

# 고속철도 PSC 박스거더의 종방향 신축변위 장기거동분석

## Longitudinal Displacement Analysis for Express Railway PSC Box-Girder Bridges

임명제\*  
Yim, Myoung-Jae

최일윤\*\*  
Choi, Il-Yoon

이준식\*\*\*  
Lee, Jun S

이현식\*  
Lee, Hyun-Suk

---

### ABSTRACT

High-speed railway bridges subject to effect of statical loads by temperature change as well as dynamic loads by interaction between vehicle load which run specially fast and behavior of bridges. If suitable Longitudinal expansion by temperature change of bridge does not happened, it can cause unhealthy condition for the parts of bridges as well as can generate addition stress to bridges. For these reason, Analysis and Estimation of data about behavior of bridges occupies important factor in that estimate the remaining life of bridges and select the maintenance, repair and retrofit. In this paper, Analysis for the long-term behavior of bridges using Longitudinal displacement and Temperature data that is actuality measured data to the bridges of Seoul-Busan high speed railroad test section has been made.

---

### 1. 서론

고속철도구조물의 안정성 확보와 효율적인 유지관리를 목적으로 구조물의 거동 특성 자료를 확보하기 위해서 경부고속철도 시험선 구간의 교량, 터널 및 대성토 구간의 노반구조물에 대해서 구조물별로 계측항목을 설정하여 상시계측 모니터링시스템을 설치·운영 중에 있다. 이 중에서 교량 구조물은 상부구조의 대표적 구조형식이라 할 수 있는 총길이 80m의 2경간 연속(2@40m)과 총길이 75m의 3경간 연속(3@25m) 형식의 PSC 박스 거더에 대해서 진동가속도, 수직처짐, 상하부 변위, 온도 및 종방향 변위 등에 대한 계측모니터링이 이루어지고 있다. 특히, 교량구조물 계측항목 중에서 단기계측항목으로 KTX 운행에 따른 동적하중에 대한 구조물 거동뿐만 아니라 일일 또는 연중 온도변화에 따라서 계측값이 결정되는 장기계측항목으로써 종방향 신축 변위량이 있다. 종방향 변위량의 계측은 적절한 신축변위가 발생하지 않는 경우, 박스거더에 추가응력의 발생뿐만 아니라 도상구조물과 부속 구조물에 나쁜 영향을 미칠 수 있으므로 중요한 계측항목이라 할 수 있다.

본 연구에서는 2경간(2@40=80m)과 3경간(3@25=75m) 연속 PSC 박스 거더의 종방향 신축 변위량에 대해서 PSC 박스거더 측면에 설치된 외부온도계를 통해 얻어진 일일 온도변화량 및 연간 온도변화량의 데이터와 교각부에 설치되어 상부 박스거더의 변위를 계측하는 종방향 변위계를 통해 얻어진 종방향 신축 변위량의 데이터를 이용하여 온도변화에 따른 종방향 신축변위의 실제 계측값과 교량구조물에 대해서 상기의 동일한 온도변화량에 따른 종방향 신축 변위량을 여러 조건을 고려한 유한요소 구조해석을 수행하여 얻어진 구조 해석치와 비교 및 분석을 수행하여, 종방향 변위에 영향을 미치는 요소를 알아보고자 한다.

---

\* 한국철도기술연구원 연구원, 비회원

\*\* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

\*\*\* 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

## 2. 계측대상교량

고속철도 PSC 박스거더의 종방향 변위 계측데이터 확보를 위한 대상교량은 경부고속철도 시험선 구간의 2경간 연속교인 연제교(2@40=80m)와 3경간 연속교인 오송정차장(3@25=75m)을 선정하였으며, 종방향 변위계는 상부구조물인 Box Girder의 일일 및 계절적 온도변화의 특성을 충분히 반영할 수 있도록 기준점으로써 교각 상부의 고정지점에 대해서 Box Girder의 종방향 변위량을 측정할 수 있도록 교축방향으로 설치되었다. 온도계는 종방향 변위계가 설치된 지점에 Box Girder 외부에 설치하여 대기중의 온도를 측정하도록 설치되어있다. 연제교와 오송정차장의 종방향 변위계의 설치 위치는 그림 1과 2에 나타내었다.

