

실 통행열차에 의한 강박스거더 교량의 동적응답에 대한 확률론적 분석

황의승¹ · 김도영^{2*} · 여인호³

¹경희대학교 사회기반시스템공학과, ²경희대학교 사회기반시스템공학과, ³한국철도기술연구원

Probabilistic Analysis on Dynamic Response of Steel Box Girder Bridge by Actual Passing Trains

Hwang, Eui Seung¹, Kim, Do Young^{2*}, Yeo, Inho³

¹Civil engineering in Kyunghee University

²Civil engineering in Kyunghee University

³Korea Railroad Research Institute

Abstract - For railway bridges, serviceabilities such as passenger comfort and train riding safety are important design requirements as well as the structural safety of the bridge. In this paper, dynamic responses of a steel box girder bridge by actual passing trains were measured and analyzed by probabilistic method. Deflections and accelerations data at center of side span were collected for about a month by various types of actual passenger and freight trains. Effects by axle weights, types of trains were analyzed. 100 and 200 years maximum values were estimated by Gumbel probability paper and compared with corresponding requirements in the current design code. Except for some cases of accelerations, estimated values were well below the criteria and exceedance probabilities were very low. More data for longer term and other types of bridges are needed to perform comprehensive analysis on the serviceability of railway bridges.

Keywords - Railway bridge, Passenger comfort, Riding safety, Deflection, Acceleration

1. 서론

국내의 교통망은 도로위주의 발전을 해왔지만 최근에는 교통 체증, 환경, 안전성 등의 문제와 함께 철도를 장거리 교통수단으로 인식하고 있으며, 고속철도의 운행으로 인하여 철도분야에 대한 관심이 증대되고 있다. 국토교통부의 2001년에서 2020년까지 국가기간 교통망계획에서는 철도분야 교통시설에 대한 투자를 크게 상향하여 계획하였다. Fig. 1의 100 km 이상 중장거리 여객 수송 분담율을 보면 철도부분이 2003년 전체의 8%에서 2015년 15%로 2배 가까이 늘어난

것을 알 수 있다. 또한 Fig. 2에 나타난 것과 같이 철도망 확충으로 빠르고, 안전하고, 효율적인 선진국 형 교통서비스 체계를 구축하였다. 그에 따라 통행시간 절감 효과, 차량운행비 절감효과, 교통사고 감소효과, 대기오염 저감효과, 지역경제 파급효과 등 총 88조의 개선효과가 발생하게 된다. 투자액 대비 2.2배의 효과가 나타나는 것이다. 철도에 대한 지원과 관심이 증대 되면서, 이와 함께 국내 지형의 특성상 전체 철도 선로 21,853개소 중 3,025개소를 차지하는 철도교량에 대한 관심 또한 높아지고 있다. 철도선로의 연장은 2,185,312km이고, 이중 교량은 429,184km로 전체의 20%를 차지하고 있다.

철도교량의 경우 도로교와는 달리 하중의 크기 및 특성에서 차이가 있고^{[1],[2],[3]}, 연속적으로 작용하는 고속 중량의 차륜 하중의 영향으로 열차가 교량을 통과하며 느끼는 진동에 의한 불쾌감이나 불안감이 고려되어야 한다. 이러한 열차의 주행안전성과 승차감 등의 사용성을 확보하기 위해서는 처짐, 진동가속도에 대한 검토가 수행되어야 한다^[4]. 본 논문은

Note.-Discussion open until December 31, 2016. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on May 12, 2016; revised May 20, 2016; approved on May 25, 2016.

Copyright © 2016 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-31-201-2995 Fax. +82-31-204-8114

E-mail. ddang0127@khu.ac.kr

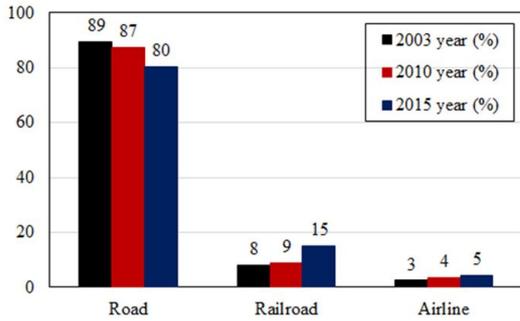


Fig. 1. More than 100km long distance passenger traffic assignment ratio

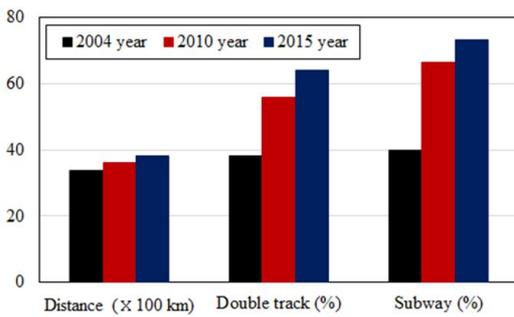


Fig. 2. Expansion of railway transport

전라선상의 관촌~임실 구간의 ○○○교에서 1개월 간 계속된 971개의 처짐 및 가속도 데이터를 분석하였다. 또한 이 값들과 설계 기준 값과의 차이를 확인하였다.

2. 관련규정^[5]

철도교는 열차의 운행 안전성, 승차감, 유지관리를 위하여 이와 관련되어 있는 기준을 만족해야 한다. 철도교는 작용하중이 매우 크고, 많은 불리한 하중조건을 만족해야 하므로 특별히 엄격하고 주의 깊은 설계와 시공, 유지관리, 통제관리 등이 수행되어야 한다. 철도교량에서는 사용성 검토를 위하여 주행안전성과 승차감을 검토한다. 주행안전성은 고속열차의 동적 안정성 등을 포함하는 열차의 안전 확보를 위한 최소요구 조건에 대한 검토로서 교량의 연직가속도, 처짐 및 면틀림에 대한 검토를 수행하며, 승객의 승차감(진동 사용성) 확보에 대해서는 연직 처짐에 대한 검토를 수행한다.

