철도교량의 사용성 관련 신뢰도 수준 분석

Reliability analysis of usability of railway bridges

황의승*, 김도영*, 장성호*, 이재우*†

Eui-Seung Hwang*, Do-Young Kim*, Seong-Ho Jang*, Jae-Woo Lee*†

Abstract Vibrations in a bridge through which a train passes can give anxiety and discomfort to people in the train. Such vibration affects usability such as driving safety and ride comfort. Driving safety is examined through vertical deflection, vertical acceleration, and misalignment of the bridge, and ride comfort is examined through vertical deflection. In this study, the sensors were attached to railway bridges such as PSC Beam, PSC Box, and Steal Box to measure the deflection and acceleration when the train passes through it, and reliability analysis of deflection and acceleration was performed using the measurement data. The predicted value of deflection, acceleration period of 100 years and 200 years was calculated by using the Gumbel probability paper, and these values were compared with the reference value.

Keywords **:** Driving safety, ride comfort, vertical deflection, vertical acceleration, reliability analysis

초 록 열차가 통과하는 교량에서의 진동은 열차내의 사람에게 불안감과 불쾌감을 줄 수 있다. 이러한 진동은 주행안전성과 승차감 등의 사용성에 영향을 미친다. 주행안전성은 교량의 연직처짐, 연직가속도, 면틀림을 통해 검토되고, 승차감은 연직처짐을 통해 검토된다. 본 연구에서는 PSC Beam, PSC Box, Steal Box 등의 철도교량에 센서를 부착하여 열차가 통과할때의 처짐과 가속도를 계측하였고 계측자료를 이용하여 처짐, 가속도에 대한 신뢰도 분석을 수행하였다. 검벨 확률지를 이용하여 처짐, 가속도의 재현 기간 100 년, 200 년의 예측 값을 계산하였고, 이 값들을 기준값과 비교하였다.

주요어 : 주행안전성, 승차감, 연직처짐, 연직가속도, 신뢰도분석

1. 서 론

열차가 교량을 통과하면서 발생하는 처짐은 교량에 진동을 만들어내고, 이는 열차 주행 안전성과 승객의 승차감에도 영향을 미친다. 기존에 건설되어 사용하고 있는 철도 교량 중 여러가지 거더 형식의 교량들을 선택하여 연직처짐, 연직가속도를 계측하였고, 계측값을 통해 신뢰도 분석을 수행하여 기준값과 비교하였다.

본 논문에서 다룰 교량은 경부고속선 3개, 경부선 2개, 중앙선 4개, 전라선 3개, 장항선 1개로 총 13개이며, 거더 형식으로는 PSC Box, PSC Beam, PF, Steel Box, IPC가 있다.

† 교신저자: 경희대학교 공과대학 사회기반시스템공학과(abab0412@khu.ac.kr)
* 경희대학교 공과대학 사회기반시스템공학과

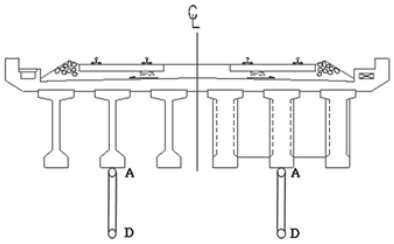
2. 본 론

2.1 현장 계측

2.1.1 대상교량

국내 철도 교량 중 다양한 거더 형식의 교량을 계측에 포함해야 각 형식 별 비교가 가능하고, 또한 철도 교량을 통과하는 국내의 모든 열차 종류를 계측에 포함하기 위해 모든 노선에서 계측을 진행하였다. 이러한 목적에 부합하는 실험 가능한 교량으로 총 13개를 선정하였고 이를 Table 1에 정리하였다. Fig. 1은 계측을 진행한 교량 중 전라선상의 섬진강교이다. 계측은 Fig. 1(b)와 같이 교량의 한 경간의 상·하행선 중앙에 가속도계와 처짐계를 부착하였고, 상행선 또는 하행선 중 하나를 주 진행방향으로 설정하여 열차가 주 진행방향을 통과할 때 측정되도록 설정하였다.

