

새로운 활하중 및 풍하중 확률모형을 적용한 도로교설계기준의 하중-저항계수 결정

Determination of Load-Resistance Factors for KHBDC based on New Probabilistic Models of Live and Wind Loads

김세상* · 김지현** · 송상원*** · 이해성****

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

이 연구에서는 국내의 케이블교량을 포함한 도로교설계기준(한계상태설계법)에 대한 하중-저항계수를 새로운 하중의 확률모형을 적용하여 산정한다. 고정하중의 확률모형은 기존에 사용하여 오던 정규분포와 분포의 특성값을 적용한다. 활하중 및 풍하중에 대한 확률모형과 계측자료를 이용하여 몬테카를로 모사를 적용하여 활하중효과 및 풍하중효과에 대한 확률모형을 결정하였다. 극한한계상태 1 및 3에서의 활하중효과 및 풍하중효과는 검분포로 확인되었으며, 이를 적용하여 해당 한계상태들에 대한 하중-저항계수를 산정하였다. 극한한계상태 5에서의 활하중 및 풍하중은 정규분포를 사용하였다.

핵심용어 : 하중-저항계수, 풍하중, 활하중, 검분포, 정규분포, 도로교설계기준

1. 하중의 확률모형 결정

신뢰도기반 설계기준에서 사용하는 하중-저항계수는 각각 하중과 저항의 확률분포 및 분포의 특성값에 근거하여 산정되므로 각 하중의 확률모형의 정립은 합리적인 설계기준을 작성하기 위하여 매우 중요하다. 고정하중에 대한 확률모형은 일반적으로 잘 알려져 있으며, 국내외적으로 대부분 거의 동일한 확률모형을 적용하고 있기 때문에 이 연구에서도 기존의 확률모형을 적용하였다. 그러나, 활하중 및 풍하중의 경우에는 지역적 특성에 따라 그 확률분포가 많이 달라지게 되고 또한 그에 대한 분포의 특성값 역시 달라지게 된다. 국내에서는 이러한 지역적 특성을 적용한 하중의 확률모형에 대한 정확한 산정 방법이 제시되어 있지 않고, 기존에 외국에서 적용되어 오던 확률모형을 그대로 적용하여 왔다. 최근 국토해양부가 지원한 초장대교량사업단 및 그 후속과제에서 수행된 연구에 의하여 국내의 지역적 특성을 반영한 계측기반의 새로운 활하중 및 풍하중 확률모형이 제시되고 있다. 하중의 확률모형의 정립에는 오랜 관측이 필요하고, 또 다양한 교통 및 풍환경에 대한 분석이 필요하므로, 이 연구에서 제시된 확률모형은 앞으로 더 다듬어야 할 여지는 있으나 최소한 앞으로의 방향성을 제시할 수 있을 것으로 판단된다. 활하중의 통계특성을 결정하기 위하여 김천, 왜관 및 선산 지역에서 측정된 WIM 자료를 활용하였으며, 풍하중의 통계특성은 부산, 인천, 목포, 여수 및 울산 지역에서 측정된 풍속을 기반으로 산정하였다. 극한한계상태 1 및 3에 대한 활하중효과 및 풍하중효과의 통계특성은 측정된 자료를 기반으로 하여 몬테카를로 모사를 시행하여 계산하였다. 전술한 과정을 통하여 계산된 활하중효과 및 풍하중효과의 통계특성은 표 1 과 2 에 각각 주어지 있다. 교량에서 차량의 통행이 가능한 최대풍속에 대한 극한상계상태 5에서 각 하중의 확률모형은 특별히 제시된 것이 없기 때문에 활하중 및 풍하중의 하중계수 역시 특별한 근거 없이 기존에 사용하여 왔던 값을 적용하여 왔다. 극한한계상태 5의 경우 일반적으로 풍속이 결정되어 있고, 활하중은 설계 수명동안 예측되는 최대활하중의 분포를 적용할 수 없기 때문에 모두 정규분포를 적용하여 적절한 통계특성을 결정하기 위한 연구가 진행되고 있다.

* 서울대학교 건설환경공학부 석사과정, 공학학사 (E-mail:kss12@snu.ac.kr)

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

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

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

표 1. 활하중효과 통계특성

| 통계특성 | 김천 | | | 왜관 | | | 선산 | | |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 400m | 1000m | 2000m | 400m | 1000m | 2000m | 400m | 1000m | 2000m |
| 편심계수 | 0.7137 | 0.5375 | 0.4744 | 1.0396 | 0.8354 | 0.7509 | 1.0629 | 0.8609 | 0.7467 |
| 변동계수 | 0.1589 | 0.1430 | 0.1405 | 0.1420 | 0.1393 | 0.1399 | 0.1426 | 0.1441 | 0.1416 |

표 2. 풍하중효과 통계특성

| 통계특성 | 부산항대교 (부산) | 인천대교 (인천) | 새천년대교 (목포) | 이순신대교 (여수) | 울산대교 (울산) |
|------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|
| 편심계수 | 1.1078 | 1.1232 | 1.1147 | 1.1412 | 1.1466 |
| 변동계수 | 0.2664 | 0.2880 | 0.2764 | 0.3135 | 0.3216 |

2. 최적화를 이용한 하중-저항계수의 결정

현재에 사용되고 있는 설계기준에서 적용되어 왔던 하중-저항계수는 잘 정립된 수학적 접근법을 사용하여 왔다가 보다는 설계기준을 작성하는 전문가의 과거의 경험을 바탕으로 하여 근사적 방법을 적용하여 산정하고, 이렇게 산정된 하중-저항계수를 제한된 수의 실제 구조물에 적용하여 설계기준에서 요구하고 있는 목표신뢰도를 만족시키는 지의 여부를 검증하여 왔다. 대다수의 설계기준에서 이러한 방법을 적용하여 왔으나, 이러한 방법을 통하여 결정된 하중-저항계수가 다양한 구조물의 형식과 그에 따른 고정하중-변동하중 비에 대하여 목표신뢰도지수를 어느 정도 만족시킬 수 있는지를 판단하기가 불가능하다. 이 연구에서는 하중-저항계수에 따라 결정되는 필요요구강도가 고정하중-변동하중 비의 전 영역에서 목표신뢰도를 근사할 수 있는 최적화 접근법을 제안하였다. 제안된 방법은 비선형 최적화 문제로서 정의되기 때문에 반복 계산이 필요하다. 신뢰도지수는 일계이차모멘트법에 의하여 계산하고, 비 정규분포를 따르는 확률변수는 Rackwitz-Fiessler 변환을 적용하여 등가의 정규분포를 산정하여 신뢰도해석을 수행한다. 신뢰도해석의 결과에 의하여 하중-저항계수를 산정할 수 있으며, 신뢰도해석에서 결정되는 각 확률변수의 MPFP(Most probable failure point)를 각 변수의 공칭값으로 나눈 값이 하중-저항계수로 결정된다.

3. 결과 분석

새롭게 제안된 하중모형을 적용하여 최적화 과정을 통하여 결정된 하중-저항계수를 분석 제시한다. 이러한 과정을 통하여 결정된 새로운 하중-저항계수를 분석하고, 기존의 계수와 비교하여 이 연구를 통하여 제시된 하중-저항계수의 타당성을 검증하여 제시할 예정이다.

감사의 글

이 연구는 국토교통부 건설기술 연구사업 중 케이블교량 글로벌 연구단 2 세부과제(17SCIP-B119964-02-000000)를 통하여 경제적 지원을 받아 연구가 이루어진 것 입니다. 연구지원에 감사 드립니다.