

고속철도교량의 동적응답에 의한 충격계수 평가

Evaluation of Impact Factor of High-Speed Railway Bridges from Dynamic Response under KTX Running

윤혜진† 진원중* 광종원* 황의승** 김병석***
Hyejin Yoon Won-Jong Chin Jong-Won Kwark Eui-Seung Hwang Byung-Suk Kim

ABSTRACT

To consider dynamic magnification effect at the static design stage, impact factor is applied to design load. Current impact factor adopted EUROCODE without domestic verification through theoretical and experimental studies. This study evaluated impact factor of railway bridges from dynamic response under KTX running. Moving Average Method was applied to calculate impact factor. Investigation considering different type of bridges and tracks including velocity was conducted.

1. 서론

충격계수는 정적설계시 동적 충격효과를 고려할 수 있도록 표준열차하중에 곱해지는 계수이다. 현행 호남철도설계지침(2007)에서는 충격계수를 적용하여 표준열차하중을 교량 경간장에 따라 0~15% 증가시켜 사용하고 있다. 호남철도설계지침에서 충격계수 기준은 국내 실정을 반영한 연구를 통한 것이 아니라 별도의 검토 없이 EUROCODE의 기준을 혼용한 것이기 때문에 해당 기준에 대한 엄밀한 검토가 요구된다. 이를 위해서는 국내 현장을 대상으로 하는 현장계측 수행을 통한 충격계수 평가가 필요하다. 이 연구에서는 주행열차에 의한 고속철도교량의 현장계측에 의한 동적응답으로부터 충격계수를 산정하여 분석하였다. 동적응답 측정을 통한 충격계수 산정은 이동평균법(Moving Average Method)을 적용하였다. 다양한 교량형식 및 도상형식을 갖는 교량을 대상으로 충격계수를 평가하였으며, 차량 속도에 의한 영향을 함께 고려하였다.

2. 동적응답에 의한 충격계수 산정

2.1 이동평균법

충격계수는 정적설계 단계에서 동적 충격효과를 고려할 수 있도록 표준열차하중에 곱해지는 계수로 식 (1)과 같다.

$$i = \frac{\delta_{dym} - \delta_{sta}}{\delta_{sta}} \quad (1)$$

† 교신저자, 한국건설기술연구원, 구조교량연구실
E-mail : hiyoon@kict.re.kr

* 한국건설기술연구원, 구조교량연구실

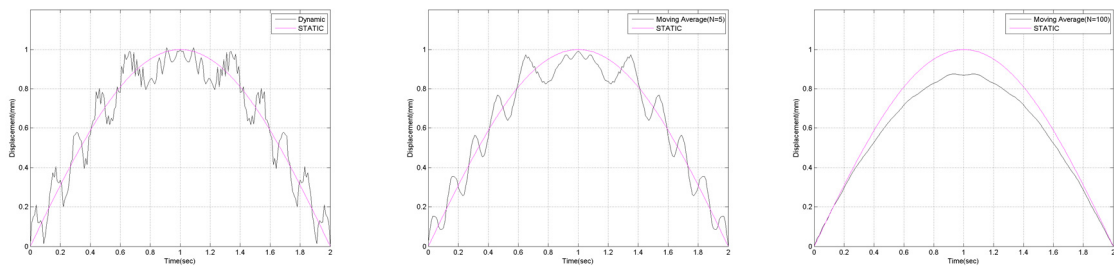
** 경희대학교, 토목공학과

*** 한국건설기술연구원, 기반시설연구본부

여기에서, δ_{dym} : 교량의 동적처짐
 δ_{sta} : 교량의 정적처짐

국내 교량을 대상으로 하는 현장계측으로부터 충격계수를 산정하기 위해서는 식 (1)에서와 같이 교량의 정적처짐과 동적처짐이 요구된다. 하지만 정적 처짐을 계산하기 위해서는 열차가 교량 상에 정지되어 있는 상태 또는 5km/h 이하의 속도로 운행되는 상태에서의 응답을 필요로 하기 때문에 국내 고속철도 운행 여건상 어려운 실정이다.

이 연구에서는 측정된 동적응답에 이동평균법(Moving Average Method)을 적용하여 정적처짐을 산정하였다. 동적응답은 그림 1(a)과 같이 정적응답위치로부터 시간의 변화에 따라 진폭이 발생한다. N개의 데이터를 이용해 동적응답의 평균을 계산하면 진폭의 영향이 상쇄되어 정적응답에 근사하게 된다. 따라서 몇 개의 데이터로부터 동적응답의 평균을 계산할 것인가를 결정하는 것이 정적 처짐 예측에 가장 중요한 요소가 된다. 그림 1은 데이터 수를 변화시키면서 이동평균법 결과를 정적응답과 비교한 것이다. 그림 1(b)은 5개의 데이터 신호로 이동평균법을 적용했을 때의 결과이며, 그림 1(c)은 100개의 데이터 신호에 의한 결과이다. 그림 1에서와 같이 임의의 동적응답으로부터 정적 최대 변위를 추정하는 경우에는 5개의 데이터를 적용하는 것이 적절하게 된다.



