교량설계를 위한 장대레일 축력 특성 분석

Characteristics of the stress on CWR for railway bridge design

최일윤* 조현철** 최진유** 양신추**

Choi, Il-Yoon Cho, Hyun Cheol Choi, Jin Yu Yang, Sin-Chu

ABSTRACT

Characteristics of the stress on Continuous Welded Rail(CWR) were investigated to apply to design procedure for railway bridge design. Actions due to change in temperature, braking/traction and bending of the deck were considered in this interaction analysis between CWR and bridge deck. The bridge parameters such as static arrangement of the deck and support stiffness were taken into consideration to examine the influence of the parameters on the additional rail stress. The final results of this study, which include the displacement as well as the stress will be presented in the form of the design chart in future.

1. 서 론

장대레일의 부설은 레일을 연속적으로 용접하여 이음매를 제거함으로써 진동 및 소음의 감소, 궤도재료의 손상 감소와 승차감 향상 등의 측면에서 장점을 갖고 있다. 토공구간에 설치되는 장대레일은 온도의 변화에 따라 신축하지 않는 부동구간을 갖게 되지만, 교량상에 설치되는 장대레일은 교량 상판의 온도신축, 시제동하중 및 수직하중의 영향으로 부가응력 및 변위가 발생하게 되므로 장대레일 설치시에는 장대레일과 교량의 상호작용에 대한 검토가 요구된다.

장대레일과 교량의 상호작용해석과 관련하여 해석방법, 해석시 고려사항, 해석절차 및 검토기준 등이 궤도/교량 종방향 상호작용력 설계지침(안)[1], UIC 774-3R[2] 및 Eurocode 1 (Part 2)[3]에 규정되다.

본 연구에서는 설계자가 장대레일의 축력을 고려하여 보다 편리하게 고속철도 교량을 설계할 수 있도록 경간길이, 하부강성, 지점조건 및 상부강성 등을 매개변수로 상호작용해석을 수행하여 장대레일의 부가응력을 검토하였다. 현재까지 1,000개 이상의 경우의 수에 대해 해석을 수행하였으며, 향후에도 매개변수해석을 추가로 실시하고 또한 변위에 대한 검토를 수행하여 최종 설계차트를 제시할 예정이다.

2. 해석모델

궤도의 종방향 저항력은 국내 규정에 의거하여 다음 표 1 및 그림 1과 같이 고려하였으며, 토공구간은 교량 시종점 교대부로부터 400m까지 모델링하였다.

표 1 하중재하상태별 궤도종저항력

궤도유형		한계변위(u_0)	종저항력(궤도당)	비 고
유도상궤도	하중 비재하시 (Unloaded case)	2.0 mm	12~20 (kN/m)	※ 참조
	하중 재하시 (Loaded case)	2.0 mm	60 (kN/m)	

