

지진하중을 고려한 장대레일교량의 궤도-교량 상호작용에 대한 안전성 평가

심윤보¹, 김연태², 김상철^{3*}

Safety Evaluation on Interaction between Track and Bridge in Continuous Welded Railway Bridge Considering Seismic Load

Yoon-Bo, Shim¹, Yun-Tae, Kim², Sang-Chel, Kim^{3*}

Abstract: To observe the rail-slab interaction in continuous welded railway(CWR) bridge when earthquake occurs, additional axial rail stresses and relative longitudinal displacements between rail and bridge deck were calculated with input of various load combinations and 3 different types of seismic loads to an analytical model. As results of analysis, it can be found that standard response spectrum proposed by Korea Rail(KR) network authority for earthquake design showed less additional axial rail stresses than allowable levels, but greater relative longitudinal displacement between rail and bridge deck, which means that adjustment of relative longitudinal displacement within a standard level is much more difficult than axial train stress. Additionally, if a large-scaled earthquake as occurred at Kobe, Japan comes up, then both of additional axial rail stress and relative displacement in rail-bridge deck may exceed allowable levels, which indicates to make proper design guides against sudden earthquake occurrence.

Keywords: Continuous welded railway(CWR) bridge, Seismic load, Additional axial rail stress, Relative displacement in rail-bridge deck

1. 서 론

장대레일은 기존 레일에 비해 레일을 연속적으로 용접하므로 이음매 충격이 완화되어 승차감이 좋고, 열차진동이 미미하여 열차의 주행성 향상뿐만 아니라 궤도 유지관리에 유리한 장점이 있기 때문에 근래에 들어 철도교량의 대부분을 장대레일교량으로 시공하고 있다(Lee, 2006; Lee et al., 2007). 일반적으로 토공구간에 부설되어 있는 장대레일의 경우는 전구간에 걸쳐 구속되어 있기 때문에 종방향 변위를 발생시키지 않는 만큼 레일 내부에 응력이 발생된다. 그러나 장대레일이 부설된 교량은 지반에 고정되어 있는 경우와 달리 구조물에 실리는 외력이나 온도하중으로 인해 교량상판이 응력과 변위를 유발하게 되고, 그 영향이 교량 위에 부설되어 있는 장대레일에 전달되어 결과적으로 궤도 또는 교량 지지점에 부가적으로 작용하게 된다(Yun et al., 2012; Kim, 2013). 이와 관련하여 한국철도시설공단에서는 KR C-08080에 궤도-교량 종방향 상호작용 해석방법을 제시하고 있지만, 하중조건으로

온도하중, 시/제동하중, 열차수직하중만을 제시하고 있다(KR, 2014). 최근 불의 고리라고 불리는 환태평양 조산대에 위치한 지역들의 지각변동이 심상치 않은 상황에서 국내 또한 지진으로부터 더 이상 안전지대가 아닌 만큼 제시된 기존 상시하중 외에도 지진하중을 포함시켜 발생하는 레일의 축방향 부가응력, 레일과 교량 상부구조 간의 종방향 상대변위, 교량상판 사이의 단차 등을 비교 분석하여, 기존 상시 하중 대비 지진하중이 장대레일교량에 미치는 영향을 보다 체계적으로 검토할 필요가 있다.

본 논문에서는 장대레일교량을 대상으로 지진하중으로 인해 레일에 발생하는 응력과 레일-상판 사이에 발생하는 상대변위 등을 분석함으로써 지진하중이 장대레일교량에 미치는 영향을 평가하고, 나아가 지진에 대비한 궤도-교량 상호작용 시방지침을 수립하기 위한 기본 자료에 활용하고자 한다.

2. 해석 대상의 제원과 모델링

2.1 대상 교량 및 제원

해석 대상이 되는 교량은 PSC 거더로 이루어진 3경간 장대레일교량으로써 인천~충주 철도건설 노반공사 제1공구에 설계된 장평교를 모델로 하였다. 각 경간은 25 m씩 단순보

¹정회원, 서울특별시 시설관리공단 주임

²정회원, 서울과학기술대학교 건설시스템공학과 교수

³정회원, 한서대학교 토목공학과 교수, 교신저자

*Corresponding author: schkim@hanseo.ac.kr

•본 논문에 대한 토의를 2016년 4월 1일까지 학회로 보내주시면 2016년 5월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