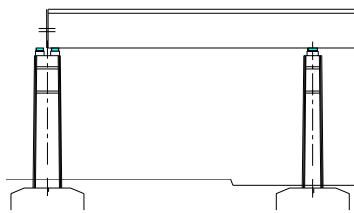


그림1. 연제교(2@40m, PSC박스거더)

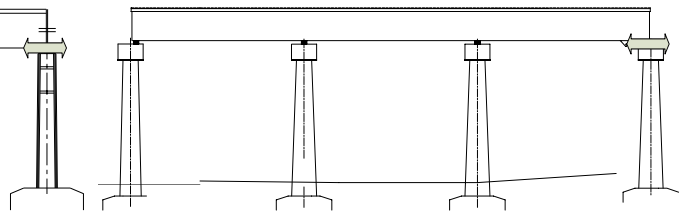


그림2. 오송정차장(3@25m, 2Cell-PSC박스거더)

## 3. PSC 박스거더교의 거동 분석

### 3.1 일일 종방향 변위량

종방향 변위계와 온도계를 통해서 계측된 데이터를 바탕으로 PSC 박스거더의 종방향 변위 및 온도의 일일 변화량에 대해서 대기온도 변화량이 크게 나타나는 하절기(7월초)와 동절기(11월말)로 나누어서 분석을 실시하였다. 또한 온도계가 외부에 설치되어 있으므로, 외부온도가 박스 거더 및 내부로 전달되는 시간을 고려하여 1시간 이동평균 온도값을 분석에 사용하였으며, 표 1과 2는 연제교와 오송정차장 PSC 박스 거더교의 일일 종방향 변위량과 온도변화량을 나타내었다.

표1. 일일 종방향 변위량 및 온도변화량(연제교)

날짜	종방향 변위량(mm)			온도변화(DEG)		
	최소값	최대값	변동폭	최소값	최대값	변동폭
2003.07.01	32.32	32.87	0.55	19.12(19.29)	22.6(22.32)	3.48(3.03)
2003.11.29	77.89	78.25	0.36	6.21(6.23)	10.32(10.09)	4.11(3.86)

표2. 일일 종방향 변위량 및 온도변화량(오송정차장)

날짜	종방향 변위량(mm)			온도변화(DEG)		
	최소값	최대값	변동폭	최소값	최대값	변동폭
2003.07.01	-10.17	-9.59	0.58	21.16(21.34)	24.28(24.11)	3.12(2.77)
2003.11.29	-1.26	-1.08	0.18	7.18(7.21)	9.28(9.07)	2.1(1.86)

※ 위의 표에서 ( )는 1시간 이동평균치를 의미함

### 3.2 장기간 종방향 변위량

PSC 박스 거더의 계절적 요인에 따른 연간 온도변화에 따른 종방향 변위량에 대해서 분석을 실시하였다. 시험선 구간에 설치된 계측센서의 이상작동과 보수 작업등으로 인해서 데이터에서 큰 폭의 변화가 발생된 경우가 발생하여, 비교적 안정적인 데이터가 수집된 기간의 계측치만을 이용하여 분석을 실시하였다. 연제교의 경우, 동계(1월)에서 하계(8월)까지 안정적인 계측이 이루어진 반면에 오송정차장의 경우에는 봄(4월)에서 하계(8월)까지의 계측치를 이용하여 분석을 실시하였다.