2.1 주행안전성

철도설계기준(노반편)에 따르면 동적 구조해석 및 현장

Table 1. Number of tracks to be loaded for checking limits of deflection

Number of tracks on the bridge		
1	2	3 more
1	1 or 2	1 or 2 or 3 more

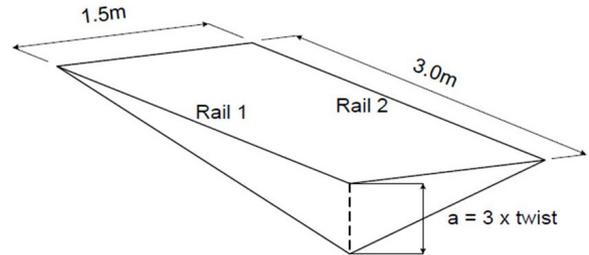


Fig. 3. Definition of deck twist

Table 2. Limiting values of deck twist

Design Speed V (km/h)		Maximum twist (mm/m)
Loaded design train	$V \leq 200$	1.0
	$200 < V$	0.5
Dynamic analysis of normal train		0.4

계측 시 주행열차하중에 의해 발생하는 철도교량 상판의 최대 연직가속도는 자갈궤도의 경우 0.35g를 콘크리트궤도는 0.50g를 초과해서는 안 된다. 최대 연직가속도는 설계를 위한 해석 및 현장계측을 통한 안전성 검토에 모두 적용하며, 30Hz, 고유진동수의 1.5배, 3차 고유진동수 중 최대값을 고려하도록 하고 있다. 이는 호남고속철설계지침과 Eurocode, 프랑스 규정과도 동일한 규정이다^[6].

연직처짐 검토는 열차의 탈선을 방지하기 위한 목적으로 충격계수가 고려된 표준 열차하중이 가장 불리하게 재하된 상태에서 $\frac{L}{600}$ 로 제한한다. 또한 이때의 재하 궤도 수는 Table 1을 따른다.

면틀림은 탈선 위험을 최소화하기 위한 것으로 Fig. 3과 같이 1개 대차에 존재하는 4개 차륜이 같은 평면에서 벗어나지 않도록 제한하기 위한 기준이며, 열차 속도에 따라 기준값이 다르다. Table 2에 나타난 바와 같이 국내에서는 설계속도가 200km/h 이하일 때 3.0mm/3m, 200 km/h를 초과하는 경우는 1.5mm/3m로 규정하고 이는 Eurocode와 동일하다.

2.2 승차감

승객의 승차감 만족을 위한 실 운행열차하중 동적해석에 의한 최대 연직 처짐은 Table 3의 규정을 적용하여 제한한다. 실 열차하중에 의한 속도별 동적해석 응답의 최댓값과 충격 계수를 고려한 표준열차하중 단선재하에 의한 최댓값 중 불리한 값을 적용한다. Fig. 4는 승차감이 ‘매우양호’한 상태의 Eurocode 값으로 호남고속철 설계지침과 일치한다. 다른 경우(‘양호’ 또는 ‘보통’)에는 Table 4의 연직 가속도 b_v 로 나누어 사용할 수 있다. 그림은 3련 이상의 단순교에 대한 것으로 1련의 단순교나 2련의 단순교, 2경간 연속교의 경우에는 그림의 L/δ 에 계수 0.7을 곱해서 사용한다. 3경간 연속 이상의 연속교에는 계수 0.9를 곱하여 사용한다. 또한 경간 120m까지만 유효하므로 이 이상의 장대 교량은 특수해석이 필요하다.

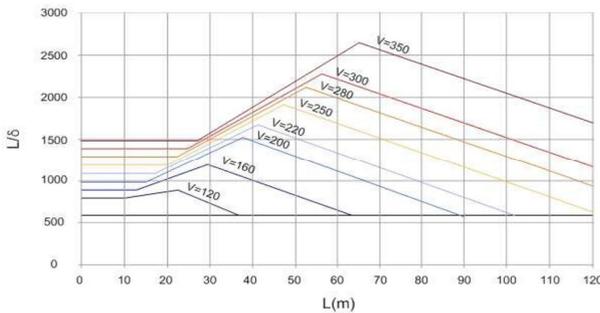


Fig. 4. Maximum permissible vertical deflection for railway bridges ($b_v = 1\text{m/s}^2$)^{[7],[8]}

Table 3. Recommended levels of comfort^{[7],[8]}

Level of comfort	Vertical acceleration b_v (m/s^2)
Very good	1.0
Good	1.3
Acceptable	2.0

Table 4. Limitation of Maximum vertical deflection (Level of comfort = ‘Very good’)

Design velocity (V) (km/h)	Span length L (m)										
	0~20	25	30	35	40	40	40	55	60~75	80~95	100~120
$270 < V \leq 350$	$\frac{L}{1500}$	$\frac{L}{1500}$	$\frac{L}{1600}$	$\frac{L}{1750}$	$\frac{L}{1900}$	$\frac{L}{2100}$	$\frac{L}{2200}$	$\frac{L}{2350}$	$\frac{L}{2500}$	$\frac{L}{2200}$	$\frac{L}{1900}$
$200 < V \leq 270$	$\frac{L}{1300}$	$\frac{L}{1400}$	$\frac{L}{1500}$	$\frac{L}{1600}$	$\frac{L}{1700}$	$\frac{L}{1900}$	$\frac{L}{2000}$	$\frac{L}{2100}$	$\frac{L}{2000}$	$\frac{L}{1700}$	$\frac{L}{1400}$
$V \leq 200$	$\frac{L}{1100}$	$\frac{L}{1200}$	$\frac{L}{1300}$	$\frac{L}{1500}$	$\frac{L}{1500}$	$\frac{L}{1400}$	$\frac{L}{1300}$	$\frac{L}{1200}$	$\frac{L}{1100}$	$\frac{L}{800}$	$\frac{L}{600}$

3. 현장계측

3.1 대상교량

현장계측을 위한 ○○○교는 Fig. 5의 표시된 부분으로 전라선의 관촌~임실구간에 위치한 3경간 연속(38+53+38=129m)의 강박스거더교이다. Fig. 6과 같이 측 경간의 중앙부에 처짐계와 가속도계를 2개소 설치하여 측정하였다.