※참조 : 레일응력 검토시 20.0kN/m, 구조물변위 검토시 12.0kN/m 적용

* 한국철도기술연구원, 궤도구조연구팀, 정회원

E-mail : iychoi@krri.re.kr

TEL : (031)460-5347 FAX : (031)460-5319

** 한국철도기술연구원, 궤도구조연구팀, 정회원

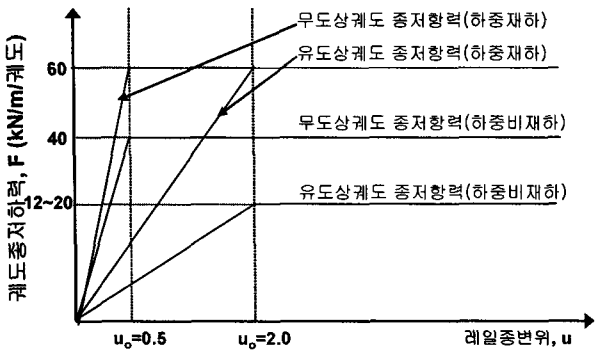

그림 1 궤도유형 및 하중재하상태별 하중-변위선도

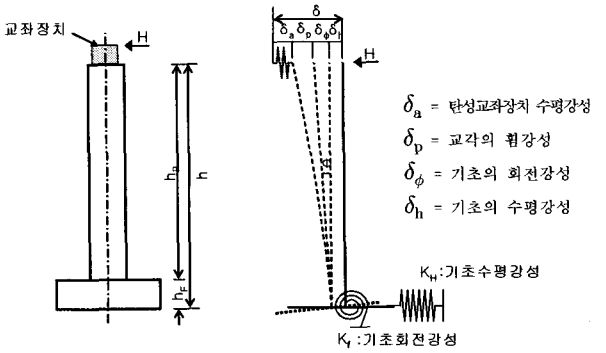

그림 2 교좌장치 지점 종방향 저항력 모형화

교좌장치 수평지지력 계수(그림 2 참조)는 등가스프링 강성($K = H / \sum\delta_i$)으로 고려하였으며, 작용하중은 궤도/교량 상호작용에 큰 영향을 미치는 온도하중, 시제동하중 및 수직하중을 고려하였다.

3. 해석시 고려된 매개변수

현재 수행중 또는 향후 추가로 수행예정인 상호작용해석시 고려된 매개변수에 대해 표 2에 나타내었다. 복선교량을 대상으로 온도하중에 대해 해석을 실시하고 최대응력 발생위치에 시동 및 제동하중을 재하하여 해석을 수행하였다. 수직하중은 최악의 조건을 나타내기 위해 고속철도 설계기준의 처짐규정을 만족하는 교량 상판 최소단면을 검토하였으며, 상판 단면을 증가시켜 해석을 수행하였다. 또한, 경간수의 영향을 검토하기 위하여 경간수를 1, 4, 6, 8, 10으로 변화시켜 해석을 수행하였으며, 지지조건을 그림 3과 4와 같이 단순보와 연속교에 대해 각각 2가지 경우를 고려하였다. 해석에 이용된 프로그램은 한국철도기술연구원에서 개발한 교량/궤도 상호작용해석 전용프로그램을 이용하였다.

표 2 해석 시나리오

교량형식		온도하중(35℃)					시제동하중					수직하중						
		하부등가스프링계수(kN/m)					하부등가스프링계수(kN/m)					상부강성						
상부 형식	지지 조건	$0.1K_0$	$0.5K_0$	K_0	$2K_0$	$10K_0$	$0.1K_0$	$0.5K_0$	K_0	$2K_0$	$10K_0$	I_d (m^4)	I_d	$1.2I_d$	$1.3I_d$	$1.4I_d$	$1.5I_d$	$1.6I_d$
1@20m	FM	○	○	○	○	○	○		○		○	1.98	○				○	
	FMMF	○	○	○	○	○	○		○		○		○				○	
2@20m	FMM	○	○	○	○	○	○		○		○		○				○	
	MFM	○	○	○	○	○	○		○		○		○				○	
1@30m	FM	○	○	○	○	○	○		○		○	6.01	○				○	
1@40m	FM	○	○	○	○	○	○		○		○	13.39	○				○	
	FMMF	○	○	○	○	○	○		○		○		○				○	
2@40m	FMM	○	○	○	○	○	○		○		○		○				○	
	MFM	○	○	○	○	○	○		○		○		○				○	
1@50m	FM											25.16	○				○	
	FMMF												○				○	
2@50m	FMM												○				○	
	MFM												○				○	
1@60m	FM											42.33	○				○	
1@70m	FM											65.89	○				○	
1@80m	FM											96.85	○				○	
1@90m	FM											136.25	○				○	

여기서, 기준 하부강성값 K_0 = 1,422,902(kN/m)

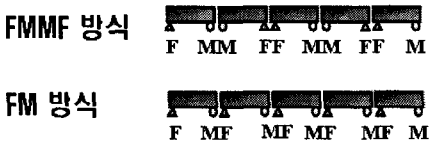

그림 3 단순보의 지지조건

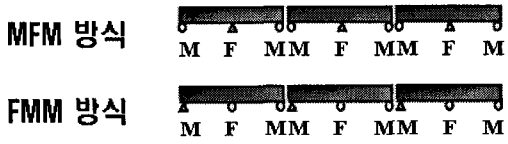

그림 4 연속교(2경간)의 지지조건

위의 그림 3과 4에서 M은 이동단을 의미하고 F는 고정단을 의미한다.