(c) 섬진강1교



(d) 센서설치위치

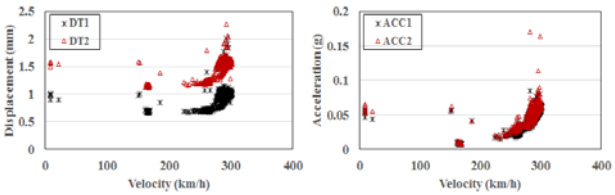
Fig. 1 PSC Beam bridge and sensor location

Table 1 Information on the target bridges

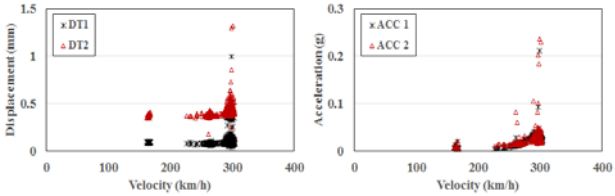
교량	*노선*	*거더 형식*	*지간*	*궤도 종류*
임기2고가	경부고속선	PSC Box	40m	콘크리트
법기고가	경부고속선	PSC Box	3@25m	콘크리트
안동교	중앙선	PSC Beam	25m	자갈
매포천교	중앙선	PSC Box	2@40m	자갈
임실천교	전라선	Steel Box	36.1+51.2+63.1m	자갈
섬진강교	전라선	PF	222m	자갈
은석교	전라선	PSC Beam	25m	콘크리트
방축고가	장항선	IPC	35 m	자갈
백천교	경부선	PF	29.85 m	자갈
시목교	경부고속선	PSC Box	2@40 m	자갈
금강제2교	경부선	Steel Box	40 m	자갈
매월2교	중앙선	Steel Box	35 m	자갈
흑천교	중앙선	Steel Box	25 m	자갈

2.1.2 계측결과 분석

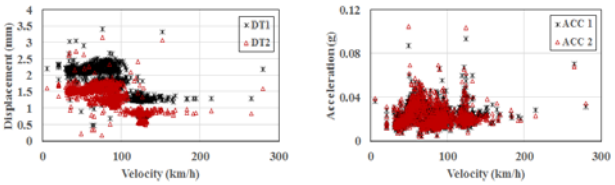
계측 진행 후 결과를 Fig. 2에 도시하였다. 각 교량 당 4개의 그래프로 계측 결과를 나타냈으며, 각 교량의 2개의 그래프 중 좌측은 교량의 연직처짐과 열차 속도 간의 관계를, 우측은 교량의 연직가속도와 열차 속도 간의 관계를 나타낸 그래프이다. 그래프 계열을 검은색과 빨간색으로 나누었으며, 두 그룹 중 더 많은 연직처짐과 연직가속도 값을 보이는 계열 그룹이 계측 시 설정한 주 진행방향이다. 계측값 중 교량의 연직처짐과 연직가속도를 표로 정리하여 Table 2로 나타내었다.