표 3. 장기간 종방향 변위량 및 온도변화량(연제교)

기간	종방향 변위량(mm)			온도변화(DEG)		
	최소값	최대값	변동폭	최소값	최대값	변동폭
2003.01.01 ~2003.08.02	22.75	33.07	10.32	-13.02	24.66	37.68

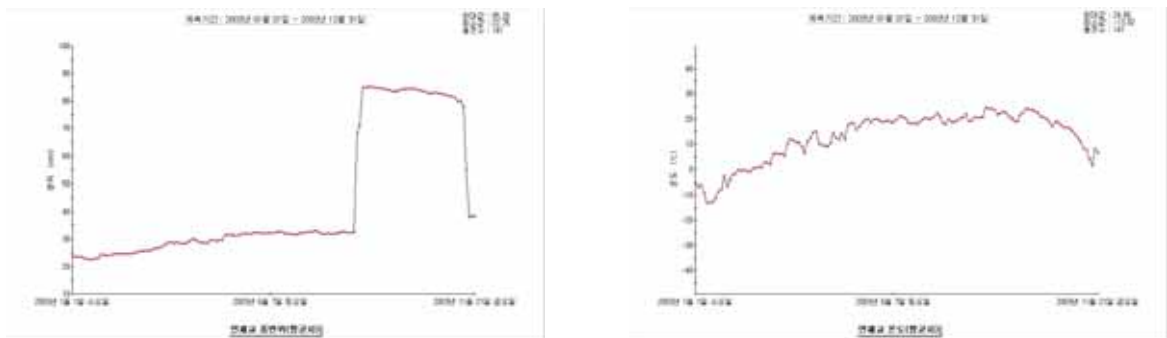


그림 3. 장기분석 종방향 변위량과 온도변화(연제교)

표 4. 장기간 종방향 변위량 및 온도변화량(오송정차장)

구분	종방향 변위량(mm)			온도변화(°C)		
	최소값	최대값	변동폭	최소값	최대값	변동폭
2003.04.22 ~2003.07.06	-9.85	-5.95	5.43 (3.9+1.53)	26.37	11.12	15.25
2003.07.08 이후	-13.44	-11.91				

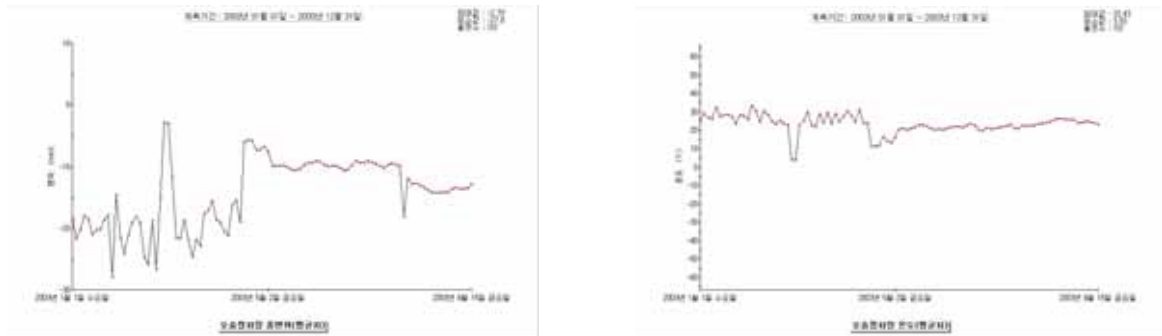


그림 4. 장기간 종방향 변위량과 온도변화(오송정차장)

#### 4. 해석적인 거동 분석

##### 4.1 구조해석 모델링

PSC 박스거더에서 온도변화가 종방향 변위에 반영되는 정도를 실제 계측치와 비교하기 위해서 유한요소 구조해석을 수행하였다. 구조해석을 수행하기 위해서 박스 거더 단면 및 교각, Coping 부분을 하나의 Frame 요소로 사용하여 실제 구조물의 거동에 가장 유사하게 그림 5와 같이 연제교(2경간 연속교)와 오송정차장(3경간 연속교)에 대해서 모델링하였으며, 범용 유한요소 해석 프로그램인 SAP2000 Nonlinear를 이용하여 구조해석을 수행하였다. 구조해석에 이용한 온도변화량은 일일 및 연간 변화량의 실제 계측치와 1시간 이동 평균값을 수치해석에 적용하였다.

