

몬테카를로 시뮬레이션을 활용한 균중하중을 받는 장경간 보도교의 진동성능 평가

Vibration Serviceability Evaluation of Long-Span Pedestrian Bridges Subjected to Crowd Loading Based on Monte Carlo Simulation

김 성 용^{1)*} · 김 대 경²⁾ · 이 화 림³⁾ · 최 종 화⁴⁾
Kim, Sung-Yong · Kim, Dae-Kyung · Lee, Hwarim · Choi, Jong-Hwa

ABSTRACT : Recent development of construction technology allows long-span pedestrian bridges with light-weight and low damping, which yields serviceability problem caused by excessive vibration subjected to walking loading. However the current codes, standards and guidelines only provide walking loadings for a single person or an overly simplified crowd, and these standards are not applicable to diverse crowd behavior. This study introduces the latest research to simulate diverse crowd behaviors, and evaluates vibration performance of a long-span pedestrian bridges subjected to crowd loading based on Monte Carlo simulation.

1. 서 론

최근의 건설 기술의 발전으로 인해 경량의 낮은 감쇠를 가지는 장경간의 보도교의 수가 급증하면서 보행하중에 따른 과도한 진동응답과 관련된 사용성문제가 점차 대두되고 있다. 하지만 보도교 진동성능평가를 다룬 국내의 기준의 경우 1인 보행이나 간략화된 균중모형에 대한 가진 모형만을 제시하고 있으며, 보다 일반적으로 나타날 수 있는 균중하중에 대한 고려가 어렵다. 본 연구에서는 보다 다양한 균중의 행태를 모사하기 위한 최신 연구결과들을 소개하는 한편, 몬테카를로 시뮬레이션을 활용한 사례연구를 통해 균중하중을 받는 장경간 보도교의 진동성능을 평가하고 그 효용성을 고찰하였다.

2. 개인하중 모형

개인의 보행이 보도교에 유발하는 동적보행하중 $F(t)$ 는 푸리에 급수를 통해 아래와 같은 형태로 표현할 수 있다.

$$F(t) = q \sum_{i=1}^{N_c} \eta_i \sin(2\pi i \lambda t + \theta_i) \quad (1)$$

여기서 q 는 보행자의 체중, N_c 는 고려하는 푸리에 성분의 총 개수, η_i 는 i 번째 모드의 동적하중계수(또는 푸리에계수), θ_i 는 i

번째 모드의 위상각이며, λ 는 보행자의 디딤진동수이다. 표 1은 설계를 위해 정리된 푸리에계수의 일례를 정리한 것이다.

표 1 보행활동에 대한 푸리에계수(Young, 2001)

성분 i	가진진동수 범위 $i\lambda$, Hz	동적하중계수 η_i , $\times 10^{-2}$	위상각 θ_i , rad
1	1.8~2.2	$43.6(i\lambda - 0.95)$	0
2	3.6~4.4	$0.6(i\lambda - 12.3)$	$-\pi/2$
3	5.4~6.6	$0.7(i\lambda + 5.2)$	π
4	7.2~8.8	$0.7(i\lambda + 2.0)$	$\pi/2$

3. 균중하중 모형

여러 균중이 보도교에 유발하는 동적보행하중은 개인이 유발하는 보행하중의 합으로 구할 수 있다. 하지만 균중을 구성하는 각 개인 간 발생하는 위상분포의 차이에 따라, 균중의 보행하중은 동일한 인원수의 균중이라 하더라도 큰 차이가 나타나게 된다. Matsumoto 등(1978)은 보행교에 진입하는 개인별 도래시간이 상호무관 가정(즉 각 보행자가 푸아송 프로세스에 따라 보도교에 진입한다는 가정)과 대부분의 하중이 1차모드 성분에 집중된다는 가정 하에 아래와 같은 모형을 제안하였다.

$$F(t) = q \sqrt{N} \eta \sin 2\pi \lambda t \quad (2)$$

여기서 N 은 보행자의 수이다.

하지만 Eq.(2)의 Matsumoto식의 경우 보행하중의 고차성분이 고려되지 않는다는 한계가 있다. 이를 개선하기 위한 여러 연

* 교신저자(Corresponding Author, sungyong.kim@changwon.ac.kr)

1) 창원대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

2) 서울대학교 건축학과 박사과정, 공학박사

3) 창원대학교 건축공학과, 학생

4) ㈜센구조연구소 구조1본부, 상무이사

구들이 다양하게 수행되어 왔으며, 보행하중모형을 구성하는 변수들을 난수로 생성하여 응답을 평가하는 몬테카를로기법 기반 평가기술 역시 다각도로 수행되어 왔다.

4. 몬테카를로 시뮬레이션을 통한 군중하중 생성

군중 내의 개인 간 진입시간차이를 고려한 개인의 운동으로 인한 동적보행하중은 푸리에급수 전개를 통해 아래와 같이 표시할 수 있다.

$$F_j(t) = q \sum_{i=1}^{N_c} \eta_i \sin[2\pi i \lambda(t - t_j) + \theta_i] \quad (3)$$

여기서 t_j 는 j 번째 개인의 진입시간으로 인해 발생하는 시간지연값이다.

이러한 결과들을 바탕으로 개인의 하중을 나타낸 식(3)을 사람의 수만큼 합산하여 군중 하중을 구하면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} F_C(t) &= \sum_{j=1}^N F_j(t) \\ &= q \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{N_c} \eta_i \sin[2\pi i \lambda(t - t_j) + \theta_i] \end{aligned} \quad (4)$$

군중을 구성하는 모든 개인이 상호무관한 시간지연 값을 가지는 경우로 이는 무관한 도래시간을 가정하여 군중에 의해 보행교에 가해지는 경우를 다룬 Matsumoto모형과 동일한 가정을 한 경우이다.

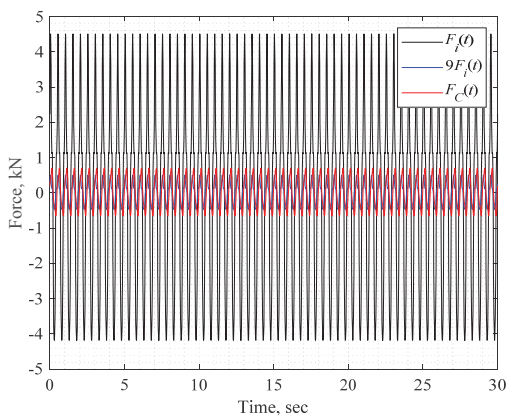


그림 1 시뮬레이션을 통한 군중하중 생성

5. 결 론

본 연구에서는 군중들의 통과에 따른 과도한 진동응답이 발생할 것으로 예상되는 보도교를 대상으로 몬테카를로 시뮬레

이션을 활용해 군중하중을 생성하였다. 군중의 진입시간차이를 고려한 군중하중을 설계에 활용한다면, 보다 합리적이고 경제적인 설계가 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

- Matsumoto, Y., Nishioka, T., Shiojiri, H., & Matsuzaki, K. (1978) Dynamic Design of Footbridges, International Association for Bridge and Structural Engineering Proceedings, No.P-17/18: pp. 1-15.
- Young, P.(2001), Improved floor vibration prediction methodologies. Engineering for Structural Vibration -Current developments in research and practice, Arup Vibration Seminar, Institution of Mechanical Engineers.