데이터는 2015년 1월 23일부터 2015년 2월 25일 까지 34일 동안 계측한 971개의 결과를 이용하였고, 통행하는 열차의 측중, 측거, 처짐, 가속도를 측정하였다. 이 값들은 열차가 교량을 상행으로 통과할 때에만 저장되었다. 열차는 Fig. 7에 나타난 것과 같이 4축부터 122축으로 여러 종류의 열차가 교량을 통과하였다. 26축의 열차는 KTX-산천으로 가장 많은 횟수인 298회 통과하였고 다음으로는 무궁화호 열차가 38축, 20축, 32축으로 각각 87회, 83회, 83회 통과하였다. 그 다음으로 78축 열차는 화물차이고, 24축은 ITX-새마을호 열차이다.

3.2 계측 결과 분석

측정된 열차의 최대 측중은 Table 5에 나타난 것과 같이 134.1kN부터 450.9kN이고, 평균속도는 8.9km/h부터

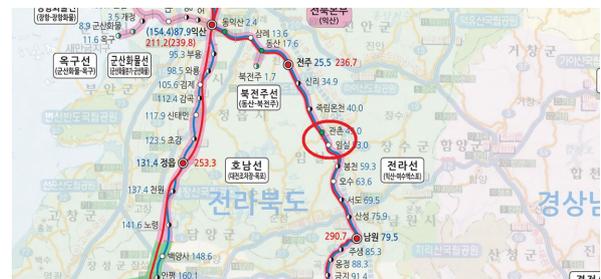


Fig. 5. Location of bridge



Fig. 6. Test bridge

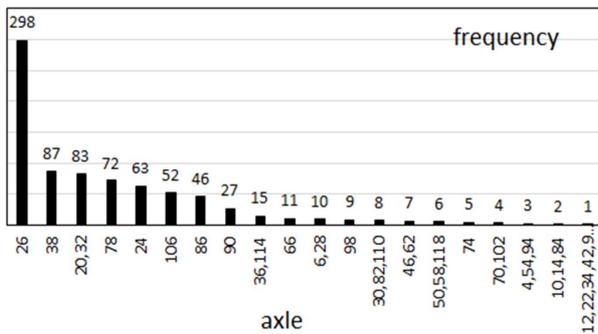


Fig. 7. Frequency of axles

140.4km/h이다. 평균속도는 계측된 시간과 축거를 이용하여 계산하였다. Fig. 8은 26축 열차가 주행했을 때의 처짐과 가속도로 1월 23일에 계측된 자료이다. DT1과 ACC1이 주행 방향을 나타내고 DT2와 ACC2는 주행 반대방향을 나타낸다. 측정된 주행방향의 최대 축중량은 212.4kN, 평균속도는 76.628km/h, 최대 처짐은 6.58mm이고 최대가속도는 0.024g이다. 반대방향의 값이 크게 나타나는 구간은 차량이 하행으로 운행되었을 때 계측된 것으로 하행열차에 대한 정보는 수집되지 않았다.

계측된 진동가속도는 설계기준에서 제안하는 진동수 영역을 반영하여 30Hz의 진동수로 필터링하였다. 그 결과 그 범위가 0.02g~2.062g로 유도상 교량의 가속도 제한치인 0.35g와 비교하였을 때 약 6배정도 큰 값이 나타났다. 0.35g를 초과하는 데이터의 개수는 54개로 전체의 5.56%를 차지한다.

처짐의 경우는 주행안전성에서의 연직 처짐 검토는 $\frac{L}{600}$ 로 측 경간의 경우 6.33cm, 중앙경간은 8.83cm이다. 승차감 만족을 위한 연직 처짐은 ‘매우양호’한 상태에서 속도 200

Table 5. Axle weight and velocity

	min.	ave.	max.
Axle load	134.1	237.7	450.9
Velocity	8.9	96.5	140.4

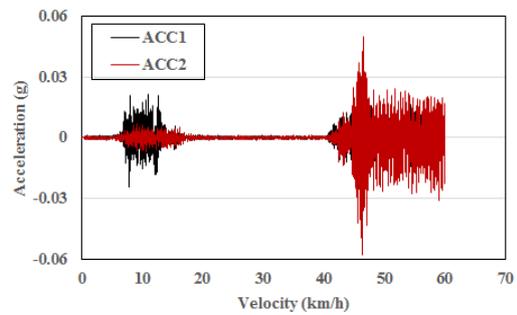
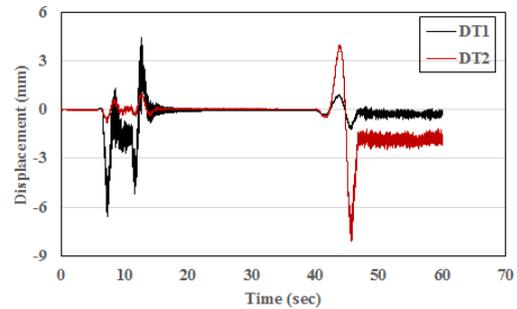


Fig. 8. Typical displacement and acceleration

km/h 이하인 경우 $\frac{L}{1500}$ 로 제한하고, 측 경간과 중앙경간의 경우 각각 2.53cm, 3.53cm이다. 계측된 최대 처짐은 1.37cm로 주행안전성과 승차감의 연직 처짐 기준 값을 만족한다. 측정된 처짐과 가속도는 Table 6에 정리하였다.

