비 지원으로 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 국토교통부, 2016, 도로교설계기준(한계상태설계법), 국토교통부
2. 국토교통부, 2016, 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편, 국토교통부