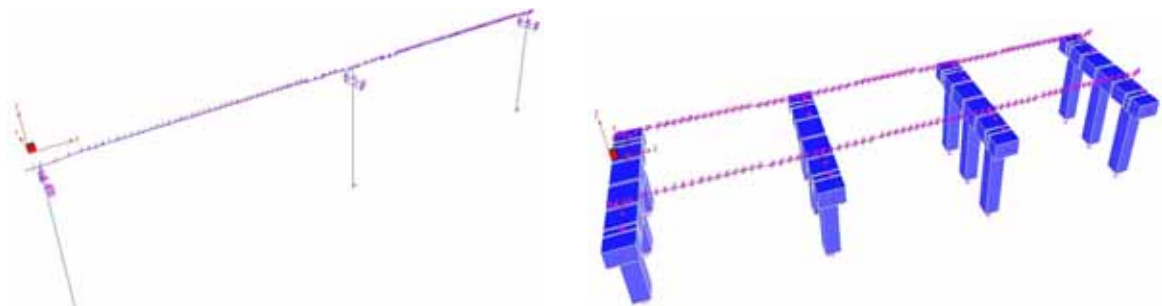


그림5. 연제교와 오송정차장의 구조해석 모델링

PSC 박스거더의 종방향 변위량에 대해서 실제 구조물의 거동을 좀더 유사하게 하기 위해서 다음과 같은 조건을 고려하여 구조해석을 수행하였다. 아래의 조건은 극한조건의 상황을 인위적으로 구성하여 고려하였다.

- Case I. 탄성받침(600×1000×7(12+3))의 수평강성(Kh=(A·G)/nt\_R)에 따른 변위량을 고려  
 Case II. 도상구조물(자갈, 레일, 침목 등)과 박스거더 상부와의 마찰을 고려(마찰저항계수(μ)는 0.3으로 가정).  
 Case III. 도상 구조물과 박스 거더와의 탄성강도의 차이를 해석모델에 적용하였으며, 도상구조물의 탄성강도계수(E)는 1500kgf/cm<sup>2</sup>, 박스 구조물의 양단에 스프링 요소로 해석 모델에 적용.

#### 4.2 구조해석 결과

표 5와 표6은 연제교와 오송정차장에 대해서 일일 온도변화량 및 장기간 온도변화량에 대한 종방향 변위량에 대해서 구조해석치와 계측치를 나타내었다. 연제교는 일일 온도 변화량의 1시간 이동평균값이 3.03℃ 및 3.86℃인 경우에, 수치해석치는 각각 0.974mm와 1.294mm로써 계측치 0.55mm 및 0.36mm 보다 큰 값을 보였으며, 장기간 온도변화(37℃)에 따른 종방향 변위값은 계측치가 10.32mm로써 수치해석에 의한 종방향 변위 14.04mm의 약 74%의 값으로 나타났다.

오송정차장의 경우에는 일일 온도 변화량의 1시간 이동평균값이 2.77℃ 및 1.86℃인 경우, 수치해석결과는 연제교에서와 같이 각각 0.869mm와 0.553mm로써 계측치 0.58mm 및 0.18mm 보다 큰 값을 이고 있으며, 봄(4월)과 여름(8월) 동안의 일정기간 온도변화(15.25℃)에 따른 종방향 변위값은 계측치는 5.43mm로써 수치해석에 의한 종방향 변위 5.198mm의 약 104%의 값으로 계측되었다.

표 5. 일일 종방향 변위량

구분			해석결과(mm)		상대변위(mm) (1) - (2)	계측결과 (mm)
			상부구조변위(1)	교각상부변위(2)		
연제교	3.48℃ (3.03)	Case I	1.362 (1.186)	2.23E-02 (1.94E-02)	1.340 (1.167)	0.55
		Case II	1.166 (0.990)	1.89E-02 (1.60E-02)	1.147 (0.974)	
		Case III	1.357 (1.181)	2.22E-02 (1.94E-02)	1.335 (1.162)	
	4.11℃ (3.86)	Case I	1.609 (1.511)	2.64E-02 (2.48E-02)	1.583 (1.486)	0.36
		Case II	1.413 (1.315)	2.30E-02 (2.14E-02)	1.390 (1.294)	
		Case III	1.602 (1.505)	2.63E-02 (2.47E-02)	1.576 (1.480)	
오송 정차장	3.12℃ (2.77)	Case I	1.362 (1.186)	2.23E-02 (1.94E-02)	1.340 (1.167)	0.58
		Case II	1.067 (0.936)	7.62E-02 (6.68E-02)	0.991 (0.869)	
		Case III	1.357 (1.181)	2.22E-02 (1.94E-02)	1.335 (1.162)	
	2.10℃ (1.86)	Case I	1.609 (1.511)	2.64E-02 (2.48E-02)	1.583 (1.486)	0.18
		Case II	0.686 (0.596)	4.90E-02 (4.26E-02)	0.637 (0.553)	
		Case III	1.602 (1.505)	2.63E-02 (2.47E-02)	1.576 (1.480)	