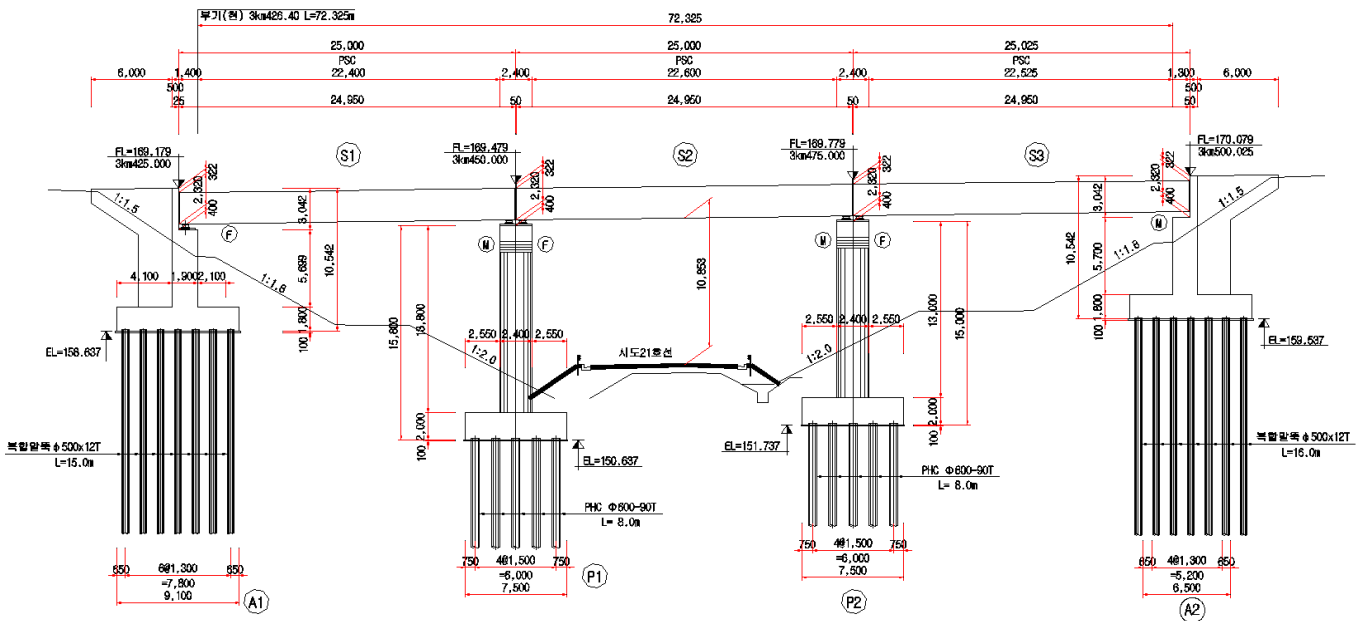


Fig. 1 Longitudinal section of the railway bridge

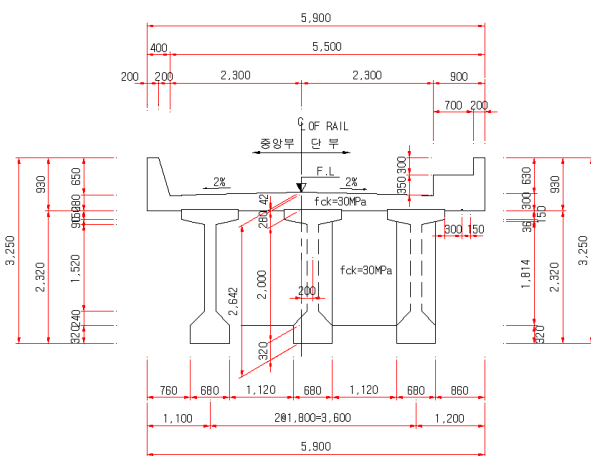
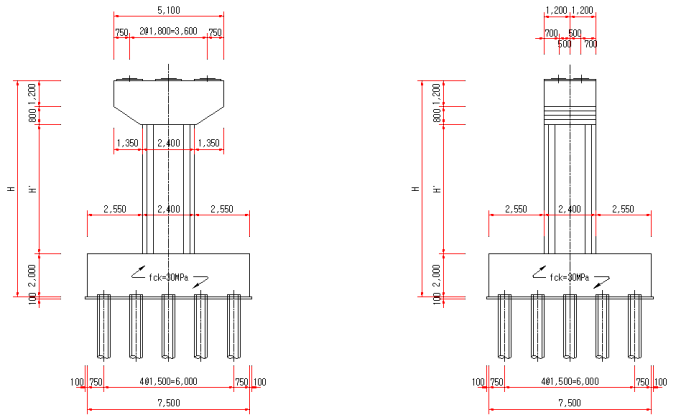


Fig. 2 Cross section of bridge deck



(a) Front view

(b) Side view

Fig. 3 Cross sections of pier

형태로 지지되어 있으며, 총연장은 75 m이다. 대상교량의 횡단면도와 교량상판, 교각의 단면은 각각 Figs. 1~3과 같으며, 교량 상판과 교각의 제원은 Table 1과 같다.

2.2 레일의 제원

사용된 레일은 UIC60 레일로서 국제철도연맹(Union International Chemine de fer)규격이며, 고속철도선로에 주로 사용되고 있다(UIC, 2001). 레일의 단면 제원은 Table 2와 같으며, 탄성계수 $E=210$ GPa, 푸아송비 $\nu=0.3$, 열팽창계수 $\alpha=1.14 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 이다. 열차 하나당 2개의 레일이 필요하므로 표에 제시된 값들은 원래 레일 제원의 2배가 적용되었다.

2.3 지진하중

본 연구에서는 3종류의 지진하중을 적용하였으며, 교량의 길이방향으로 재하하였다.

첫 번째 고려한 지진하중은 표준응답스펙트럼 함수로써 재현주기 1000년, 위험도계수 1.4, 지반계수 1.2, 지역계수 0.11, 감쇠비 5%에 스펙트럼 함수의 주기범위는 구조물의 고유주기를 모두 포함할 수 있는 30초를 주기로 하였다.