Fig. 9는 측정된 데이터의 CDF를 그린 그래프이다. 앞서 언급한 바와 같이 가속도의 경우 기준치를 초과하는 데이터는 971개중 54개로 5.56%를 차지한다. 최대 2.06g의 값도 측정되었기 때문에 측정시의 오류가 있었을 것으로 판단된다. 하지만 측정된 교량이 강 박스 거더교이고 하나만을 측정하였기 때문에 형식에 의한 영향인지를 확인하기 위해서 추후 동일 형식의 추가적인 계측데이터가 필요하다.

Fig. 10은 계측된 최대 축중량과 평균속도에 따른 처짐과 가속도를 나타낸 그래프이다. 주행반대방향인 DT2의 튀는 값들은 Fig. 8의 경우와 같이 측정될 때에 반대 방향으로 열차가 지나가는 경우이다. 주행 방향의 경우 처짐은 축중량이 커짐에 따라 증가하고 속도에 따라 감소하는 경향을 나타낸다. 가속도는 축중량과 속도에 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

Table 6. Deflection and acceleration

	DT1	DT2	ACC1	ACC2
min.	3.565	0.269	0.021	0.004
ave.	8.608	1.087	0.106	0.015
max.	13.727	10.847	2.062	0.213
C.O.V.	0.236	1.058	1.390	0.994

