

불꽃축제 타상연화를 고려한 광안대교의 시간이력해석

Time History Analysis of the Gwangan Bridge Considering Fireworks Aerial Shell

문 대 중¹ · 남 순 성² · 정 진 우³ · 박 지 현⁴ · 차 기 혁⁵

Moon, Dae-Joong · Nam, Soon-Sung · Jung, Jin-Woo · Park, Ji-Jyun · Cha, Ki-Hyuk

요 약

본 논문에서는 불꽃축제 시 교량의 상관에서 발생하는 타상연화(打傷煙花, Aerial shell)로 인해 발생하는 반발력이 교량에 미치는 진동 영향을 분석하였다. 이를 위해 불꽃축제 타상연화로 인한 반발력을 삼각형 형태의 충격 하중 함수로 설정하여 시간이력해석을 수행하였다. 시간이력해석의 재하 시점은 실제 불꽃축제 타상연화 발사 시점과 일치시켰고, 불꽃축제 타상연화의 종류는 총 8가지(3inch, 4inch, 5inch, 6inch, 8inch, 10inch, 12inch, 16inch)이며, 이 중 반발력이 가장 작은 3inch 타상연화를 제외한 7가지 종류, 871발의 타상연화를 시간이력해석의 충격 하중 함수로 고려하였다. 해석 결과는 실제 가속도 계로부터 계측한 데이터와 해당 지점에서의 구조해석 결과와 비교하여 검증하였다.

핵심용어 : 불꽃축제, 타상연화, 시간이력해석, 가속도 응답

1. 서 론

교량 위에서 불꽃축제를 실시한 사례는 전 세계적으로 꾸준히 있었는데, 미국 켄터키주 북부의 루이빌(Louisville)에서는 1990년부터 매년 켄터키 더비 축제(Kentucky Derby Festival)가 개최되고 있다. 이 축제에서는 오하이오 강을 가로지르는 George Rogers Clark Memorial Bridge의 상판 위에서 불꽃축제를 실시하고 있다(Kleber, 2001). 2014년에는 스코틀랜드의 Forth Bridge와 잉글랜드의 Clifton Suspension Bridge에서 불꽃축제가 개최된 바 있다.

우리나라에서는 지난 2005년부터 매년 부산불꽃축제를 개최하고 있으며, 이 불꽃축제를 보기 위해 매년 100만 명 가량의 관람객이 광안대교 일대를 방문하고 있다.

본 논문에서는 제9회 부산불꽃축제 동안 교량의 상판에서 발생하는 불꽃축제 타상연화로 인해 발생하는 반발력을 충격 하중 함수로 고려하여 시간이력해석을 수행하였다.

2. 본 론

2.1 불꽃축제 개요

본 논문에서 다루고자 하는 제9회 부산불꽃축제는 2013년 10월 26일 오후 7시부터 10시까지 진행되었으며 총 991발의 타상연화(打傷煙花, Aerial shell)가 광안대교 상판의 육지측 1차로에서 발사되었다. 불꽃축제 개요 및 타상연화 수량은 Table 1 및 Table 2와 같다.

Table 1 Event contents of the fireworks festival

Time	Event contents
19:40 ~ 20:00	Suspension bridge was closed
20:00 ~ 20:50	Fireworks festival(Shot aerial shells)
20:50 ~ 21:30	Site cleaning
21:30 ~	Suspension bridge was opened

Table 2 Classification according to aerial shell size

Size	3 inch	4 inch	5 inch	6 inch	8 inch	10 inch	12 inch	16 inch	Total
Count	120	130	190	270	65	85	117	14	991

2.2 시간이력해석

불꽃축제 시 타상연화로 인해 교량에 가해지는 반발력을 Time History Load Case로 고려하여 시간이력해석을 수행하였다. 해석 수행 시간은 타상연화 발사 시간인 50분(3000초)으로 하였고, 전체 교량의 감쇠비는 0.02로 설

¹ 정희원 · (주)이제이텍 기술연구소 연구소장 moondaejoong@empal.com

² 정희원 · (주)이제이텍 대표이사 ssnam@ejtech.net

³ 비희원 · (주)이제이텍 기술연구소 연구원 jinu8505@hanmail.net

⁴ 비희원 · 부산시설공단 광안대교사업단 대리 hyun744@bisco.or.kr

⁵ 비희원 · 부산시설공단 광안대교사업단 대리 khcha99@hanmail.net

정하였다.

불꽃축제 타상연화의 종류는 총 8가지(3inch, 4inch, 5inch, 6inch, 8inch, 10inch, 12inch, 16inch)이며, 이 중 반발력이 가장 작은 3inch 타상연화를 제외한 7가지 종류, 871발의 타상연화를 시간이력해석의 충격 하중 함수로 고려하였다. 시간에 따른 충격 하중 함수는 삼각형 형태의 함수로 설정하고, 하중 지속 시간을 0.01초로 가정하여 구조해석을 수행하였다. 아래 그림은 하중 지속 시간이 0.01초일 때의 12inch 타상연화 하중 함수를 나타낸다.