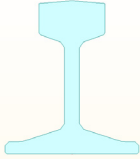
두 번째의 지진하중은 El-Centro 지진으로 최대가속도 0.3569 g에 54초가량 지속된 규모 6.9의 지진으로 통상적으로 내진해석을 할 때 많이 사용되는 지진기록을 채택하였으며,

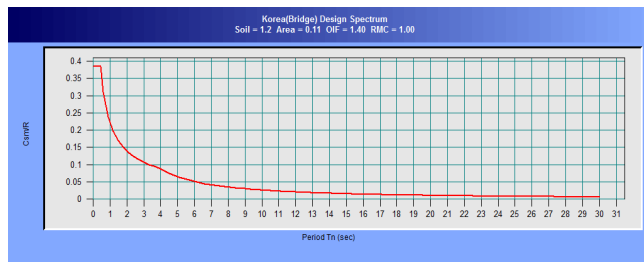
마지막으로 적용한 지진은 1995년에 발생한 고베 대지진으로 최대가속도 0.8281 g에 30초가량 지속된 지진이며, 많은 인

Table 1 Specification of bridge deck and pier

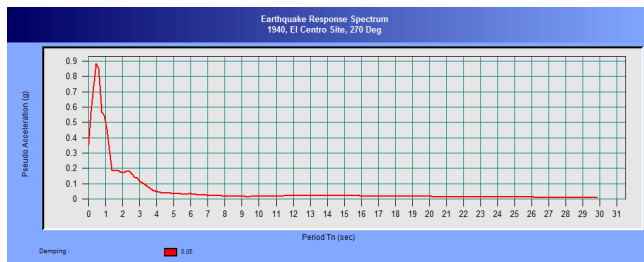
Items	Deck	Pier
Area, $A(m^2)$	4.756	4.524
Area moment of inertia, $I_{yy}(m^4)$	4.254	1.629
Area moment of inertia, $I_{zz}(m^4)$	13.990	1.629
Polar moment of inertia, $J(m^4)$	0.126	3.257
y-axial effective shear area, $A_{sy}(m^2)$	2.711	4.072
z-axial effective shear area, $A_{sz}(m^2)$	1.572	4.072
Elastic modulus, $E(MPa)$	3.00×10^4	2.75×10^4
Poisson's ratio, ν	0.2	0.2
Coeff. of thermal expansion, $\alpha(^{\circ}C)$	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}

Table 2 Specification of UIC60

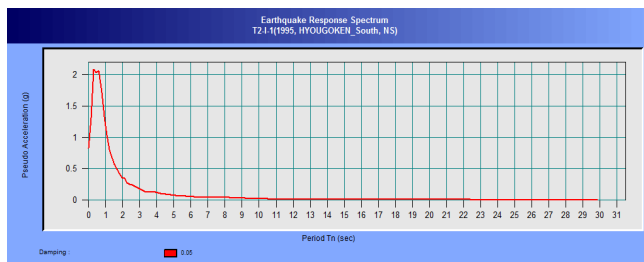
UIC60 rail	Specification	
	$A=1.534 \times 10^{-2} m^2$	$J=4.339 \times 10^{-6} m^3$
	$I_{yy}=6.073 \times 10^{-5} m^4$	$A_{sy}=6.472 \times 10^{-3} m^2$
	$I_{zz}=1.021 \times 10^{-5} m^4$	$A_{sz}=1.274 \times 10^{-2} m^2$



(a) Response spectrum of design earthquake(standard)



(b) Response spectrum of El-Centro earthquake



(c) Response spectrum of Kobe earthquake

Fig. 4 Earthquake response spectrum applied

명피해와 재산피해를 낸 규모 7.3의 강력한 지진이다. 우리나라와 지리적으로 근접한 일본에서 발생할 지진이기에 같은 규모의 지진이 한반도에 발생할 경우를 고려하여 적용하였다.

각 지진하중의 응답스펙트럼 함수는 Fig. 4와 같다(KMA, 2015).

2.4 모델링

철도교량의 종방향 상호작용 해석을 위해 레일부가응력과 레일-교량상판 종방향 상대변위를 통해 안전성을 평가하도록 하였다. 일반적으로 장대레일교량에서 레일은 토공부-교량부-토공부에 걸쳐 이어지게 되고, 교량부에서는 궤도-교량의 상호작용에 의해 부가적인 응력을 받게 된다(Han et al., 2012; Yun, 2012). 이러한 경계설정에 따른 오차를 최소화하기 위해 모델링 시 토공구간(embankment)을 고려하고 있으며, 본 연구에서는 인접 토공구간을 교량의 시점과 종점 전후로 하여 각 300 m씩 연장하는 것으로 모델링하였다.

상시에 있어서 레일부가응력 산정시 하중은 Table 4와 같이 온도하중, 시동하중, 제동하중, 열차수직하중 등 총 4가지 하중을 사용하며, 하중조합은 온도하중만 작용하는 경우, 온도하중+시동하중+수직하중의 경우, 온도하중+제동하중+수직하중의 경우로 총 3가지 하중조합을 이용한 8가지 경우에 대해 레일부가응력을 해석하였다. 또한, 교량상판 종방향 상대변위의 경우는 시동하중과 제동하중 2가지 하중을 사용하여 6가지 경우에 대해 검토하도록 하였다. 지진시에는 상시에서의 하중조합이외에 앞서 제시한 3종류의 지진하중을 적용하여 각 크기에 따른 레일부가응력과 교량상판 상대변위의 변화에 대해 검토하였다. Table 3 및 Fig. 5는 철도설계지침에서 제시한 각 하중별 크기와 적용길이를 나타낸 것이다(KR, 2014).