※ 위의 표에서 ( )는 1시간 이동평균치를 의미함

표 6. 장기간 종방향 변위량

구분	해석결과(mm)		상대변위(mm) (1) - (2)	계측결과 (mm)	
	상부구조변위(1)	교각상부변위(2)			
연계교 (37℃)	Case I	14.483	0.247	14.236	10.32
	Case II	14.287	0.244	14.043	
	Case III	14.424	0.246	14.178	
오송정차장 (15.25℃)	Case I	5.697	0.407	5.290	5.43
	Case II	5.598	0.400	5.198	
	Case III	5.645	0.403	5.242	

※ 위의 표에서 ( )는 1시간 이동평균치를 의미함

PSC 박스거더의 온도변화에 따른 일일 종방향 변위 계측치는 연계교에서는 수치해석에 의한 예상치의 28%와 56% 정도의 수준에 불과하였으며, 겨울과 여름사이의 종방향 변위의 변동폭은 해석치의 74%수준으로 계측되어 해석치에 다소 근접하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 오송정차장에서는 일일 종방향 변위 계측치는 구조해석 예상치의 33%와 65%의 수준에 불과하였으나, 봄(4월)과 여름(8월)사이의 종방향 변위의 변동폭은 해석치의 104%수준으로 계측되어 해석치에 매우 근접하게 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

## 5. 결 론

이상과 같이 본 연구에서는 고속철도 PSC 박스거더 교량(연계교와 오송정차장)의 종방향 변위 및 온도변화에 대한 상시계측자료를 이용하여 일일 및 연간 온도변화량에 대한 상부구조물의 종방향 변위 변화량에 대해서 여러 가지 조건을 고려한 유한요소 구조해석을 통한 수치해석 결과와 비교·검토를 실시하였다. 분석 결과, 일일 변화량은 계측치와 해석치에서 다소 차이를 보이고 있으나, 장기간의 변화량에 따르면 해석치와 계측치가 매우 근접하게 나타나는 것을 알 수 있다.

해석치와 계측치가 차이를 보이는 것은 PSC 박스 자체의 온도 산정의 오차와 수치해석과정에서 해석조건과 모델링에 따른 편차 등에 의한 것으로 판단되며, 무엇보다 종방향 변위에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 구조해석 결과와의 비교에서 보듯이 온도변화에 적절한 적용 방법으로 판단된다. 또한 도상구조물과 교량구조물의 온도변화에 따른 상대적인 변화량에 따른 저항의 차이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 고속철도교량의 안전성 확보와 적절한 유지관리안의 마련을 위해서 기존의 자료를 바탕으로 하여 장기간에 걸친 계측 자료의 축적 및 분석을 수행하는 더 많은 연구가 필요할 것이다.

## 6. 참고문헌

1. 李俊錫, 崔一允 등(1998~2000), 고속철도 선로구축물 성능확보를 위한 구조물 계측 및 평가시스템 개발, 연구보고서, 한국철도기술연구원
2. 李俊錫, 崔一允 등(2003), 시험선 구간 안전계측설비 상시계측 보고서, 한국철도기술연구원
3. 李俊錫, 崔一允 등(2003), 수동계측·안전계측 설비 점검 보고서, 한국철도기술연구원
4. 박찬민, 김정학, 박종철, 이정환 (2003), 서해대교 PSC 박스거더 구간의 계측결과 분석, 고속도로 Vol 66, pp.62-75)