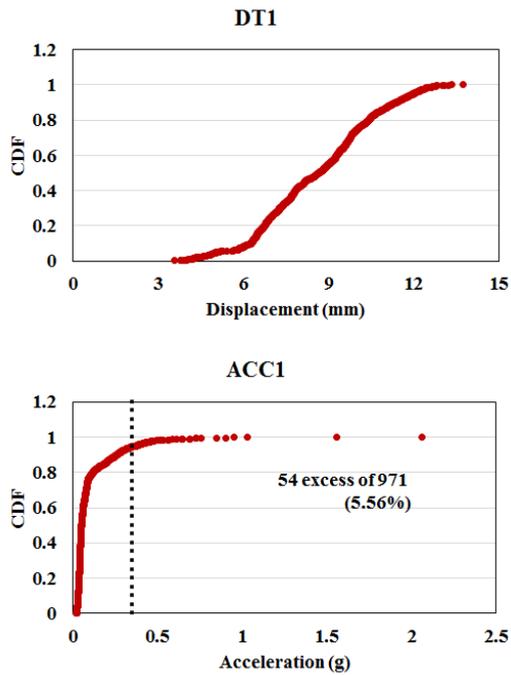


Fig. 9. CDF of measurement data

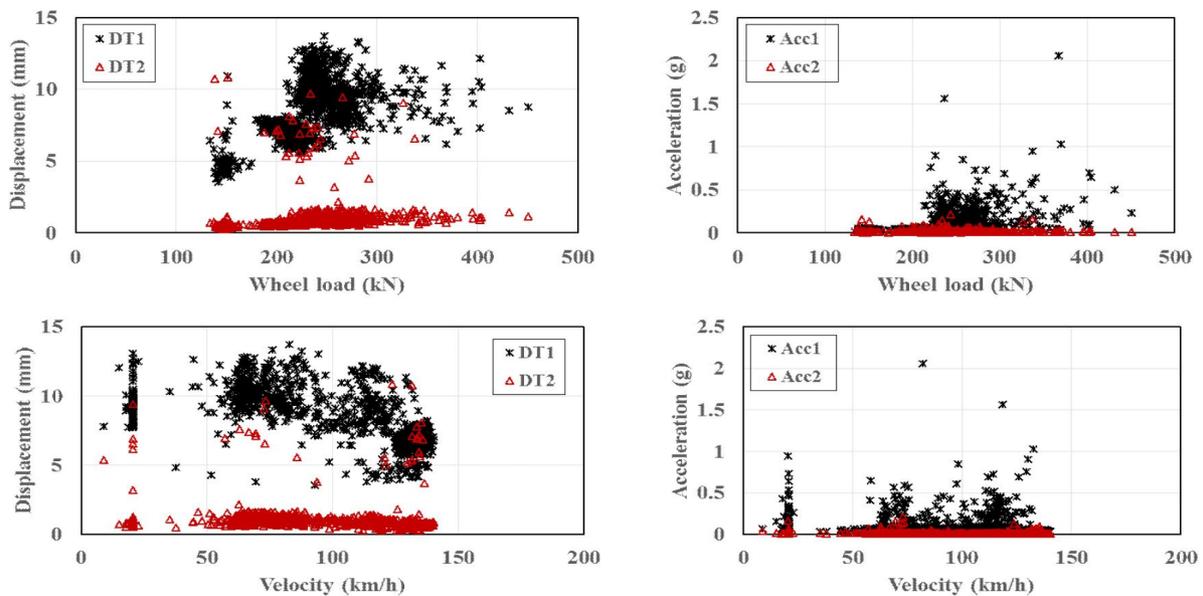


Fig. 10. Measurement data by wheel load and velocity

3.3 축수와 축거에 따른 분석

축수와 축거에 의한 영향을 확인하기 위하여 계측된 시간에 운행된 열차와의 비교를 통해 축수에 따른 열차의 종류를 확인해 보았다. 전라선에 운행되는 여객 열차는 무궁화호, ITX-새마을호, KTX-산천이고, 그 외에 화물열차가 통행하고 있다. 계측된 축거와 비교한 결과 무궁화호의 경우는 객차가 4량에서 7량으로 운행되었고 축수는 20, 28, 32, 36, 38 축이었으며 축거를 이용하여 확인한 결과, 동력차는 38축인 경우만 디젤기관차이고 나머지는 전기기관차이다. 화물차의 축수는 4축부터 122축으로 종류가 가장 많았고 횡수 역시 336회로 가장 많이 측정되었다. 다음으로는 26축의 KTX-산천이 296회 측정되었다. ITX-새마을호는 가장 적은 63회 계측되었고 이 열차의 축수는 24이다(Table 7). 각 열차를 구분하여 주행방향의 처짐과 가속도 데이터를 Fig. 11에 나타내었다. 앞서 밝힌바와 같이 처짐은 축 중량과 양의 상관관계, 속도와 음의 상관관계가 있다는 것을 보다 명확하게 확인할 수 있다. 무궁화호와 화물열차의 경우 최대 축중량이 KTX-산천, ITX-새마을보다 더 크고 속도는 느리게 운행되고 있다. 무궁화호는 동력차가 디젤기관차인 경우, 화물차가 함께 운행되는 경우가 있었고, 화물열차는 모두 디젤기관차가 동력차로 운행되었다. 각 열차가 운행될 때의 처짐과 가속도 값의 상위 20%의 데이터를 검별 확률지에 도시하여 재현 기간 100년, 200년 일 때의 처짐과 가속도의 값을 구하였다. KTX-산천과 ITX-새마을호의 경우 처짐은 9.43, 22.08