장대레일은 온도하중에 따른 궤도-교량간의 상호작용으로 축력의 영향을 받게 된다. 따라서 재하조건으로써 먼저 장대레일 축력기준(KR, 2014)에서 제시하고 있는 $\Delta T=25^{\circ}C$ 를 적용하여 온도하중에 의해 최대응력이 발생하는 위치를 파악하고 그 위치에 시동하중, 제동하중, 열차수직하중을 작용하도록 하였다.

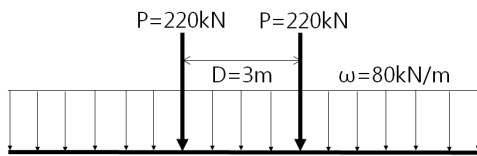
온도하중을 적용한 결과, Fig. 6에 나타난 바와 같이 토공부를 지나 교량이 시작하는 지점으로부터 5 m, 75 m에서 각각 레일의 최대 축방향 응력 13.7 MPa, -14.9 MPa이 나타났다.

Table 3 Traction/braking loads and the lengths

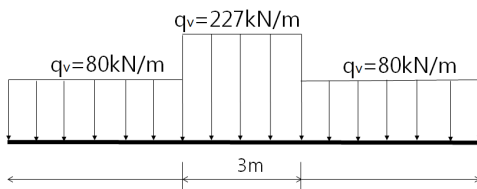
Loads	Magnitude of load	Applied length
Traction load	33 kN/m	less than 33 m
Braking load	20 kN/m	less than 400 m

Table 4 Allowable level for railway bridge in KR code(KR, 2014)

Case	Items	Loads	Allowable levels		
			Ballasted track	Concrete track	
CWR in both ends	Additional axial rail stress	Compression	Thermal load Traction/Braking load Train-vertical load	R ≥ 1500: 72 MPa R ≥ 700: 58 MPa R ≥ 600: 54 MPa R ≥ 300: 27 MPa	92 MPa
		Tension	Thermal load Traction/Braking load Train-vertical load	92 MPa	92 MPa
	Relative longitudinal displacement of rail-bridge deck	Traction/Braking load	≤ 4 mm		
CWR in both ends	Longitudinal displacement between bridge decks	Train-vertical load	<ul style="list-style-type: none"> • Considering bridge-track interaction : ≤ 8 mm • Not considering bridge-track interaction : ≤ 10 mm 	Check for the safety of track associated with rail's uplift and compression at fastening location	
	Vertical difference between bridge upper decks	Train-vertical load	<ul style="list-style-type: none"> • Less than train speed of 160 km/h ≤ 3 mm • Greater than train speed of 160 km/h ≤ 2 mm 		



(a) KRL-2012 load diagram



(b) KRL-2012 equivalent load diagram

Fig. 5 Train-vertical load(KRL-2012 load)

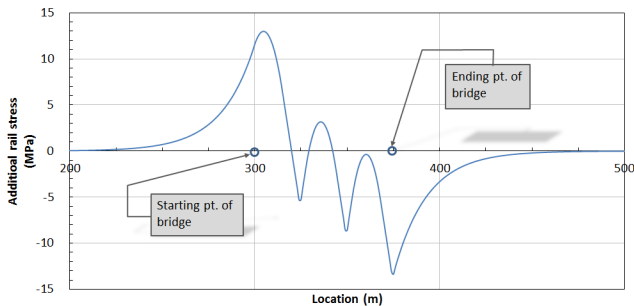


Fig. 6 Additional axial train stress due to thermal load

각각의 하중은 온도하중 상태에서 가장 큰 부재력이 발생했던 위치에 재하하여 하중조합에 의한 최대 부재력을 찾으려 하였다(Table 5와 6 참조).

3. 해석결과와 고찰

3.1 지진발생시 레일부가응력의 변화

대상교량에 대해 3종류의 지진하중과 상시의 하중조합별 경우의 수에 대해 얻어진 해석결과를 Figs. 7과 8에 나타내었으며, Table 7은 그 결과를 정리한 것이다

해석결과에서 나타난 바와 같이, 지진이 재하되지 않거나 내진설계기준으로 사용되고 있는 응답스펙트럼을 적용한 경우, 레일부가응력은 모든 경우에 대해서 Table 4에서 제시한 허용기준값 92 MPa를 넘지 않아 안전함을 확인할 수 있다. El-Centro와 같은 규모 6.9의 지진이 발생하였을 때에도 대체적으로 안전하지만, CASE 5의 경우에는 허용응력을 초과하는 것으로 나타났다. 고베 대지진과 같이 7.3 규모의 강력한 지진이 발생하였을 때에는 어떤 경우에도 레일부가응력이 허용기준을 크게 넘어서는 것을 알 수 있다.

위의 분석으로부터 대상 철도교량에 발생하는 레일부가응력은 국내 철도설계기준에서 제시한 제안 조건에 대해서 비교적 만족할 상태라 할 수 있지만, 리히터 규모 7 이상의 대지진이 발생하였을 때에는 안전함을 보장할 수 없으므로 이에 대한 대책이 필요한 것으로 나타났다.

3.2 지진발생시 교량상판 종방향 상대변위의 변화

대상 구조물에 다양한 지진하중 재하에 따른 레일-상판간의 상대변위를 나타내면 Figs. 9, 10과 같고, 그 결과를 요약 정리하면 Table 8과 같다.

