

목표신뢰도를 만족하는 철근콘크리트 주탑의 단면 결정

Determination of RC Pylon Sections for Target Reliability

최윤승* · 김지현** · 이해성***

Choi, Yunseung · Kim, Ji Hyeon · Lee, Hae Sung

현재 국내의 교량 설계기준인 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편은 구조부재가 각 한계상태의 목표신뢰도를 확보하도록 설계법을 제시하고 있다. 케이블 교량에서 중요한 역할을 하는 주탑 부재의 설계에서는 주로 풍하중 조합이 지배적인 역할을 하므로 이에 해당하는 목표신뢰도를 만족하도록 단면을 설계해야 한다. 설계 상의 기준이 되는 단면으로 외부하중에 대한 신뢰도가 목표신뢰도와 일치하는 단면을 산정할 수 있다. 본 연구에서는 철근콘크리트 주탑 단면에 대한 신뢰도 평가 연구를 바탕으로 목표신뢰도를 만족하는 단면 결정 방법을 제시한다. 외부 하중에 의한 주탑 단면의 신뢰도수준이 목표신뢰도수준이 되도록 목적함수를 정의하고 철근비 조건 또는 정규화함수 조건을 추가하여 단면을 결정할 수 있음을 보인다.

핵심용어 : 주탑 단면 결정, PM상관도, 신뢰도 해석, 목표신뢰도지수

1. 서 론

현재 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(2015)은 신뢰도 기반의 하중저항계수 설계법이다. 신뢰도 기반 설계에서는 주요 부재가 설계를 지배하는 한계상태에 대해서 설계기준이 제시하고 있는 목표신뢰도수준을 확보하여야 한다. 특히 케이블 교량에서 주탑은 케이블로부터 전달받는 외부하중에 의한 하중효과를 기초구조물에 전달하며 전체 구조계의 안정성에 중요한 역할을 하므로 목표신뢰도수준 이상의 신뢰도수준을 반드시 만족하도록 설계해야 한다. 따라서 설계의 기준이 되는 목표신뢰도수준을 정확히 만족하는 주탑 단면을 결정할 수 있어야 한다.

2. 철근콘크리트 주탑 단면의 신뢰도 평가

철근콘크리트 주탑 단면의 신뢰도 평가를 하기 위해서는 한계상태식과 확률변수를 정의해야 한다. 휨과 모멘트를 받는 철근콘크리트 단면의 강도는 PM상관도로 나타낼 수 있고 외부 하중에 의한 하중 효과를 PM상관도 상에 나타내어 단면의 파괴 여부를 결정할 수 있다. 따라서 PM상관도를 한계상태식으로 정의하고 각 표본점 사이를 cubic spline으로 근사하여 연속함수로 정의한다(Kim et al., 2015). 이 때 하중변수와 강도변수를 확률변수로 하며, 강도변수에는 콘크리트 강도 f_{ck} , 철근의 항복강도 f_y , 철근의 탄성계수 E_s 의 재료 변수와 콘크리트 단면적 A_g , 철근의 단면적 A_s , 철근의 위치 y_s 의 단면형상계수가 포함된다.

신뢰도 평가는 Ractwitz-Fiessler변환과 gradient projection방법을 적용한 Hasofer-Lind Rackwitz-Fiessler (HL-RF) 알고리즘(Liu and Der Kiureghian, 1991)의 방법을 이용하여 수행하였다.

3. 목표신뢰도 만족 단면의 결정

* 학생회원 · 서울대학교 건설환경공학부, 공학석사 (E-mail:yschoi10@snu.ac.kr)

** 정회원 · 서울대학교 건설환경공학부 박사과정, 공학석사 (E-mail:jhkim07@snu.ac.kr) - 발표자

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

목표신뢰도지수를 만족하는 단면을 결정하기 위한 조건식은 식 (1)과 같이 표현되며 \hat{s} 는 단면형상계수 ($\hat{s} = (A_g, A_{st})^T$) 를 나타낸다.

$$\beta(\hat{s}) = \beta_T \quad (1)$$

$$\text{Min}_{A_g, A_{st}} \Pi = [\beta(A_g, A_{st}) - \beta_T]^2 + \lambda[(1 - \alpha)(\frac{A_{st}}{A_{st}^0} - r_s)^2 + \alpha(\frac{A_g}{A_g^0} - r_g)^2] \quad (2)$$

식(1)에 철근비 조건 또는 정규화함수 조건을 추가하여 목표신뢰도지수를 만족하는 단면을 결정할 수 있다. 한계상태식 및 신뢰도지수가 비선형이므로 Newton-Raphson방법을 이용하여 해를 구할 수 있으며, 이때 신뢰도지수에 대한 단면형상변수의 민감도는 유한차분법을 이용하여 계산하였다. 추가의 철근비 조건을 적용하면 철근단면적을 콘크리트 단면적과 철근비에 대해 나타낼 수 있고 정규화함수를 도입하면 최적화식(2)의 해를 계산하여 단면을 결정할 수 있다.

4. 예제 적용

인천대교 주탑의 설계 단면에 대해 풍하중 지배 조합에 대한 목표신뢰도지수인 3.1을 만족하는 단면을 결정한다. 주탑 재료의 물성은 $f_{ck} = 45\text{MPa}$, $f_y = 400\text{MPa}$, $E_s = 200\text{GPa}$ 가 사용되었으며, 100년 설계수명에 해당하는 풍하중을 적용하였다. 그 결과 그림 1과 같이 철근비에 따라 원 단면의 콘크리트와 철근의 단면적에 s_{A_g}, s_{A_t} 의 scale을 적용하여 단면을 결정할 수 있다. 설계자는 원하는 철근비에 해당하는 단면을 선택하여 설계기준으로 삼을 수 있으며 철근비 4%일 때는 신뢰도 3.1을 만족하는 단면은 그림 2와 같이 결정된다.

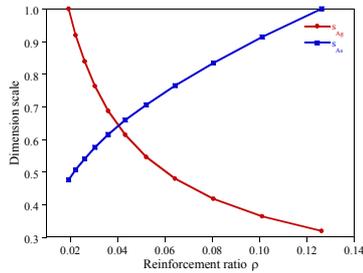


그림 1. 철근비에 따른 dimension scale

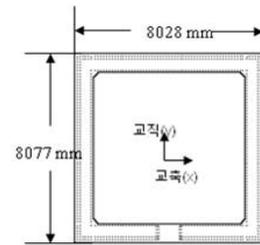


그림 2. 철근비 4%일 때 목표신뢰도 만족단면

5. 결론

본 연구에서는 도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편(2015)에서 제안하고 있는 목표신뢰도 수준에 맞는 철근콘크리트 주탑 단면을 결정하는 방법에 대해 제시하였다. 이를 위해 주탑 단면에 대한 신뢰도 평가를 수행하고 철근비 또는 정규화함수 조건을 추가하여 반복계산을 통해 목표신뢰도지수를 만족하는 단면을 결정하였다.

참고문헌

1. Kim, J.H., Lee, S.H, Paik, I. & Lee, H.S. (2015). " Reliability assessment of reinforced concrete columns based on the P-M interaction diagram using AFOSM." *Structural Safety*, Vol.55, pp.70-79.
2. Liu PL, Der Kiureghian A.(1991) "Optimization algorithms for structural reliability", *Structural Safety*, Vol. 9, pp. 161-177.
3. Rackwitz, R., Fiessler B.(1978) "Structural reliability under combined random load sequences." *Computers & Structures*, Vol. 9, pp.489-494.