

계측 풍속 데이터 기반 풍하중계수 결정

Determination of Wind Load Factor Based on Measured Wind Velocity

김지현* · 이해성**

Kim, Ji Hyeon · Lee, Hae Sung

이 연구에서는 계측 풍속 데이터를 기반으로 풍하중계수를 결정하는 일반적인 방법을 기술하였다. 국내 케이블지지 교량의 주탑에서 풍하중지배 조합에 대한 신뢰도평가 수행하고, 그 결과를 이용하여 풍하중계수 산정식을 해석적으로 유도하였다. 제안된 하중계수에 의하여 결정되는 주탑 단면이 목표신뢰도를 만족하는 것을 확인하였으며, 제안된 풍하중계수를 기존의 설계 기준에 도입하기 위한 보정기법을 제시하였다.

핵심용어 : 풍하중계수, 파괴확률, 목표신뢰도지수, 철근콘크리트기둥, Calibration

1. 서론

신뢰도기반 설계기준의 하중저항계수는 설계기준에서 제시하는 목표신뢰도지수를 만족하도록 결정되어야 한다. 그러나 중력방향하중 지배조합과는 달리 국내외적으로 풍하중지배조합의 목표신뢰도 및 하중-저항계수를 결정하는 명확한 방법이 제시되어 있지 않다. 이 연구에서는 계측 풍속 데이터를 기반으로 주어진 목표신뢰도수준을 만족하는 풍하중지배조합의 하중계수를 결정하는 일반적인 방법을 제시한다. 제안된 하중계수의 타당성은 국내의 케이블지지 교량의 주탑에 대한 신뢰도평가를 통하여 확인한다.

2. RC주탑의 신뢰도평가 및 확률변수의 통계특성

케이블 지지교량의 철근콘크리트(RC)주탑에 대한 신뢰도평가는 Kim et al. (2015)의 AFOSM을 이용한 RC기둥의 신뢰도평가방법을 이용하여 수행하였다. 풍하중지배 조합에서 인천대교(IB), 부산항대교(BHB), 울산대교(UB), 이순신대교(YSB) 및 새천년대교(NMB) 주탑의 설계 단면에 대한 신뢰도해석을 수행하였다. 신뢰도 해석을 위한 한계상태식은 RC주탑의 PM상관도이며, 하중변수와 강도변수를 신뢰도해석에서 확률변수로 고려하였다. 고정하중 및 강도변수의 통계특성은 국내 실정을 반영하기 위하여 이해성 등 (2016)에 제시된 값을 사용하였다. 기상대에서 관측된 풍속을 교량부지의 풍속으로 변환하고, 몬테-카를로 모사에 의하여 풍하중의 통계특성을 산정하였다. Kolmogorov-Smirnov goodness-of-fit test (Ang and Tang, 2007)을 이용하여 풍속과 풍압의 분포가 검분포를 따르는 것을 확인하였다.

3. 풍하중계수 결정

신뢰도해석 결과 풍하중을 제외한 다른 확률변수는 평균값에 매우 근접한 파괴점을 가지며, 풍하중이 파괴를 지배하는 현상을 관찰할 수 있었다. 파괴시 풍하중을 제외한 모든 확률 변수를 평균값으로 가정하면, 신뢰도 지수의 기하학적 정의에 따라 신뢰도지수에 상응하는 파괴확률과 파괴시 풍하중변수의 초과확률이 같은 값을 가지게 되며 이로부터 주어진 목표신뢰도지수에 상응하는 풍하중의 파괴점을 계산할 수 있다. 하중 및 저항계수는 공칭값에 대한 파괴점의 비로 정의되므로, 풍하중을 제외한 다른 확률변수의 파괴점은 각 변수의 편심계수가 되며 풍하중계수는 다음과 같이 표시된다.

$$\tilde{\gamma}_{WS} = \lambda_{WS} (1 - \delta_{WS} \frac{\sqrt{6}}{\pi} (\ln(-\ln\Phi(\beta_T)) + \gamma)) \quad (1)$$

여기서, $\tilde{\gamma}_{WS}$, λ_{WS} , δ_{WS} , Φ , β_T 및 γ 는 각각 풍하중계수, 풍하중의 편심계수, 풍하중의 변동계수, 표준정규분포의 누적분포함수, 목표신뢰도지수 및 Euler 상수이다. $\lambda_{WS} = 1$ 일 때 풍하중계수를 기본풍하중계수라 정의하며, $\delta_{WS} = 0.27, 0.30, 0.33$ 일 때 목표신뢰도지수에 따른 기본풍하중계수는 그림 1과 같다. AASHTO 설계기준