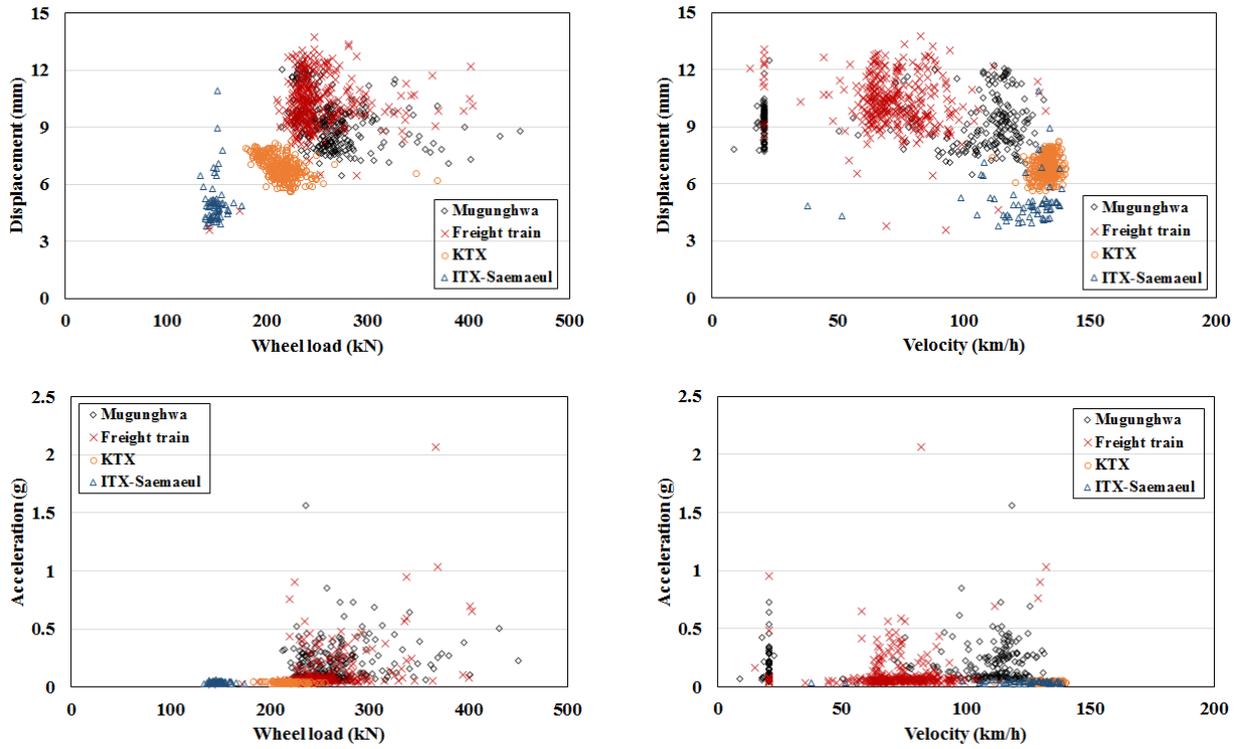


Fig. 11. Displacement and acceleration by wheel load and velocity

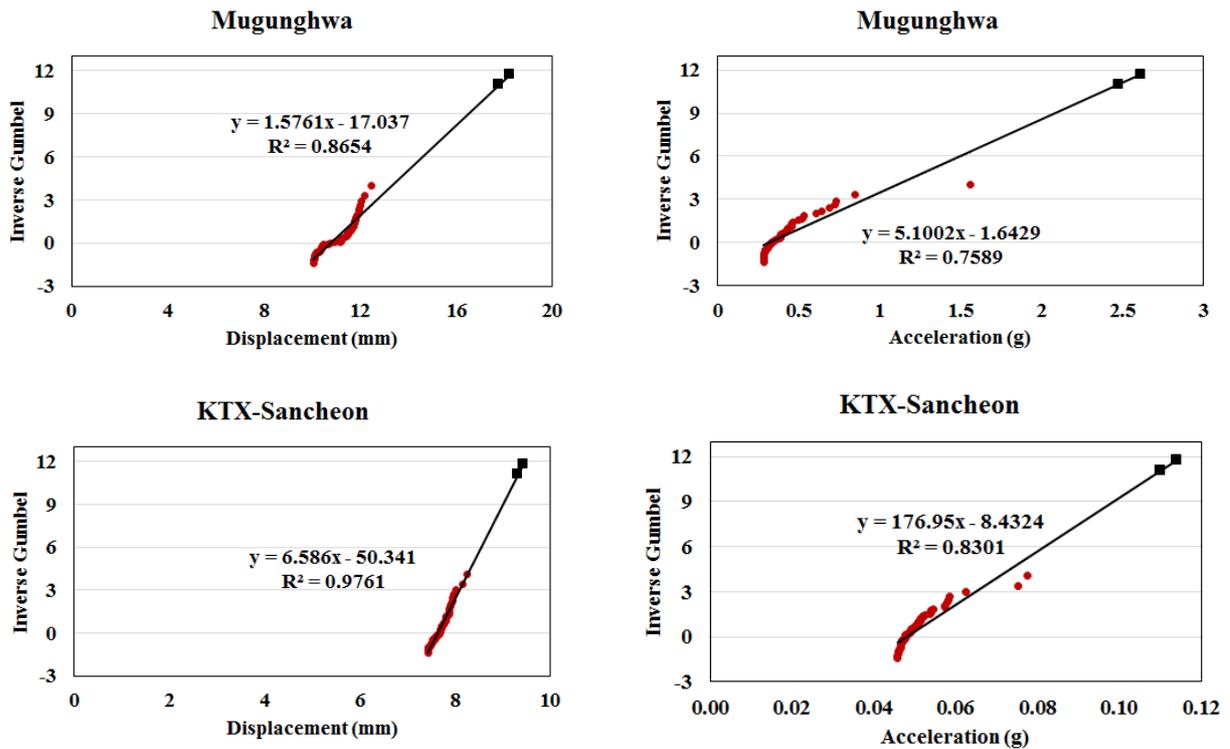


Fig. 12. Plots on gumbel probability paper of 20% data by train types

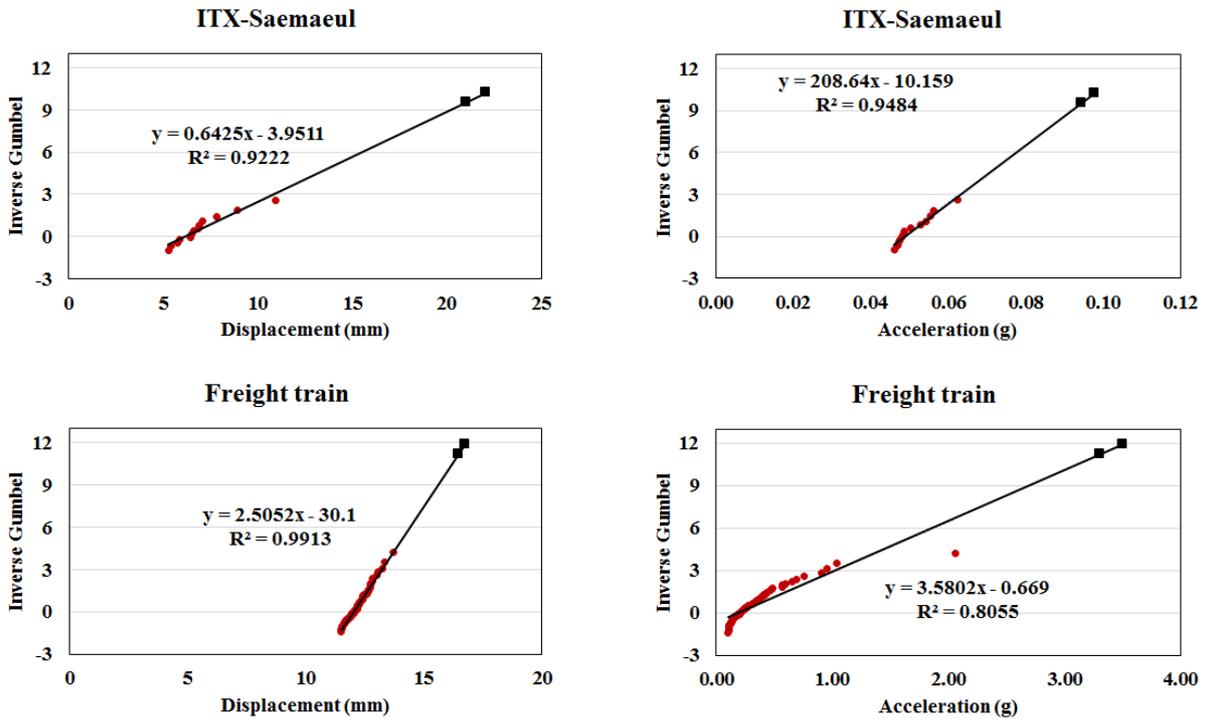


Fig. 12. Plots on gumbel probability paper of 20% data by train types (Continued)