(a) 정적응답과 동적응답 (b) 정적응답 산출(N=5) (c) 정적응답 산출(N=100)

그림 1. 이동평균법(Moving Average Method)

이동평균법을 적용하여 고속철도교량의 충격계수를 산정하기 위해서는 동일 교량에서 계측된 동적응답과 정적응답이 필요하며, 다양한 주행 속도에 의한 동적응답에 적용하여 일관성 있는 결과를 얻을 수 있도록 데이터 수(N)를 결정해야 한다. 국내에서는 충격계수 산정을 위해 이동평균법 적용에 대한 연구(윤혜진 등, 2011)로부터 20개의 데이터로부터 이동평균법 적용이 타당하다고 보고되고 있다. 따라서 이 논문에서는 다양한 고속철도교량 동적응답을 수집하고, 20개의 데이터에 의하여 이동평균법을 적용하여 충격계수를 산정하였다.

2.2 대상교량

충격계수는 교량형식, 지간, 주행속도에 따라 상당한 차이를 보일 수 있으므로 다양한 지점에서의 자료 확보가 중요하다. 이 연구에서는 이를 반영하여 기존의 동적응답 연구(김병석 등, 2007; 김성일 등, 2008)들에서 고속철도교량에 대한 동적응답 자료를 확보하여 분석하였다. 5개 교량으로부터 실주행 열차에 의한 316개의 동적응답 데이터를 수집하였다. 교량 형식은 PSC BOX교와 강함성교를 고려하였으며, 지간은 1@40m, 2@25m, 2@40m, 2@50m을 고려하였다. 분석 대상 교량은 도표 1과 같다. 316개의 동적응답 데이터에 이동평균법을 적용하였다.

도표 1. 분석대상교량

교량명	교량형식	지간	평균주행속도
연제교	PSC BOX	2@40m	295.19 km/h
신정교	PSC BOX	2@40m	281.77 km/h
군량교	PSC BOX	2@25m	281.59 km/h
지탄교	강합성	2@50m	234.27 km/h
이원고가	강합성	1@40m	207.50 km/h

3. 충격계수 평가

5개 교량에서 수집된 316개의 동적응답에 이동평균법을 적용하여 정적 처짐을 추정하였다. 20개의 데이터로부터 평균을 구하였다. 각각의 교량에 이동평균법을 적용한 예가 그림 2와 같다.

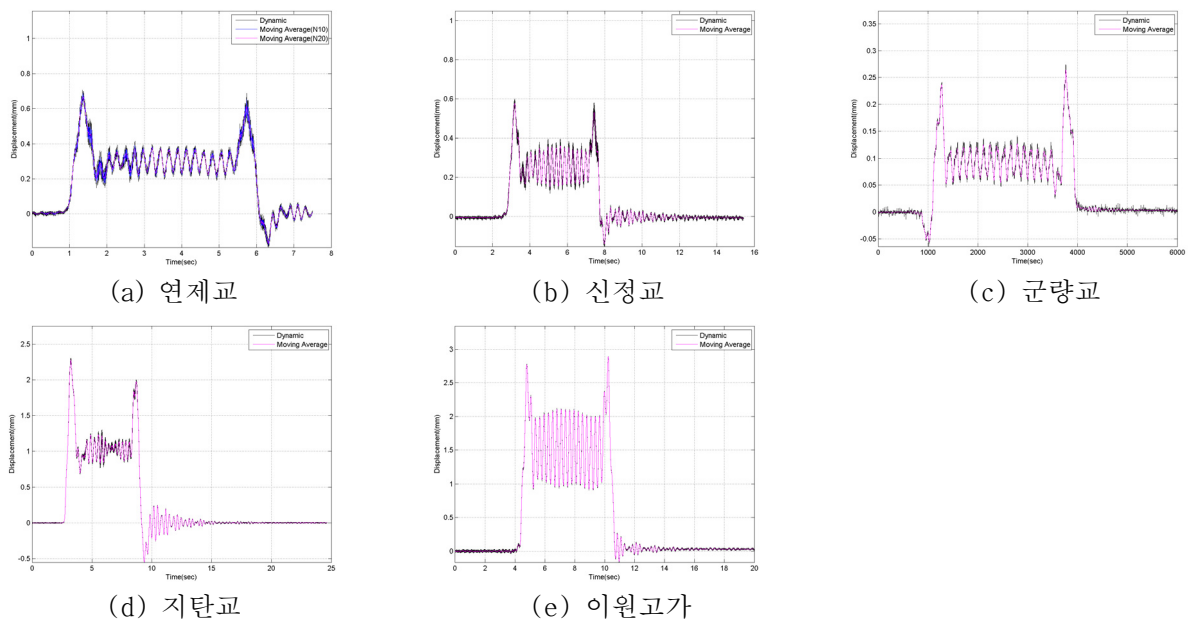


그림 3. 동적응답에 의한 이동평균 결과

5개 교량에 대한 주행실험의 계측자료에 대해 충격계수를 분석하였다. 충격계수는 식(1)과 같이 계산하였다. 여기서 δ_{dyn} 은 동적 처짐의 최대값이며, δ_{sta} 는 동적 처짐에 이동평균법을 적용하여 구한 정적 처짐의 최대값이다.