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

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

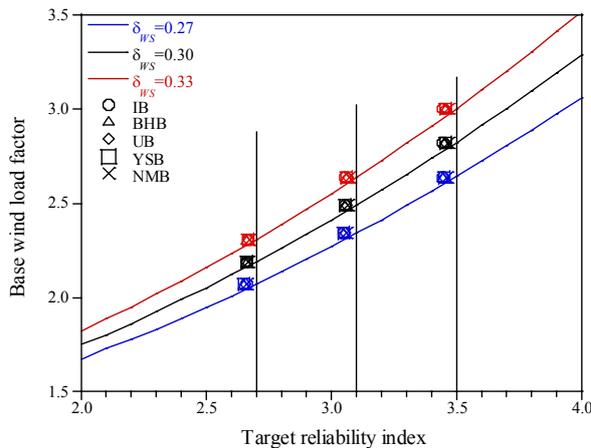


그림 1. 기본 풍하중계수 ($\lambda_{WS} = 1$)

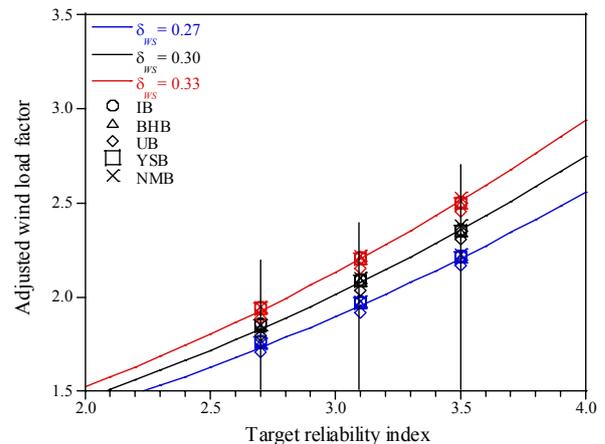


그림 2. 조정된 풍하중계수 (for AASHTO)

(AASHTO, 2014)의 풍하중지배조합에 대한 고정하중계수 및 저항계수를 적용하기 위한 보정계수는 0.835로 계산되었으며, 이 보정계수를 적용하여 기본풍하중계수를 조정하면 그림 2와 같다. Nowak(1999)이 AASHTO 설계기준의 풍하중계수 설정을 위해 사용한 통계특성($\lambda_{WS} = 0.875, \delta_{WS} = 0.20$)을 적용하고 목표신뢰도를 3.0으로 설정하면 (Ghosn et al., 2003) 풍하중계수가 1.42 정도로 계산되어 AASHTO 설계기준의 풍하중계수인 1.40과 거의 일치한다.

4. 결론

국내 다섯 교량의 주탑에 대해 제안된 하중계수에 상응하는 단면에 대한 신뢰도평가를 수행한 결과, 그림 1과 같이 오차 범위 2% 이내에서 목표신뢰도지수를 만족시키는 것을 확인하여, 제안된 풍하중계수 산정식의 타당성을 검증하였다. 제안된 하중계수 산정식은 파괴점에서의 확률변수의 통계적 특성만을 이용하여 유도된 일반식으로서 구조물의 특성에 무관하게 결정되기 때문에 RC주탑 뿐만 아니라 여타 형식의 구조 부재에 대해서도 적용 가능할 것으로 판단된다. 또한 풍하중계수 보정기법은 기존에 사용되고 있는 설계기준에서 정의된 고정하중 계수 및 저항계수에 상응하는 풍하중계수를 결정하기 위하여 일반적으로 적용될 수 있다.

감사의 글

이 연구는 초장대교량사업단 제1핵심과제를 통하여 지원된 국토교통부 건설기술혁신사업(08기술혁신E01) 및 케이블교량 글로벌 경쟁력 강화를 위한 전주기 엔지니어링 및 가설공법 개발의 연구비 지원으로 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). (2014). *AASHTO LRF Bridge Design Specifications*, Washington, D.C.
2. Ang, A.H-S., and Tang, W.H. (2007). *Probability Concepts in Engineering: Emphasis on Applications in Civil and Environmental Engineering*, 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc.
3. Ghosn, M., Moses, F., and Wang, J. (2003). "Design of Highway Bridges for Extreme Events." *NCHRP report 489*, Transportation Research Board, Washington, D.C.
4. Kim, J.H., Lee, S.H., Paik, I., and Lee, H.S. (2015). "Reliability assessment of reinforced concrete columns based on the P-M interaction diagram using AFOSM." *Struct. Safety*, Elsevier, 55, 70-79.
5. 이해성, 김지현, 이호현, 이승환, 백인열 (2016). "도로교설계기준(한계상태설계법)-케이블교량편: Code Calibration." *KBRC TRS 048*, 교량설계핵심기술연구단
6. Nowak, A.S. (1999). "Calibration of LRF bridge design code." *NCHRP Report 368*, Transportation Research Board, Washington, D.C.