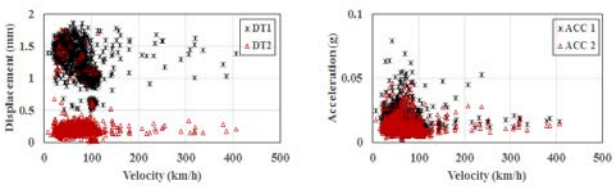
(a) 임기2고가



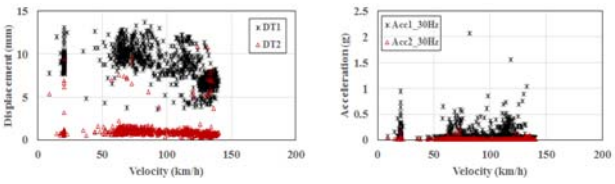
(b) 법기고가



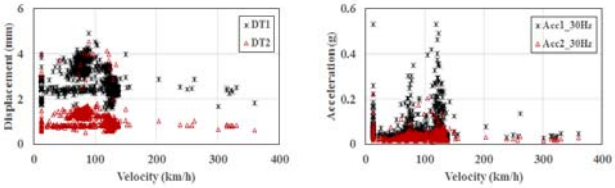
(c) 매포천교



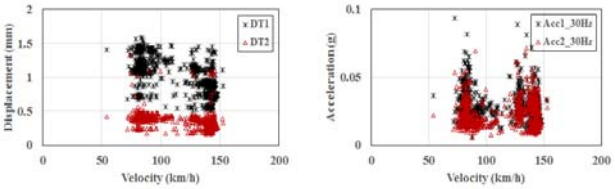
(d) 안동교



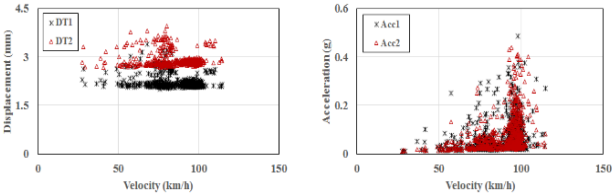
(e) 임실천교



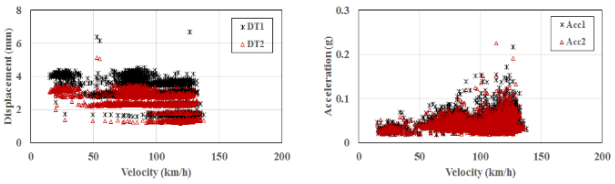
(f) 섬진강교

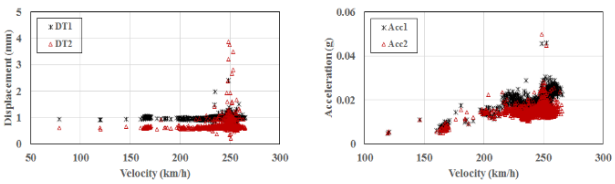


(g) 은석교

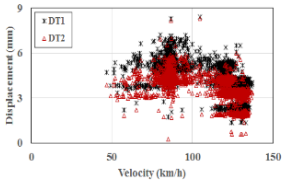


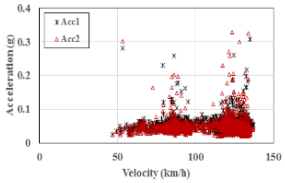
(h) 방축고가



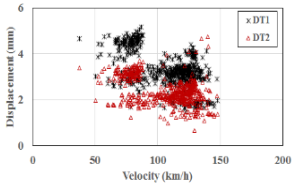


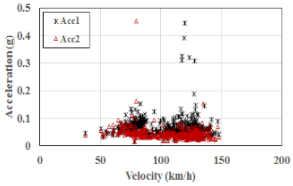
(i) 백천교



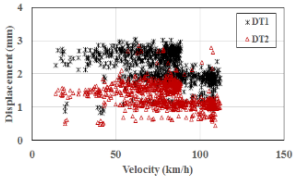


(j) 시목교

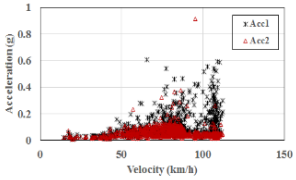




(k) 금강제2교



(l) 매월2교



(m) 흑천교

Fig. 2 Vertical deflection and acceleration by velocity

Table 2 Displacement and acceleration on the target bridges

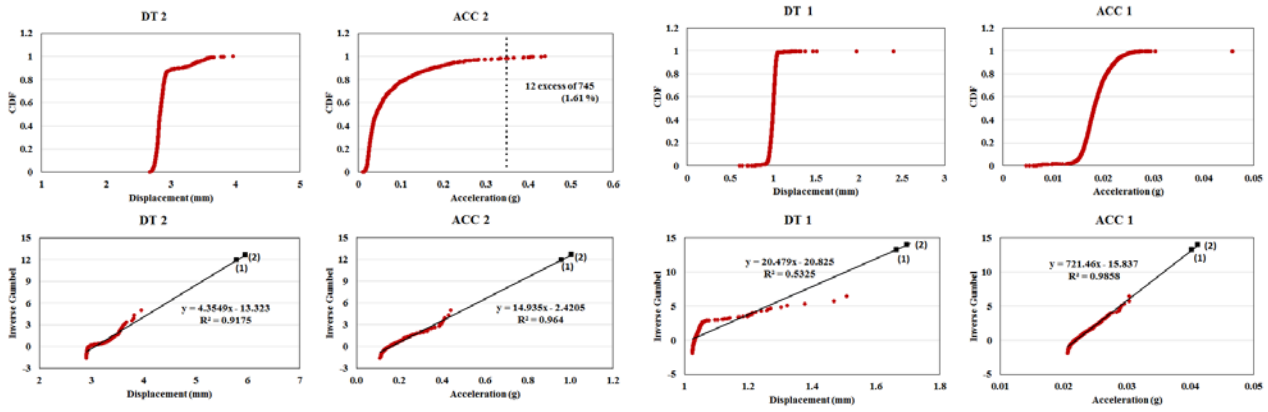
	DT(mm)				ACC(g)			
	Min.	Max.	Ave.	C.O.V	Min.	Max.	Ave.	C.O.V
임기2고가	1.12	2.27	1.51	0.08	0.01	0.17	0.05	0.38
법기고가	0.18	1.32	0.42	0.11	0.01	0.24	0.02	0.51
매포천교	0.471	3.417	1.851	0.243	0.004	0.094	0.023	0.412
안동교	0.292	1.865	1.281	0.215	0.003	0.079	0.017	0.485
임실천교	3.565	13.727	8.608	0.236	0.021	2.062	0.106	1.220
섬진강교	1.447	4.902	2.903	0.208	0.015	0.531	0.068	0.932
은석교	0.472	1.583	0.957	0.263	0.006	0.094	0.027	0.424
방축고가	2.676	3.960	2.891	0.068	0.010	0.440	0.074	1.012
백천교	1.534	6.691	3.123	0.242	0.018	0.217	0.049	0.358
시목교	0.606	2.406	1.000	0.052	0.004	0.046	0.019	0.162
금강제2교	1.334	8.392	4.450	0.244	0.022	0.307	0.052	0.354
매월2교	1.334	8.392	4.450	0.244	0.022	0.307	0.052	0.354
흑천교	0.811	3.056	2.199	0.207	0.007	0.607	0.105	0.892