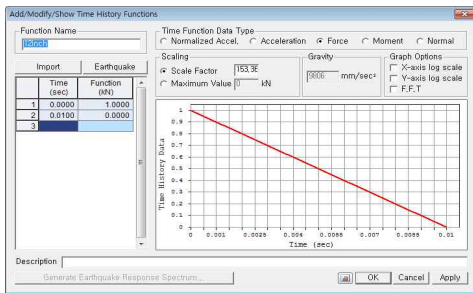


Fig. 1 Load case of the 12inch aerial shell

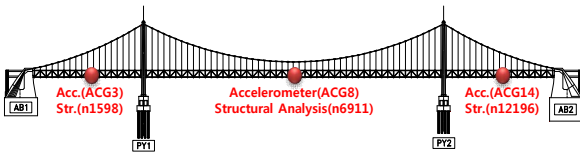


Fig. 2 Acceleration measurement positions

구조해석으로 도출한 가속도와 교량에 설치된 가속도계의 신호를 비교하였다. 여기에서 ACG3, ACG8, ACG14는 가속도계 데이터이고, n1598, n6911, n12196은 구조해석 데이터이다.

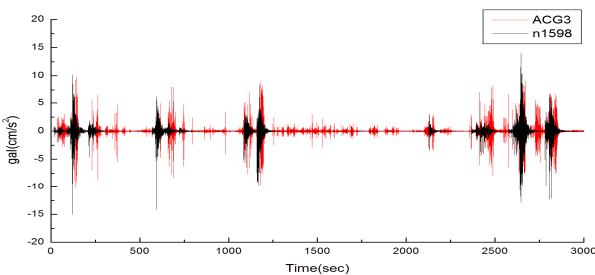


Fig. 3 Acceleration data comparison at the side span near the PY1

타상연화 발사 시 교량 상판에 반발력이 가해지게 되어 진동이 유발되며, 구조해석으로 도출한 가속도와 교량에 설치된 가속도계의 신호를 비교한 결과, 가속도계가 설치된 3지점 모두 매우 유사한 형태의 가속도 파형을 나타냈다. 따라서 불꽃축제 구조해석 모델은 실제 광안대교를 적절하게 표현하였고, 시간이력해석을 활용한 충격 하중의 설정은 시간에 따른 타상연화의 반발력을 잘 반영하였다고 판단된다.

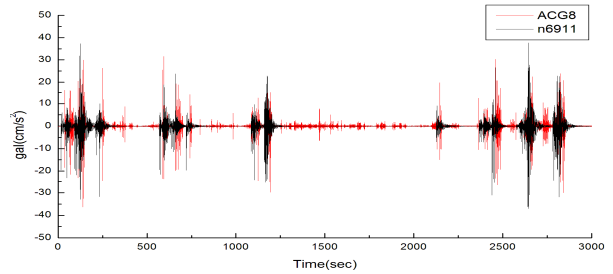


Fig. 4 Acceleration data comparison at the middle span

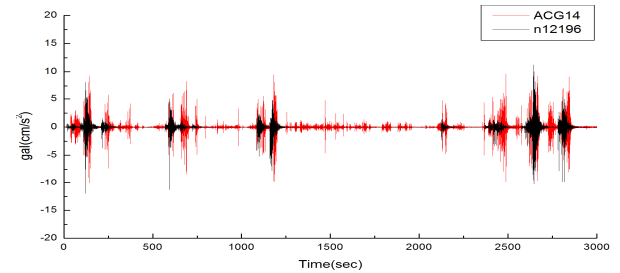


Fig. 5 Acceleration data comparison at the side span near the PY2

3. 결 론

교량의 상판 위에서 불꽃축제 타상연화를 발사 할 경우, 사전에 타상연화의 중량, 개화고도 등을 미리 파악하면 시간이력해석을 이용하여 위치 및 시간에 따른 가속도 분포 양상, 최대 가속도 및 고유진동수 등을 예측할 수 있으며, 불꽃축제가 교량에 미칠 영향을 예측함으로써 교량 안전성을 사전에 검토할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 부산시설공단 광안대로사업단과 공동연구로 수행하고 있으며, 이에 감사를 드립니다.

Reference

- Ahn, M.S. (2008) Present and Future Direction of the Fire Festival, Proceedings of KSEE Conference, Korea Society for Explosive and Blasting Engineering, pp.119~127.
- Bollinger, G.A. (1980) *Blast vibration analysis*, Southern Illinois University Press.
- Kleber, J.E. (2001) *The Encyclopedia of Louisville*, The University Press of Kentucky.
- Min, W., Bao, B.K., Xu, C. (2014) Multi-Modal Spatio Temporal Theme Modeling for Landmark Analysis, *IEEE Multimedia*, 21(3), pp.20~29.