

열차주행에 따른 PSC I형 철도교의 동적응답특성

Dynamic Response Characteristics of PSC I Girder Railway Bridge Subjected to Train Loading

박선준[†] · 강성후* · 최태근**

Park, Sun-Joon, Kang, Sung-Hoo and Choi, Tae-Geon

1. 서 론

본 연구의 목적은 기존에는 연구되지 않은 PSC I형 단순 철도교량에 대해 고속 및 일반 열차하중으로 인한 동적거동을 모니터링을 통해 분석하여 철도교량의 동적 성능과 사용성을 평가하는데 있다. 또한, 국내 고유의 동적거동 기준을 제시하고 국내 운행열차 특성을 반영한 기준 정립과 신형식 철도교량 도입을 위한 객관적 성능기준을 규정하기 위한 기초자료를 제시 하는데 있다.

2. 철도교 설계기준

철도교의 동적사용성과 관계되는 시방기준 경우, 국내에서 적용되고 있는 기준으로는 프랑스에서 제시된 고속철도 기준인 BRDM이 유일하며, 바닥판의 단부꺾임각, 연직가속도 등은 교량의 안정성 및 궤도와 밀접한 관계로 동적 성능과 사용성 평가 시 검토해야할 항목이며, 국내의 철도교량의 연직처짐 및 충격계수를 속도별, 시간별로 규정하고 있으며, 구조적 안전성과 더불어 승차감 등 사용성과도 밀접한 관계인 연직처짐에 관하여 Eurocode에서는 Fig. 1과 같이 속도별, 시간별로 규정하고 있다.

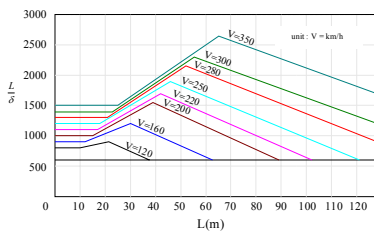


Fig. 1 Eurocode의 처짐기준

† 교신저자; 동신대학교 토목공학과
E-mail : parksj@dsu.ac.kr
Tel : (061) 330-3136, Fax : (061) 330-3136

* 동신대학교 토목공학과

** 동신대학교 대학원 토목공학과

3. 열차주행 실험 및 분석

연구대상의 PSC 철도교량은 일반적인 PSC 교량의 25m 지간을 갖는 단순 I형교로써 매우 드문 구조형식을 가지고 있는 교량으로 총연장은 1,925m이며 77경간 25m 단순교로 구성되어 있다.

대상 경간 선정은 열차주행실험의 센서 부착 및 측정장비 설치, 열차주행의 확인의 용이성 등 현장여건을 고려하여 73번째 경간(P72~P73)을 선정하였다. 실험대상 교량의 동적거동 특성을 분석하기 위해 4종류의 열차(KTX, 무궁화, 새마을, 화물)가 운행 될 때 가속도의 처짐 응답을 실시간으로 모니터링하고 교량의 동적응답을 무리 없이 받아들이기 위하여 200Hz의 sampling rate로 측정하였으며, Fig. 2와 같이 센서를 부착하고 변위계를 설치하였다. Fig 3은 열차주행에 따른 동적응답을 분석한 모습이고, Table 1은 동적성능평가 항목들에 대하여 실측한 값을 나타내었다.