2.2 신뢰도 분석

2.2.1 신뢰도 분석

Fig. 3는 13개 교량 중 예시로 발췌한 방축고가와 시목교의 그래프이다. 계측을 통해 얻은 총 데이터를 각 교량에 따라 Fig. 3 상단의 누적 분포 함수로 나타내었다. 또한 교량에 가장

치명적인 상황으로 신뢰도를 분석하기 위해 연직처짐의 일 최대값을 사용하여 100년, 200년 주기로 재현해 Fig. 3 하단의 검벨 확률지에 도시하였다.



(a) 방축고가 (b) 시목교

Fig. 3 CDF graph and inverse Gumbel graph of bridge.

2.2.2 분석 결과

철도교 설계기준에 따라 주행안전성과 승차감을 계산하여 기준값을 도출하고 이를 위에서 분석한 각 교량의 100년 최대 예측값과 비교하여 Table 3에 나타내었다. Table 3를 통해 기존에 설계된 교량의 신뢰도가 기준값에 비해 현저히 낮다는 것을 알 수 있다.

Table 3 Driving safty and ride comfort of each bridge

	주행안전성								승차감			
	처짐				가속도				처짐			
	100 년 최대예측값	%	기준값		100 년 최대예측값	%	기준값		100 년 최대예측값	%	기준값	
임기2고가	3.16	4.7	66.67	<<	0.34	68.0	0.50	1.67×10^{-3}	3.16	15.0	21.05	<<
법기고가	1.32	3.2	41.67	<<	0.47	94.0	0.50	4.59×10^{-4}	1.32	7.9	16.67	<<
매포천교	2.65	6.4	41.67	<<	0.15	42.9	0.35	2.22×10^{-13}	2.65	15.9	16.67	<<
안동교	5.25	7.9	66.67	<<	0.17	48.6	0.35	1.99×10^{-13}	5.25	24.9	21.05	<<
임실천교	22.05	34.8	63.33	<<	3.75	1071.4	0.35	7.13×10^{-1}	22.05	110.3	20.00	1.91×10^{-6}

섬진강교	6.33	23.7	26.67	<<	1.30	371.4	0.35	2.64×10^{-1}	6.33	59.3	10.67	1.76×10^{-1}
은석교	2.05	4.9	41.67	<<	0.19	38.0	0.50	<<	2.05	12.3	16.67	<<
방축고가	5.798	9.94	58.33	<<	0.961	274.45	0.35	5.86×10^{-2}	5.798	28.99	20.00	<<
백천교	6.532	13.13	49.75	<<	0.252	72.00	0.35	9.35×10^{-15}	6.532	35.01	18.66	<<
시목교	1.664	2.50	66.67	<<	0.040	11.52	0.35	<<	1.664	7.90	21.05	<<
금강제2교	10.417	15.60	66.67	<<	0.408	116.57	0.35	2.24×10^{-3}	10.417	49.49	21.05	<<
매월2교	5.960	10.22	58.33	<<	0.742	212.00	0.35	8.09×10^{-2}	5.960	29.80	20.00	<<
흑천교	3.550	8.52	41.67	<<	1.252	357.67	0.35	1.80×10^{-1}	3.550	21.30	16.67	<<

3. 결 론

철도교 설계기준으로 도출한 주행안전성과 승차감의 기준값과 신뢰도 분석에 의한 100년 최대 예측값을 비교하였을 때 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 모든 13개 교량에 대해 처짐에 있어서 기준값에 상당한 여유가 있음을 발견하여 설계 기준이 과다하다는 것을 발견하였으며, 가속도 항목에서 몇몇 교량이 기준값을 초과하는 부분을 확인하였다. 가속도 항목은 열차 통과 시에 교량이 일으키는 진동을 의미하며, 진동으로 인해 주행안전성에 문제가 발생할 여지가 있다. 기준값을 초과하는 교량의 거더 형식은 PF, IPC, Steel Box로서 신형식 거더 형식과 Steel 구조물에서 가속도 항목이 초과하는 이유에 대해 추가 연구가 필요하다.

감사의 글

이 논문은 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(과제번호: 15RTRP-B067919-03)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

[1] 건설교통부(2006) 고속철도 구조물 안전성 기술개발, 건설교통부, 3 단계 4 차년도 보고서.