EUROCODE 및 현행 호남고속철도설계지침에서는 충격계수를 경간장 길이에 정의하며, 일본에서는 열차속도를 고려한 충격계수를 정의하고 있다. 이 연구에서는 계측자료에 의한 충격계수를 경간장 길이 및 속도를 고려하여 분석하였다. 경간장 길이에 따른 충격계수 분석은 그림 3과 같다. 2@25m의 지간을 갖는 군량교와 2@50m의 지간을 갖는 지탄교에서 측정된 충격계수는 현행 호남고속철도설계지침에서의 충격계수보다 낮게 측정되었다. 반면 1@40m, 2@40m 지간을 갖는 교량에서 측정된 충격계수는 호남고속철도설계지침의 충격계수 기준을 상회하는 결과를 보였다. 그림 4는 열차 주행속도를 고려하여 충격계수를 분석한 것이다. 그림 4에서 보는 바와 같이 열차 운행속도가 증가함에 따라 증가하는 것을 알 수 있다.

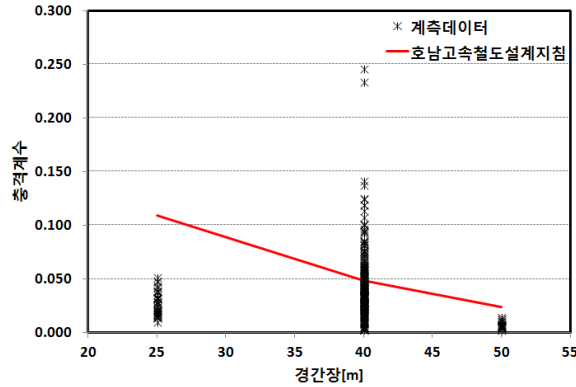


그림 4. 경간장에 따른 충격계수

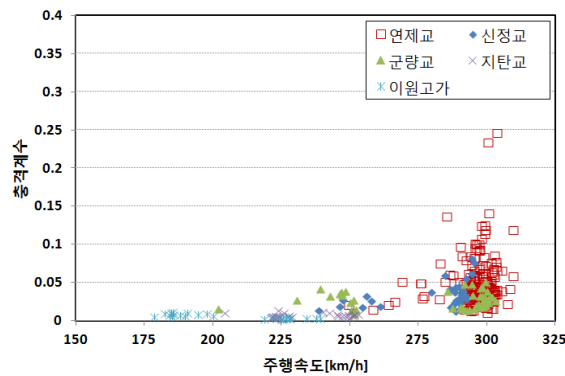


그림 5. 주행속도에 따른 충격계수

4. 결론

이 연구에서는 주행열차에 의한 고속철도교량의 동적응답으로부터 충격계수를 산정하여 분석하였다. 충격계수 크기에 영향을 미칠 수 있는 교량형식, 지간, 주행속도를 고려하여 기존의 동적응답 연구에서 고속철도교량에 대한 동적응답 자료를 수집하였다. 5개 교량으로부터 316개의 동적응답 데이터를 수집하였다. 충격계수 산정은 이동평균법(Moving Average Method)을 적용하였다. EUROCODE 및 현행 호남고속철도설계지침에 따르면 경간장 길이가 길어질수록 충격계수는 감소하게 된다. 하지만 1@40m, 2@40m 지간을 갖는 일부 교량에서는 주행열차에 의한 충격계수가 현행기준을 상회하는 것으로 나타났다. 또한 주행속도가 높아짐에 따라 충격계수가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 현행 호남고속철도지침은 유럽교량을 대상으로 이론적, 실험적 연구에 의한 충격계수를 국내 교량에 대한 실험적 검증 절차를 거치지 않고 도입하였다. 따라서 다양한 교량형식, 경간장 길이, 도상형식 등을 반영한 현장계측에 의한 충격계수로부터 현행 설계기준을 합리적으로 마련하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국철도시설공단의 연구비 지원(과제명: 철도건설 경쟁력 확보를 위한 용역)에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. European Committee for Standardization, "EUROCODE 1 Part2:Actions on Structures–Traffic loads on bridges," European Committee for Standardization, 2003
2. 김성일 등, "철도교량 동적안정성 및 동적설계기준에 관한 연구," 한국철도시설공단, 2008.
3. 김병석 등, "고속철도 선로구축물 시스템 안정화 기술개발," 건설교통부, 2007.
4. 윤희진 등, "주행열차의 동적응답에 의한 충격계수 산정," 한국철도학회 2011년 추계학술대회논문집 (계제예정), 2011.
5. 한국철도시설공단, "호남고속철도 설계지침," 한국철도시설공단, 2007