시/제동하중은 동시에 재하되는 것으로 하였으며, 시/제동하중은 등분포하중으로 다음과 같다.

① 시동하중 : q_a=33kN/m/궤도, 재하길이 30m이하

② 제동하중 : q_b=20kN/m/궤도, 재하길이 400m이하

4. 해석결과

우선 장대레일 축력과 관련된 국내의 관련 규정[3]을 표 3에 나타내었다.

표 3 장대레일 관련 국내기준

	항목		하중	허용기준	
				유도상궤도	무도상궤도
상판양단 모두 장대레일인 경우	레일부가응력	압축	· 온도하중 · 시/제동하중 · 열차수직하중	R≥1500: 72N/mm^2 R≥ 700: 58N/mm^2 R≥ 600: 54N/mm^2 R≥ 300: 27N/mm^2	92N/mm^2
		인장	· 온도하중 · 시/제동하중 · 열차수직하중	92N/mm^2	92N/mm^2
	교량상판 종방향상대변위		· 시/제동하중	≤5mm	체결구 압상 및 압축 안정성 검토
	인접상판 끝단상부면 사이 또는 상판 끝단상부면과 교대끝단 상부면사이 종방향변위		· 열차수직하중	· 교량/궤도 상호작용 고려시 ≤8mm · 교량/궤도 상호작용 미고려시 ≤10mm	
	인접상판 끝단상부면 사이 또는 상판 끝단상부면과 교대끝단 상부면사이 단차		· 열차수직하중	· 열차속도 160km/h 이하 ≤3mm · 열차속도 160km/h 이상 ≤2mm	

경간의 반복 배치 즉 경간의 수가 축력의 증가에 미치는 영향을 검토하기 위하여, 경간수를 증가시켜 해석을 수행한 후 각각의 경우의 최대축력 값을 그림 5에 나타내었다. 약 5~10 경간 이상에서는 부가축력이 더이상 증가되지 않고 일정한 값으로 수렴하며, 경간 길이가 길수록 빨리 수렴함을 알 수 있었다. 이는 전체 교량구간이 수 km가 되는 경우에도 약 200~300m 교량구간의 축력의 값과 유사함을 의미한다.

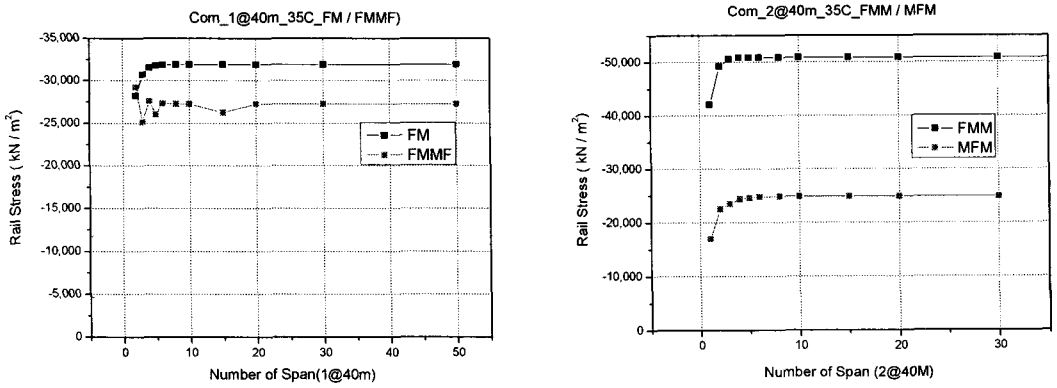

그림 5 경간의 수에 따른 레일의 부가압축응력

표 2의 해석시나리오에 따라 수행한 축력해석 결과중에서 지면관계상 최대압축응력 결과값만을 본 논문에 나타내었다. 그림 6의 온도하중(35℃)에 의한 장대레일의 축력해석 결과를 살펴보면, 지지조건이 FM방식과 FMM방식의 경우 교량의 하부강성이 증가할수록 레일의 응력이 증가하였다. 그러나, 지지조건이 FMMF방식과 MFM방식인 경우에는 하부강성이 레일의 응력에 미치는 영향이 매우 작음을 알 수 있다. 경간길이와 레일의 응력은 비례하며, 2경간 연속교의 경우 MFM방식은 FMM방식에 비해 온도하중에 의한 레일응력이 매우 작음을 알 수 있다.

