

# 형식에 따른 고속철도 교량의 동적거동 문제와 해결방안

## Dynamic problem and solution of the various type of bridges for high-speed railway

곽종원† · 조정래\* · 진원중\* · 이정우\* · 김병석\*

J.W. Kwark, J.R. Cho, W.J. Chin, J.W. Lee and B.S. Kim

### 1. 서 론

한반도의 물류수송의 중심축은 반도의 중앙부에 위치한 서울을 중심으로 동남선인 경부축과 서남선인 호남축으로 구성된다. 고속으로 주행하는 고속철도는 안전한 운행과 승객의 승차감보장을 위해서 선형에 관한 조건이 매우 까다롭고 한반도의 70% 이상이 산악이므로 전체 노선의 많은 부분이 교량과 터널로 건설되어야 한다. 1990년대 초반부터 설계를 시작하여 2004년에 상용운전에 들어간 경부고속철도 노선의 약 30%가 교량으로 구성되어있으며, 2009년부터 본격적인 건설에 들어가는 호남고속철도는 상용속도가 300km/hr인 경부고속철도보다 빠른 350km/hr의 주행속도를 갖도록 시공될 예정이다. 2004년에 완공된 경부고속철도는 서울부터 대구까지는 신설노선을 사용하고 이후부터 종착역인 부산까지는 기존의 재래선을 사용하고 있으며 2002년에 시작하여 2010년에 완공을 목표로 2단계 공사가 현재 진행중에 있는데 이는 고속철도 전용노선으로 한국의 주요 관광지인 경주지역을 경유하는 노선이다. 서남물류축인 호남고속철도는 한국의 국토 중앙부에 위치한 오성정차장에서 경부고속철도로부터 분기되어 목포시까지 건설되는 고속철도 전용노선이다.

경부고속철도 1단계 건설을 위한 설계단계의 초기에는 prestressed concrete beam교, T-beam교, preflex교, 슬래브교, PSC box-girder교, 라멘교 등 매우 다양한 형식의 콘크리트교량과 일부 강합성교량이 검토되었으나, 고속열차의 주행에 의한 교량의 동적안정성 검토를 통해서 역사부에는 라멘교량, 일반구간에는 단일박스형 PSC box-girder교량 그리고 고속도로 횡단구간 등 일부 특별한 구간에 2주형 강재 I-거더 교량 또는 강아치교량으로 설계되었다. 1990년대 중반이후에 고속주행하는 열차에 의한 교량의 공진을 포함한 동적안정성 문제에 관한 활발한 연구와 검토가 수행되

었으며 이후에 설계된 호남고속철도 노선에 적용되는 교량은 기존의 경부고속철도노선에 비하여 다양한 형식의 교량이 설계되었다. 지금까지 한국에서는 고속철도 노선에 적용하는 교량은 PSC box-girder 교량을 표준형식으로 적용하였으나 호남고속철도의 신설노선에는 설계경쟁에 의한 건설사 선정을 통해서 다양한 형식의 교량을 적용하려는 시도가 이루어졌다. 이러한 새로운 형식은 기존의 철도교량과 도로교량에는 널리 적용하였던 형식과 차이를 갖고 있으나 동적안정성 검토가 매우 중요한 고속철도노선에 적용하기 위해서는 이에 대한 보다 면밀한 검토가 필수적이다.

호남고속철도 신설노선의 설계에 적용된 교량으로는 강아치교, 강박스거더교, 강사재교, 단경간 PSC box-girder교이 주류를 이루고 있다. 매우 많은 교량이 설계되었으나 언급된 대표적인 교량형식으로 총 12개 교량을 중요도에 따라 선정하고 이에 대한 동적안정성을 검토하고 문제가 되는 교량에 대해서는 그 해결책을 제시하였다. 교량의 형식이란 교량의 단면형상, 적용재료, 연속시간장 등을 대상으로 한다.

### 2. 본 론

#### 2.1 동적안정성 검토 대상교량

동적안정성검토는 총 12개의 교량에 대해서 수행하였으며 각 형식의 따른 거동을 적절히 모사할 수 있도록 수치모델링하고 감쇠비를 사용하여 광범위한 이동하중 해석을 수행하였다. 대표적인 교량으로는 총 335m(7@40m+55m)의 경간을 갖고 3개의 변단면 강박스로 구성된 5경간 연속 강박스거더교(CSB), 지간이 130m인 단경간 하로 아치교(SA3), 35m 지간을 갖는 단경간 PSC박스거더교(PB), 3개의 강박스로 구성된 40m 지간의 단경간 박스거더교(SB) 등이 있다. 대상교량이 콘크리트인 경우에는 1%, 강교 또는 강합성인 경우는 0.5%의 감쇠비를 적용하였다.