Table 5 Load combinations for the calculation of stresses working on the rail(as usual)

LC	CASE	Load distribution	CASE	Load distribution
LC1 ¹⁾	CASE 1		CASE 2	
	CASE 3		CASE 4	
LC2 ²⁾	CASE 5		CASE 6	
	CASE 7		CASE 8	

1) LC1= thermal load(TL)+traction load(AL)+vertical load(VL)
 2) LC2=thermal load(TL)+braking load(BL)+vertical load(VL)

Table 6 Load cases for the calculation of relative transverse displacement along the bridge deck(as usual)

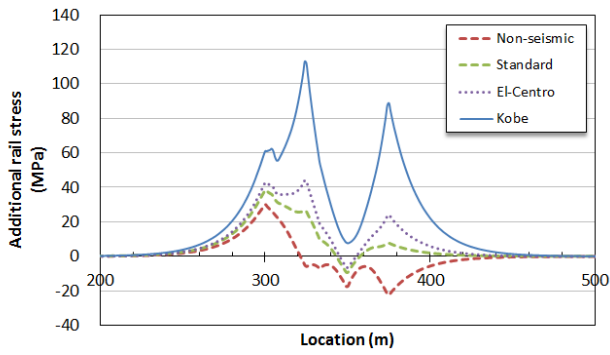
LC	CASE	Load distribution	CASE	Load distribution
LC3 ¹⁾	CASE 1		CASE 2	
	CASE 3		CASE 4	
LC4 ²⁾	CASE 5		CASE 6	

1) LC3= traction load(AL)
 2) LC4=braking load(BL)

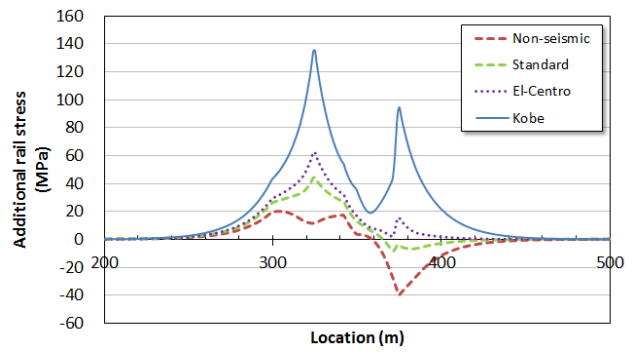
앞서 레일부가응력의 경우는 지진 비재하 뿐만 아니라 응답스펙트럼에서도 안전한 것으로 나타났지만, 레일-상관 상대변위에서는 지진이 재하되지 않은 경우에서만 Table 4의 허용기준(4 mm)을 만족함을 보였다. 내진설계기준에서 제시하는 응답스펙트럼 적용 시, CASE 2가 허용기준을 초과하였고, El-Centro와 같은 규모의 지진이 발생하였을 때에는 대부분의 경우에서 허용기준을 초과하였다. 또한, 고베 대지진과 같은 큰 규모의 지진이 발생하였을 때에는 레일부가응력과 마

찬가지로 모든 경우에 대해 허용기준을 크게 초과하는 것으로 나타났다. 이를 통해 철도시설공단에서 제시하고 있는 허용 레일-상관 상대변위값은 레일부가응력에 비해 보다 보수적임을 알 수 있으며, 리히터 규모 7 이상의 대지진 시에는 상대변위가 크게 발생함을 표를 통해 확인할 수 있다.

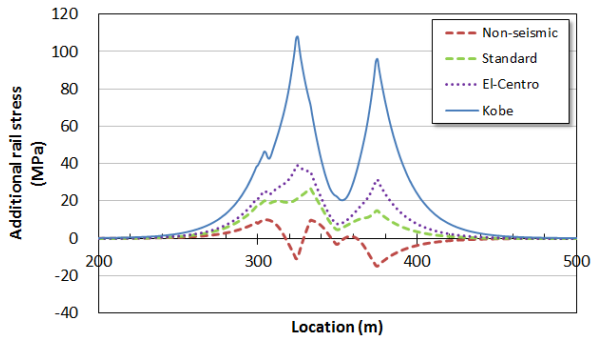
이상의 결과를 종합하면, 레일부가응력과 달리 레일-상관 간의 상대변위는 높은 리히터 규모의 지진은 물론이고, 현재 사용되고 있는 표준응답스펙트럼 조차도 공단에서 제시하고