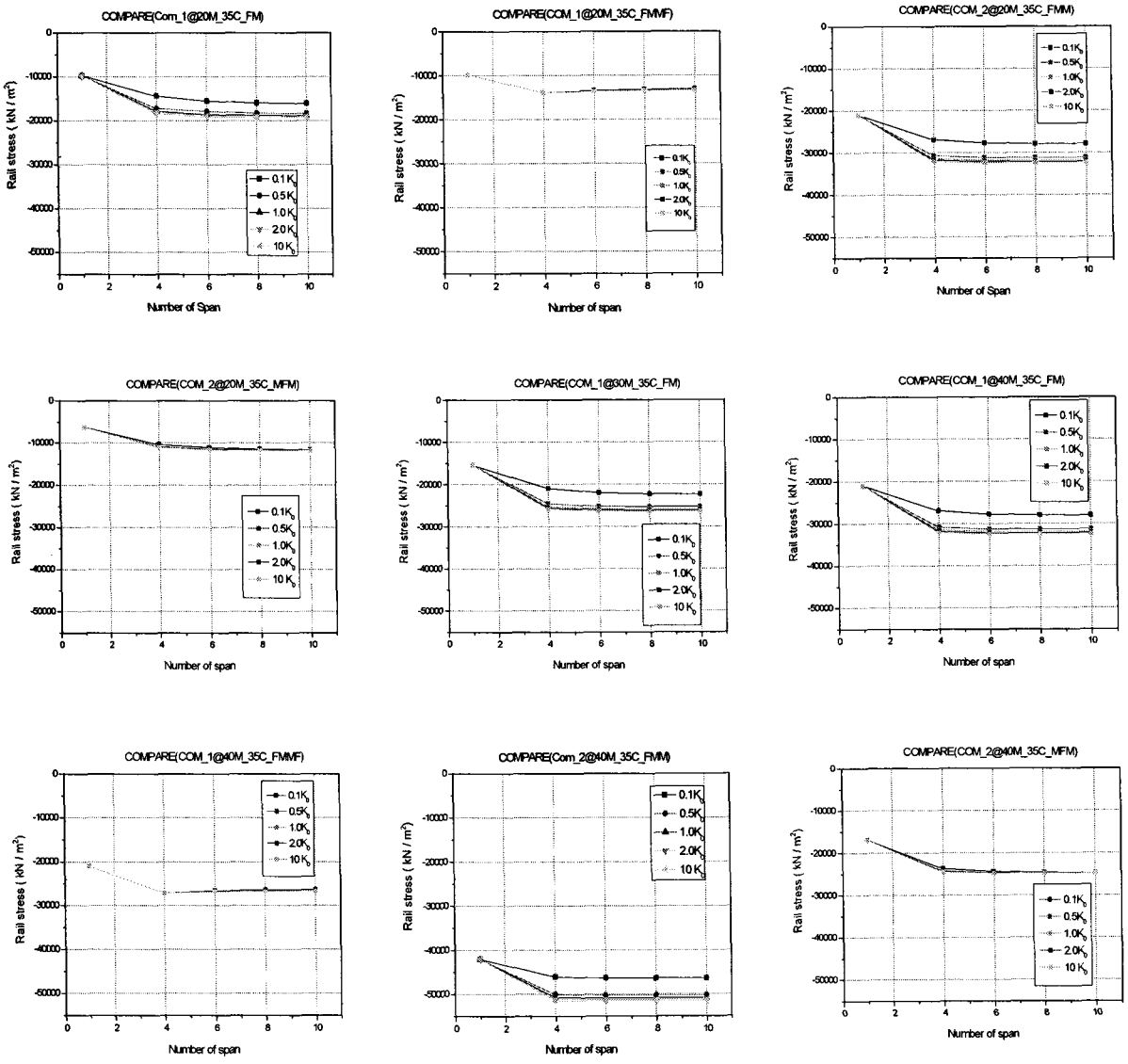

그림 6 형식별/하부강성별 온도하중에 따른 축력해석 결과

시제동하중에 의한 장대레일/교량 상호작용해석 결과를 그림 7에 정리하였다. 하부강성이 시제동하중에 의한 레일의 응력에 미치는 영향을 살펴보면, 지지조건이 FMMF 방식인 경우에는 하부강성이 작을수록 응력이 감소하였다. 그러나, FM, FMM 및 MFM방식에서는 하부강성이 작을수록 응력이 증가하는 경향을 보이고 있으며 이는 온도하중에 의한 축력의 분포 특성과는 반대의 현상이다. 또한, 온도하중에 비하여 시제동하중에 의한 레일응력이 하부강성의 영향을 크게 받고 있음을 알 수 있다.