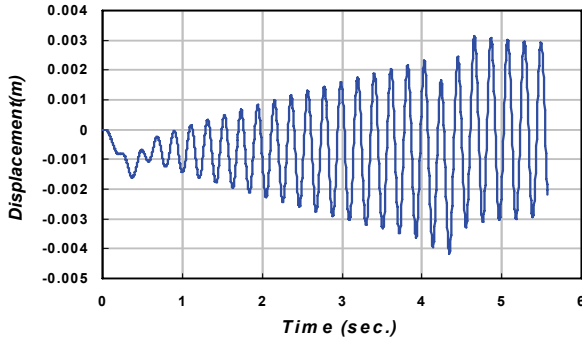
#### 2.2 해석 결과

동적거동 검토를 위해서 교량의 고유치 해석을 통한 고유진동수해석과 25 km/hr 간격으로 최고속도 425 km/hr까지 이동하중해석을 통한 가속도, 처짐, 면틀림을 조사하였다. 응답을 분석한 결과 대부분의 교량은 고속열차의 주행을 위

† 교신저자; 한국건설기술연구원  
E-mail : origilon@kict.re.kr  
Tel : (031) 910-0575, Fax : (031) 910-0121

\* 한국건설기술연구원

한 동적안정성을 만족시키나, 일부 교량에서는 응답이 설계 제한치를 상회하거나 매우 큰 값을 보여 주기도 하였다. 이 밖에도 고유모드와 공진에 의한 응답증가 현상분석과 연속 교의 경우 시간에 따른 응답의 변화와 응답이 크게 발생하는 교량의 응답저감을 위한 방안 등을 제시하였다. 그림 2.1은 대표적인 고속열차의 주행에 의한 교량의 응답을 도시하고 있다.



<그림 2.1> 고속철도 주행에 의한 공진시 교량의 처짐

### 3. 결 론

다양한 형식의 12개 교량에 대한 고속열차의 주행 안정성 확보를 위한 교량의 이동하중 해석을 실시하고 결과를 분석하였다. 대상교량은 공진소멸 시간장을 고려하여 동적응답이 크게 발생할 가능성이 큰 교량과 경관 설계를 실시한 주요 교량을 중심으로 선정하였다. 해석에 사용된 각종 변수는 각 교량의 형식과 동특성을 고려하였다.

- (1) 호남고속철도 기본설계(안)에 반영되어 있는 경관설계 교량인 강아치교와 강사재교의 경우에는 처짐, 가속도, 궤도 면틀림 등에서 열차 고속주행의 안정성 확보가 가능한 수준의 응답을 보였다.
- (2) 35m 단경간 PSC 박스 거더 교량의 경우에는 공진에 의한 응답이 크게 발생할 것으로 예상되는 37m 시간장에 인접하여 가속도 응답이 비교적 크게 나타났으나 제한치를 만족하여 고속열차의 주행 안전성은 확보된다고 판단되며 이러한 응답은 시간장 조정, 교량의 연속화, 바닥판의 두께 증가 등을 통해서 개선할 수 있을 것으로 사료된다.
- (3) 일반적으로 첫 번째 휨 모드가 반(half) 사인곡선인 경우에는 교량의 중앙부에서 공진에 의해 최대응답이 발생하나, 시간장이 길고 유연한 교량의 경우에는 첫 번째 휨 모드가 온(full) 사인곡선 형상을 갖게 되므로 첫 번째 휨 모드 고유진동수에서 공진이 발생하지 않으므로 공진속도 산정시 교량의 고유모드를 파악한 후 분석해야 한다.
- (4) 강박스 단경간 교량의 경우에 가속도 응답이 제한치를 상회하는 값을 보이고 교량의 휨모드에 의한 공진 뿐 아니라 비틀림모드에 의한 공진도 발생하므로 강박스거더 교량은 단경간이 아닌 연속교로 설계하거나 공진에 의한 응답의 확

대가 크게 발생하지 않도록 하는 대책이 요구된다.

(5) 향후 보다 정밀한 동적 해석을 위해 교량-차량 상호작용을 고려한 이동하중 해석 프로그램 개발과 함께 다양한 동적 해석 기법에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

<표 3.1> 대상교량의 이동하중 해석결과 정리

공구	교량명	시간장 (m)	교량형식	최대응답					
				처짐		가속도		면틀림	
				값 (mm)	비*) (%)	값 (m/sec <sup>2</sup> )	비*) (%)	값 (mm/3m)	비*) (%)
1	SA1	80	강아치	7.0	14.8	2.3	46.0	0.12	0.0
	SA2	120	강아치	5.8	5.8	1.1	22.0	0.12	0.0
	SB	(4@70+55)	변단면 강박스	11.6	39.7	3.0	60.0	0.13	0.0
2	SA3	130	강아치	11.0	10.2	2.2	44.0	0.18	0.0
	ST	80	강트러스	9.4	20.0	3.0	60.0	0.10	0.0
3	SD1	60	강사재	4.6	19.2	2.7	54.0	0.05	0.0
	SD2	75	강사재	3.9	13.5	2.1	42.0	0.05	0.0
4	SA4	70	강아치	5.1	13.1	3.7	74.0	0.11	0.0
	SA5	90	강아치	7.5	13.3	2.6	52.0	0.09	0.0
	SA6	80	강아치	7.3	17.8	3.1	62.0	0.14	0.0
5	PB	35	PSC 박스	5.2	18.0	4.5	90.0	0.09	0.0
	SDA	80	강더블아치	5.5	11.7	3.2	64.0	0.13	0.0

\*) 제한치에 대한 비율