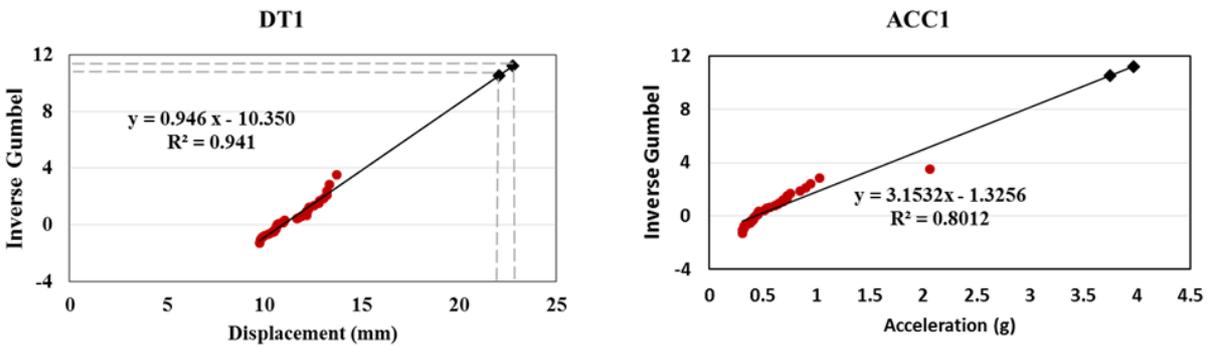


Fig. 13. Plots on gumbel probability paper of daily maximum data

mm, 가속도는 0.11, 0.09 g로 기준값을 초과하지 않았지만 무궁화호와 화물열차는 가속도의 경우 계측값 부터 기준을 초과하는 경우가 있었기 때문에 각각 2.61, 3.50g로 매우 큰 값을 나타내었다. 이 결과는 Fig. 12에 나타내었다. 또한 Fig 13에 일 최댓값을 검별 확률지에 나타내었고 역시 재현기간 100년, 200년일 때의 치짐 가속도 값을 구하였다. 이 값들을 정리하여 Table 9에 나타내었다. 열차별 계측 최댓값과 재현 기간 100년, 200년일 때의 최댓값, 설계기준 값을 비교하였다. 치짐의 경우는 재현기간 200년일 때 주행안전성의 36%, 승차감의 90%이다. 가속도의 경우 무궁화의 계측결과는 기

준값인 0.35g의 44%이고 화물차는 58%이다.

화물차의 경우 재현주기 200년 최댓값은 기준값의 100%로 파괴확률이 $10^{-0.37}$ 이다. 각 경우의 파괴확률을 Table 10

Table 7. Type of trains

	Frequency	Wheel load	Velocity
Mugunghwa	276	450.9	131.8
KTX-Sancheon	296	369.0	140.4
ITX-Saemaedul	63	174.7	138.9
Freight train	336	404.2	138.3

Table 8. Number of exceeding the design value in acceleration

Types	Mugunghwa				Freight train					
	20	32	36	38	26	30	54	74	78	106
Axles	20	32	36	38	26	30	54	74	78	106
Frequency	12	3	2	15	1	6	1	1	12	1

Table 9. Comparison of the measured values and the estimation values.

	Displacement (mm) (ratio to the design values [%])				Acceleration (g) (ratio to the design values [%])			
	Measured values	estimation of 100-year	estimation of 200-year	design values	Measured values	estimation of 100-year	estimation of 200-year	design values
Mugunghwa	12.50 (20, 49)	17.78 (28, 70)	18.22 (29, 72)	passenger safety 63.33 comfort 25.33	1.560 (446)	2.48 (709)	2.61 (746)	passenger safety 0.35
KTX-Sancheon	8.25 (13, 33)	9.32 (15, 37)	9.43 (15, 37)		0.078 (22)	0.11 (31)	0.11 (31)	
ITX-Saemaecul	10.91 (17, 43)	21.00 (33, 83)	22.08 (35, 87)		0.062 (18)	0.09 (26)	0.10 (29)	
Freight train	13.73 (22, 54)	16.48 (26, 65)	16.76 (26, 66)		2.062 (589)	3.31 (946)	3.50 (1000)	
Daily maximum	13.73 (22, 54)	22.05 (35, 87)	22.79 (36, 90)		2.062 (294)	3.75 (1071)	3.97 (1134)	

Table 10. Probability of failure

	Displacement		Acceleration
	passenger safety	comfort	passenger safety
Mugunghwa	10 [∞]	10 ^{-9.94}	10 ^{-0.24}
KTX-Sancheon		10 [∞]	10 [∞]
ITX-Saemaecul		10 ^{-5.35}	10 [∞]
Freight train		10 ^{-14.49}	10 ^{-0.37}
Daily maximum		10 ^{-3.72}	10 ^{-0.15}

에 정리하였다. 일 최댓값을 이용하여 구한 파괴확률이 가장 큰 값인 10^{-0.15}을 갖는다. 이 값들을 보면 주행안전성의 처짐을 매우 큰 값으로 제한하고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

이 논문은 강박스 철도교량에서 처짐과 가속도의 계측 및 분석을 다루고 있다. 전라선 상에 있는 관촌~임실 구간의 교량인 ○○○교 측정간 중앙부에 처짐, 가속도 센서를 설치하여 34일 동안 971개의 데이터를 측정하였고 동시에 통행하는 열차의 축중과 축거도 측정하여 분석하였다. 본 연구의 결과

를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 계측된 진동가속도는 30Hz의 진동수로 필터링하여 분석하였고 그 범위가 0.02g~2.062g로 제한치인 0.35g와 비교하였을 때 약 6배정도 큰 값이 나타났다. 기준을 초과하는 데이터의 개수는 54개로 전체의 5.56%를 차지한다.
- (2) 주행안전성에서의 연직 처짐 검토인 $\frac{L}{600}$ 은 측 경간의 경우 6.33cm, 중앙경간은 8.83cm이다. 승차감 만족을 위한 연직 처짐은 '매우양호'한 상태에서 속도 200km/h 이하인 경우 $\frac{L}{1500}$ 이고, 측 경간과 중앙경간의 경우 각각 2.53cm, 3.53cm이다. 계측된 최대 처짐은 1.37cm로 주행안전성과 승차감의 연직 처짐 기준 값을 모두 만족한다.
- (3) 축수와 축거의 자료와 통행 시간을 이용하여 열차를 분류한 결과 계측된 통행 열차는 무궁화호, KTX-산천, ITX-새마을호, 화물열차이다. 이 중 가속도의 기준을 초과하는 경우는 무궁화호와 화물열차가 통과할 때이다. 축거를 확인한 결과 무궁화호의 경우 화물열차가 함께 운행되는 경우가 있고, 38축의 경우 동력차가 디젤기관차이다. 화물열차는 동력차가 모두 디젤기관차로 이는 축수가 6개이다. 무궁화호나 화물열차의 동력차가 다른 열차의 동력차보다 축수가 많은 영향이 있는 것으로 판단된다.