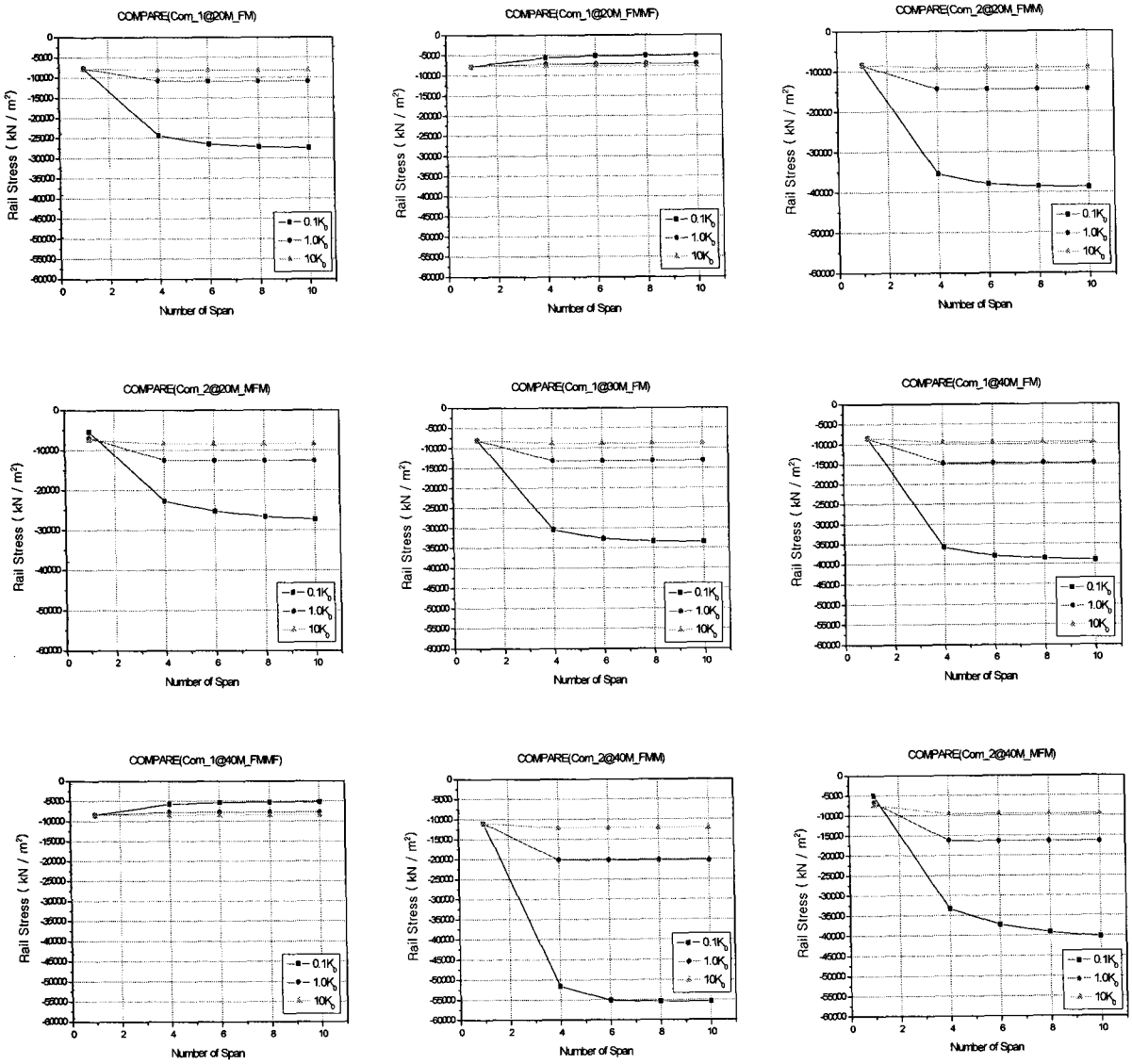

그림 7 형식별/하부강성별 시제동하중에 따른 축력해석 결과

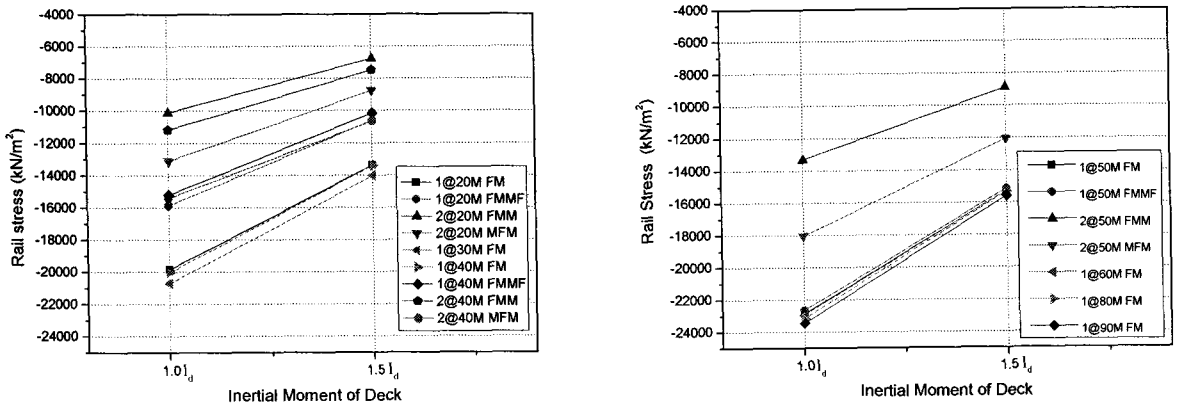

그림 8 형식별/상판강성별 수직하중에 따른 축력해석 결과

수직하중에 의한 장대레일 축력해석결과를 그림 8에 나타냈었다. 수직하중에 의한 축력분포 특성은 일정한 경향을 도출하기 곤란하였으나, 지지조건의 영향을 크게 받고 있음을 알 수 있었다. 다른 조건

이 동일하고 교량 상판의 강성이 증가하는 경우에는 상판경간의 중앙처짐의 감소 비율과 동일한 비율로 레일응력이 감소하는 경향을 보였다. 즉, 그림 8에서 상판의 단면2차모멘트를 $1.0I_d$에서 $1.5I_d$로 50% 증가시키게 되면 교량의 처짐은 66.7%($1.0I_d$ / $1.5I_d$)로 감소하게 되는데, 수직하중에 의한 레일의 응력도 동일하게 66.7%로 감소하게 되는 선형관계식을 보였다.

5. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 교각강성 및 기초의 강성 등 하부강성, 교량의 경간길이, 지지조건, 경간의 연속배치 및 교량 상판의 강성을 매개변수로 하여 교량상 장대레일의 축력해석을 수행하고, 축력의 분포 특성에 대하여 고찰하였다.

본 연구는 교량설계단계에서 장대레일에 발생하는 축력 및 변위를 고려하여 교량의 형식선정 및 교좌장치배치 등 교량설계를 용이하게 할 수 있도록 설계차트를 제시할 목적으로 수행되고 있다. 현재까지는 장대레일 축력해석 부분을 검토하고 있으며, 향후에는 변위해석을 추가로 수행하여 설계자를 위한 설계차트를 제시할 예정이다.

참고문헌

1. 한국철도기술연구원(2007), 궤도/교량 종방향 상호작용력 설계지침(안)
2. UIC Code 774-3R, 2001
3. Eurocode 1 (Part 2) pp. 97-108