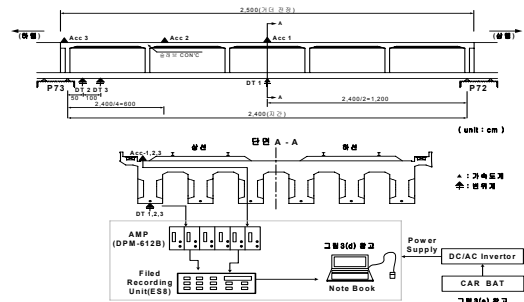


Fig. 2 대상경간 제원 및 동적응답측정 계통도

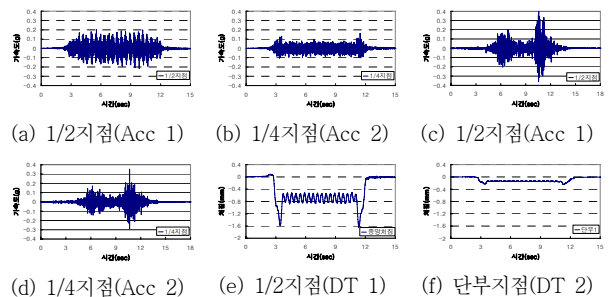


Fig. 3 가속도 및 처짐 응답 시간이력

Table 1 동적성능평가 항목에 대한 계측값 및 설계기준

열차 종류	열차 속도 (km/h)	고유진동수(Hz)		연직가속도(g)				단부꺾임각, θ ($\times 10^{-3}$ rad)				충격계수(i)				연직처짐(mm)			
		계측 값	설계 기준	Acc 1	Acc 2	Acc 3	설계 기준	DT 3	DT 2	계측 값	설계 기준	DT 1 _{sta}	DT 1 _{dyna}	계측 값	설계 기준	최대 처짐	철도 설계 기준	Eurocode	CTRL & BRDM
K#1	151	8.13	3.59Hz ~ 8.79Hz	0.29	0.22	0.25	0.35	0.78	0.25	0.53	5.0	1.31	1.53	0.17	0.34	1.53	15.0	21.8	$\frac{L}{1600}$ =14.1
K#2	152	8.17		0.22	0.16	0.20		0.80	0.22	0.58		1.37	1.69	0.23		1.69	15.0	21.8	
S#1	135	7.63		0.34	0.28	0.32		0.61	0.22	0.39		1.31	1.53	0.17		1.53	21.8	21.8	
S#2	114	8.20		0.25	0.22	0.30		0.57	0.16	0.41		1.18	1.37	0.16		1.37	30.0	30.0	
M#1	109	7.74		0.30	0.23	0.28		0.98	0.34	0.64		1.72	1.96	0.14		1.96	30.0	30.0	
M#2	124	6.35		0.32	0.26	0.26		1.21	0.45	0.76		1.79	2.07	0.16		2.07	21.8	21.8	
M#3	121	8.45		0.29	0.30	0.31		1.05	0.29	0.76		1.80	1.98	0.10		1.98	21.8	21.8	
M#4	104	8.49		0.32	0.26	0.36		1.14	0.33	0.81		1.81	2.02	0.12		2.02	30.0	30.0	
M#5	110	6.73		0.16	0.12	0.20		-	-	-		-	-	-		-	30.0	30.0	
M#6	115	7.61		0.43	0.35	0.32		-	-	-		-	-	-		2.10	30.0	30.0	
H#1	66	8.06		0.17	0.10	0.12		0.94	0.32	0.62		1.96	2.14	0.09		2.14	30.0	30.0	
H#2	74	8.44		0.09	0.13	0.10		1.01	0.31	0.70		2.41	2.53	0.05		2.53	30.0	30.0	

모니터링은 2회에 걸쳐 이루어졌으며 1,2회 각 6편씩, 총 12편(KTX 2대, 새마을호 2대, 무궁화호 6대, 화물열차 2대)의 열차 주행에 따른 가속도 응답과 처짐 응답을 실시간으로 모니터링하였다. Fig. 3은 KTX#2와 무궁화#6의 주행에 따른 가속도와 처짐의 시간이력 응답을 계측위치별로 구분하여 나타내었다. 실험대상 열차 중 최고속도로 주행한 KTX#2의 최대 가속도 응답은 0.22g까지 측정되었다. 그러나 실험 중 최대 가속도 응답은 115km/h로 주행한 6량의 무궁화호#6 열차 주행 시 경간의 중앙부에서 발생한 0.43g로 나타났다(Table 1).

연구대상 철도교량의 동특성을 분석을 위해 경간의 1/2, 1/4, 단부지점에서 연직방향 가속도 응답을 동시에 계측하였으며, FFT 분석을 통하여 실측 고유 진동수를 산출한 후 설계기준치와 비교하였으며, 변위응답의 증폭, 발산 등이 나타나지 않으며, 가속도 응답은 정상적인 감쇠가 일어나는 것으로 분석되었다(Fig. 4).

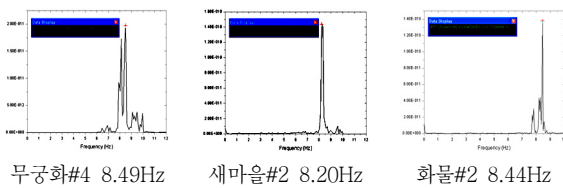


Fig. 4 열차별 고유진동수

교량 상판의 연직가속도는 과도한 응답이 발생시 도상의 교란 및 궤도틀림을 유발할 수 있어 주행안전성을 위해 반드시 검토되어야 하는 부분으로 설계기준 BRMD 및 CTRL 규정에서 제시한 0.35g를 초과하는 0.36g, 0.43g의 값이 무궁화호 열차 통과시 측정되었으나, 이 값들 제외하면 모든 측정값이 제한 값을 만족하는 것으로 나

타났다.(Table 1)

궤도안전성과 밀접한 관계를 가지고 있는 단부꺾임각은 설계기준에서 제시하고 있는 일반철도에 대한 제한값의 6%~12%에 포함되는 $0.37 \times 10^{-3} \sim 0.81 \times 10^{-3}$ rad으로 분석되었다. 실험대상 교량의 경간장은 25m이므로 이론적인 설계충격계수 $i(\%) = 24 + \{240 / (25 - 0.6)\} = 33.83$ (%), 따라서 이론적인 설계충격계수는 0.34이며, 실측 충격계수는 KTX#2의 주행 시 측정된 0.23이 최대 충격 계수로 분석되었다(Table 1).

4. 결론

PSC I형 지간 25m 단순철도교에 대해 열차주행으로 인한 동적사용성을 평가하였다. 교량의 고유진동수는 8Hz 대역으로 평가되어 철도교의 적정 범위 내로써 공진발생 가능성이 없는 것으로 나타났다. 가속도 응답은 설계기준 BRDM 및 CTRL 규정에서 제시한 0.35g(유도상 궤도의 경우)를 초과하는 0.36g, 0.43g의 값이 무궁화호 열차 통과 시 측정되어 실험대상 교량은 연직가속도에 대한 동적불안정성 상태에 놓여 있다고 판단된다. 단부꺾임각은 제한값의 6~12% 수준으로 분석되었고, 충격계수는 이론적인 설계충격계수의 67% 수준인 최대 0.23으로 분석되었으며, 최대 연직처짐은 화물열차#2 주행 시 발생된 2.53mm로 설계기준에서 주행속도에 따라 규정하고 있는 가장 엄격한 제한 값인 CTRL & BRDM의 $L/1600 = 14.1$ mm를 충분히 만족하고 있어 모두 동적안전성을 충분히 확보하고 있는 것으로 나타났다. 전체적으로 25m 지간을 갖는 PSC I형 단순 철도교의 경우 다양한 열차하중에 대하여 동적 안전성과 사용성을 부분적으로 확보하고 있었으나, 연직가속도 응답을 감소시킬 수 있는 대책이 수립되어야 한다.