- (4) 각 열차별로 구분하여 주행방향의 처짐과 가속도를 최대 축중량과 속도에 따라 나타낸 결과 처짐은 축 중량과 양의 상관관계, 속도와 음의 상관관계가 나타났다. 가속도와는 달리 처짐은 최대 축중량과 속도의 영향을 받는 것으로 판단된다.
- (5) 계측값을 검벨 확률지에 도시하여 재현기간 100년, 200년 일 때의 처짐과 가속도의 값, 기준값에 의한 파괴확률을 구하였다. 주행안전성의 연직처짐을 매우 큰값으로 제한하고 있음을 확인할 수 있다.

본 연구의 결과는 향후 주행안전성과 승차감등의 사용성 관련 설계기준 작성에 활용될 수 있다. 그러나 정확한 분석과 규정의 개발을 위하여 다른 형식의 교량 뿐만 아니라 동일 형식의 교량에 대한 추가적인 측정과 분석이 진행되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비 지원(15RTRP-B067919-03)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌(References)

- [1] 경갑수, 이성진, 박진은, 차철준(2012) 강철도교 열화현상에 관한 보수/보강 연구-강철도교의 플랜지 용접이음부의 거동 특성 및 피로균열 보수보강-, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제 24권, 제 6호, pp.613-625.
Kyung, K.S., Lee, S.J., Park, J.E., and Cha, C.J., (2012) A Study on Repair/ Retrofit for Deteriorations of Steel Bridge -Behavior Characteristics of Welded Joint Part of Flange and Repair/Retrofit of Fatigue Crack in Railway Steel Bridge-, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.24, No.6, pp.613-625 (in Korean).
- [2] 박용명, 김동현, 김희순, 박재봉(2014) 일련의 주행 차량에 의한 현수교의 충격계수 평가, 한국강구조학회 논문집, 한국강구조학회, 제26권, 제5호, pp.486-498.
Pakr, Y.M., Kim, D.H., KIM, H.S., and Park, J.B. (2014) Evaluation of Impact Factor in Suspension Bridges under A Series of Moving Vehicles, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.26, No.5, pp.486-498 (in Korean).
- [3] 박재봉, 박용명, 김동현, 이종한(2013) 신뢰도 기반 활하중 모델에 의한 강합성 사장교의 충격계수 평가, 한국강구조학회 논문집, 한국강구조학회, 제25권, 제4호, pp.335-346.
Park, J.B., Pakr, Y.M., Kim, D.H., and Lee, J.H. (2013) Evaluation of Impact Factor in Composite Cable-Stayed Bridges under Reliability-based Live Load Model, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.25, No.4, pp.335-346 (in Korean).
- [4] 김성일, 박종원(2012) 철도교량의 주행안전성 및 승차감 평가, 한국강구조학회지 2012년 6월, 한국강구조학회, pp.39-46.
Kim, S.I. and Kwak, J.W. (2012) Traffic Safety and Passenger Comforts of Railway Bridges, KSSC Jun. 2012, Korea Society Steel Construction, pp.39-46.
- [5] 한국철도시설공단(2013) 철도설계기준(노반편), 국토교통부, pp.8-80-8-88.
KOREA RAIL NETWORK AUTHORITY (2013) Rail Design Standard (Roadbed), MOLIT, pp.8-80-8-88.
- [6] 한국철도기술연구원 등 (2008) 철도교량 동적안정성 및 동적설계기준에 관한 연구, 한국철도시설공단, 최종보고서, pp.2-27.
Korea Railroad Research Institute (2008) Research on dynamic stability and dynamic design criteria of railway bridges, KOREA RAIL NETWORK AUTHORITY, Final report, pp. 2-27.
- [7] UIC 776-2 (2009) Design requirements for rail-bridges based on interaction phenomena between train, track and bridge, pp.7-15.
- [8] CEN (2005) Eurocode 0, Basis of structural design, EN 1990:2002(E), pp.74-83.

요 약 : 철도교량의 경우 구조적인 안정성과 함께 주행 안전성과 승차감이 중요한 설계 고려 인자이다. 이 논문에서는 실제 통행열차에 의한 강박스거더 교량의 동적 응답이 계측되었고 확률적인 방법에 의해 분석되었다. 실험교량에 대해 측 경간 중앙에서의 처짐과 연직가속도가 약 한 달 동안 여러 가지 여객열차 및 화물열차에 대하여 수집되었다. 축중과 열차종류에 따른 영향이 분석되었으며 검벨확률지에 의한 100년, 200년 최대값이 예측되고 설계기준값과 비교되었다. 일부 가속도값을 제외하고 대부분의 결과는 설계기준값을 만족시켰으며 초과확률도 매우 낮았다. 철도교량의 사용성에 대한 종합적인 분석을 위하여 더 장기적인 계측과 다른 형식의 교량에 대한 분석이 필요하다.

핵심용어 : 철도교, 주행안전성, 승차감, 처짐, 가속도, 강박스거더교