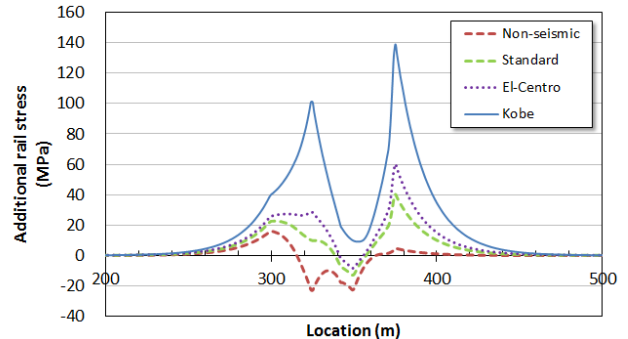
(a) CASE 1



(b) CASE 2

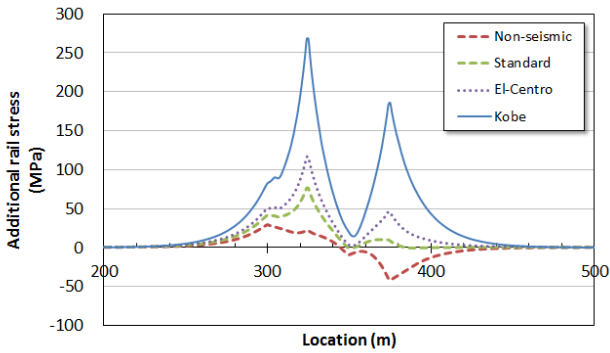


(c) CASE 3

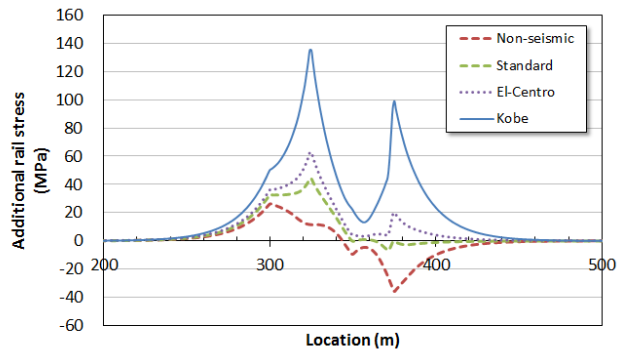


(d) CASE 4

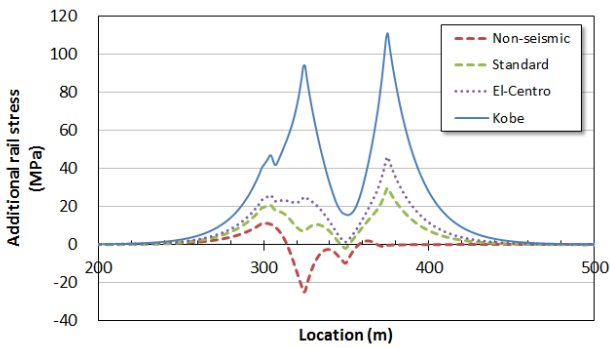
Fig. 7 Additional axial rail stresses for load combination LC1 along with each seismic load



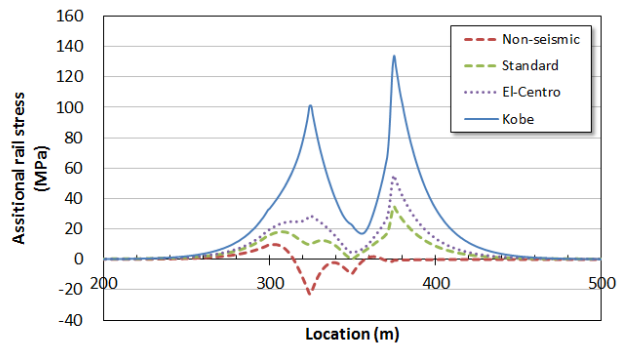
(a) CASE 5



(b) CASE 6



(c) CASE 7



(d) CASE 8

Fig. 8 Additional axial rail stresses for load combination LC2 along with each seismic load

Table 7 Summary of additional axial rail stresses for 8 cases when each earthquake occurs(units : MPa)

Cases	Non-seismic	Response spectrum	El-Centro	Kobe
CASE 1	30.0	38.6	44.3	113.0
CASE 2	20.0	44.0	62.6	135.0
CASE 3	12.2	27.9	41.1	110.0
CASE 4	15.9	40.1	60.4	139.0
CASE 5	29.2	77.0	116.0	268.0
CASE 6	26.1	43.9	62.5	135.0
CASE 7	12.3	29.6	46.0	111.0
CASE 8	11.2	34.8	55.1	134.0

Note: Shadowed values correspond to be in excess of allowable levels

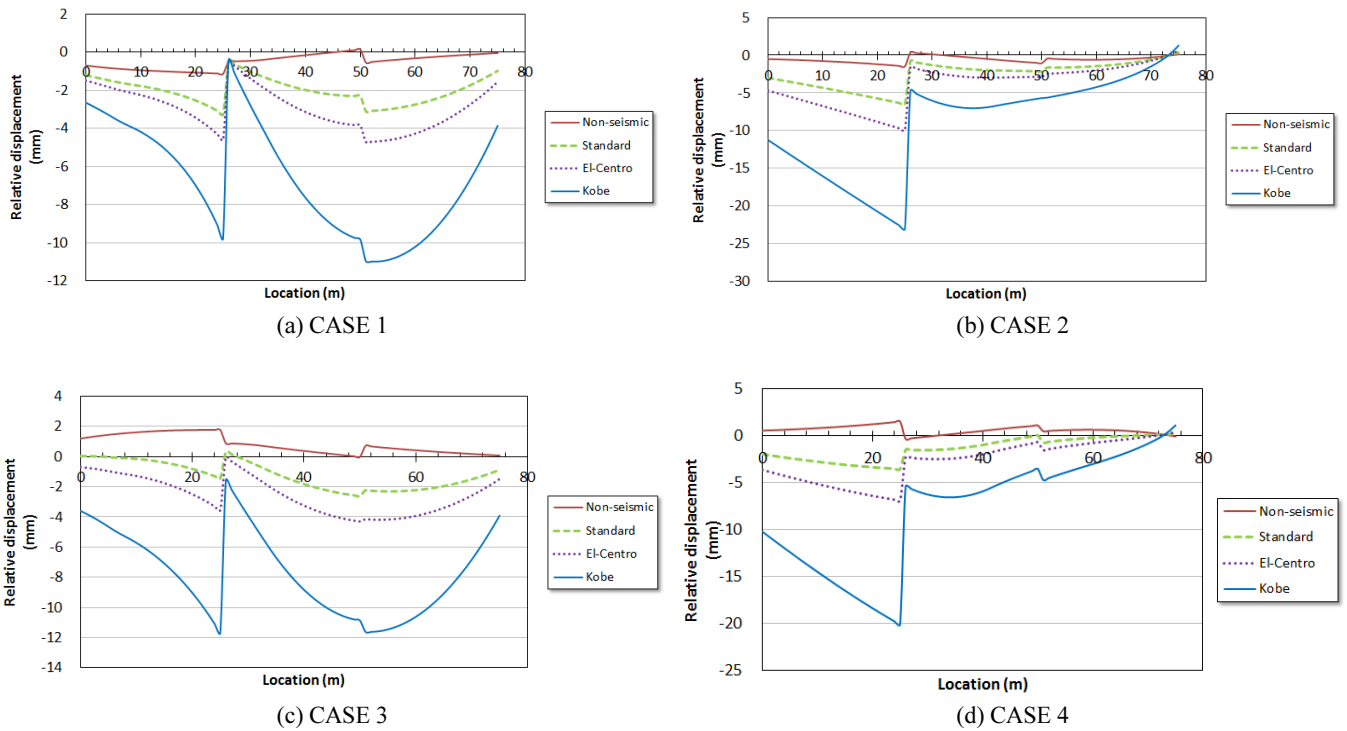


Fig. 9 Relative displacement between rail and bridge deck in CWR bridge subjected to traction and seismic loads

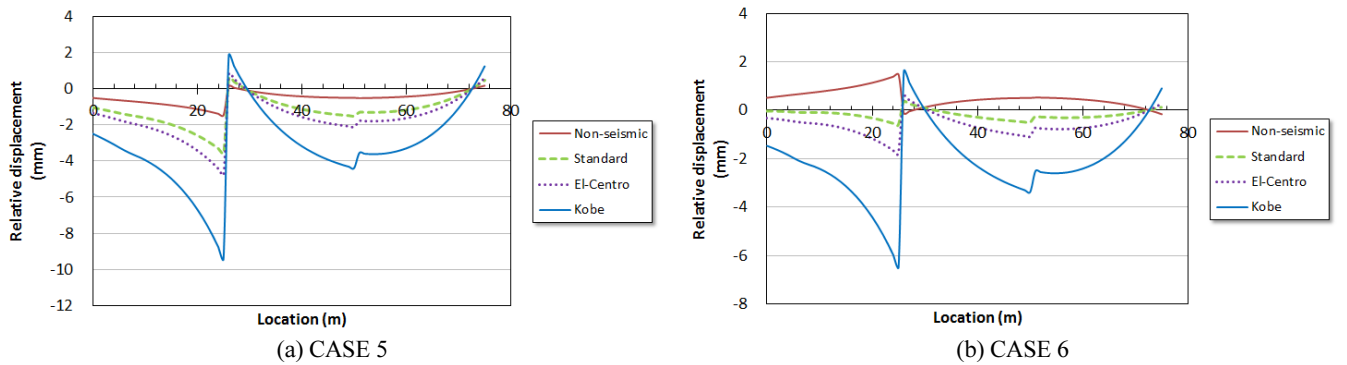


Fig. 10 Relative displacement between rail and bridge deck in CWR bridge subjected to braking and seismic loads

Table 8 Summary of relative displacement between rail and bridge deck according to earthquake magnitudes(units : mm)

Cases	Non-seismic	Response spectrum	El-Centro	Kobe
CASE 1	1.14	3.27	4.73	11.00
CASE 2	1.47	6.48	9.90	23.06
CASE 3	0.02	2.60	4.30	11.69
CASE 4	0.37	3.54	6.95	20.11
CASE 5	1.47	3.55	4.75	9.40
CASE 6	0.16	0.62	1.81	6.47

Note: Shadowed values correspond to be in excess of allowable levels

있는 기준값을 만족하지 않는 결과가 나타나고 있어 지진에 대해 불안전 상태인 것으로 해석되었다. 이는 장대레일 교량에 있어 지진에 대한 보다 적극적 대응 방안 구축이나 지진을 고려한 현 지침 기준의 보완책이 시급하다는 것을 의미한다.

두에서 허용기준을 만족시키지 못하므로 향후 장대레일 교량설계 시 이를 고려한 내진 대비가 필요하다.

4. 결 론

본 연구는 장대레일 철도교량에 지진하중이 작용할 경우 장대레일과 교량상판간의 상호작용에 따른 구조적 거동의 변화를 해석을 통해 검토하고자 하였다. 일반적인 철도교량 모델링 기법과 상시 및 지진시 하중 재하에 따른 레일부가응력과 레일-교량상판간의 상대변위를 구하고 현 철도시설공단에서 제시하고 있는 기준값과 비교한 결과, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 레일-상판 종방향 상호작용에 대한 구조적 거동 분석을 통하여 온도 및 열차하중에 의해 자유롭게 신축해야 할 레일이 교량상판에 구속됨으로써 교량 거동에 따른 레일부가응력과 레일-상판 상대변위의 변화를 여러 하중조합을 통해 평가하였으며, 상시의 경우에는 모두 허용기준 내에 포함되어 안전한 것으로 평가되었다.
- 2) 지진 대비 내진설계에서 사용하고 있는 표준응답스펙트럼을 적용할 경우, 레일부가응력은 허용기준 92 MPa 내의 값을 보이고 있으나, 레일-상판 상대변위는 철도시설공단에서 제시하는 허용기준 4 mm를 초과함을 보였다. 현재 사용되고 있는 철도설계기준에서는 납면진 교량받침을 사용할 경우 단기하중-변위곡선 적용을 제안하고 있지만, 이외에도 지진 안전성에 대한 별도의 상세 사양이나 지침 제정이 필요하다. 본 연구를 통해 레일-상판 상대변위 관리가 레일부가응력에 비해 상대적으로 어렵다는 것을 확인할 수 있었다.
- 3) 대상 교량에 El-Centro, 고베 대지진과 같은 규모가 큰 지진에 대해서는 레일부가응력과 레일-상판 상대변위, 양면 모

References

1. Goicolea, J. M., Dominguez, J., Navarro, J. A., and Gabaldon, F. (2002), New Dynamic Analysis Methods for Railway Bridges in Codes and EUROCODE 1, Railway Bridges, IABMAS, 1-43.
2. Han, S. Y., Han, T. H., Kang, M. C., and Kang, Y. J. (2012), Analysis of the Interaction between Curved Continuous Welded Rail Track and the Curved Bridge, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, KOSHAM, 12(1), 119-126 (in Korean).
3. Kerr, A. D., and Accorsi, M. L. (1987), Numerical Validation of the Track Equations for Static Problems. *Int. J. of Mesh. Sci.*, 29(1), 15-27.
4. KHRC (1995), Bridge Design Manual (BRDM), Final Report. Systra, France.
5. Kim, D. H., and Han, K. S. (2003), A Study on the Characteristics of Axial Force in Bridge with Continuous Welded Rail, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, KSMI, 7(1), 251-258 (in Korean).
6. Kim, J. J. (2013), Track-bridge Interaction Characteristics due to Cycle Loads, Master's Thesis, Chungnam National University (in Korean).
7. Korea Meteorological Administration, KMA (2015), <http://www.kma.go.kr/weather/earthquake/report.jsp>
8. KR (2014), KR C-08080 : Track-bridge longitudinal interaction analysis (in Korean).
9. Lee, D. J. (2008), Study on the Longitudinal Interactional Safety of Concrete Track in Railway, Master's Thesis, Seoul National University of Science and Technology (in Korean).
10. Lee, J. D. (2006), Rail Engineering, Noh-Hae Pub., Seoul, Korea (in Korean).
11. Lee, W. C., Ryu, H. J., Lim, N. H., and Lee, C. O. (2007), A Study on the Application of the Beam Column Theory to Presume the Axial Force of the Continuous Welded Rail, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, KSMI, 11(6), 159-168 (in Korean).
12. Lim, N. H., Choi, S. H., Lee, J. O., and Sung, I. H. (2005), Sensitivity of the Ballast Resistance and Track Irregularity on the

- Track Stability, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, 17(5), 519-526 (in Korean).
13. UIC (2001), Track/bridge Interaction Recommendation for Calculations. 774-3R, UIC, Paris, France.
 14. Wang, P., Ren, J. J., Xiang, R., and Liu, X. Y. (2012), Influence of Rub-plate Length on Forces and Displacements of Longitudinally Coupled Slab Track for a Bridge Turnout, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F, *Journal Rail and Rapid Transit*, 226(3). 23-29.
 15. Yun, K. M., Choi, J. Y., Lee, C. O., and Lim, N. H. (2012), Modification of the Conventional Method for the Track-bridge Interaction, *Applied Mechanics and Materials*, 204-208, 1988-1991 (in Korean).
 16. Yun, K. M. (2012), A Technical Point to be Considered for the Analysis of Track-bridge Interaction Considering the Loading Combination, Master's Thesis, Chungnam National University (in Korean).
 17. Yun, K. M., Jeon, B. H., Choi, S. H., and Lim, N. H. (2015), Additional Axial Stress of CWR Track on the Bridge According to the Variation of Design Vehicle Load, *Journal of the Korea Academia- Industrial Cooperation Society*, 16(1), 807-813 (in Korean).

Received : 10/08/2015

Revised : 10/29/2015

Accepted : 11/11/2015

요 지 : 본 연구는 지진이 발생할 경우 장대레일교량에 있어 레일과 상판 간의 종방향 상호작용에 미치는 영향을 검토하기 위한 것으로, 해석모델에 여러 하중조합과 함께 지진하중을 적용함으로써 대상 철도교량 레일에서의 축방향 부가응력과 레일-상판 간 상대변위의 변화를 산출하였다. 해석 결과, 본 연구 대상 철도교량의 경우 철도시설공단에서 제시하고 있는 표준응답스펙트럼을 적용할 때 레일부가응력은 대부분의 하중조합에 대해 허용기준 내의 값을 보이고 있는 반면, 레일-상판 상대변위는 공단에서 제시하는 허용기준을 초과하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 레일-상판 상대변위가 레일부가응력에 비해 상대적으로 더 허용기준을 만족시키기 어렵다는 것을 알 수 있었으며, 아울러 고베 대지진과 같은 큰 규모의 지진이 발생하면 레일부가응력과 레일-상판 상대변위는 허용기준을 충족시키지 못하므로 이에 대한 적절한 내진 대비가 필요하다.

핵심용어 : 장대레일교량, 지진하중, 레일부가응력, 레일-상판 상대변위
