

가동단 마찰계수가 장대레일 축력 안정성에 미치는 영향 검토

Review of effects of friction coefficient of moving bearing on Stability of CWR

유 제 남, 최 영 준, 양 신 추
Ryu, Jae-Nam, Choi, Young-Joon, Yang, Sin-Chu

ABSTRACT

Recently drastic improvement of railway technology has been accompanied by the construction of very high-speed tracks. It should be noticed that Continuously Welded Rail(CWR) has played significant role in technical development of railway and that installation of CWR is now being scheduled on existing lines as well as newly-built lines. In general, interaction between CWR and bridge deck takes place on bridge section and additional axial force and displacement is to be developed owing to temperature and braking/acceleration forces. This interaction is known to be mainly governed by span organizations and arrangements of foot bearings.

In common practice, movable bearing is stationed and designed on the assumption that it is not able to transfer the horizontal force of upper decks. However, it is well known that horizontal resistance is developed in movable bearings due to friction and that friction coefficient of movable bearing is ranged from 0.08 to 0.20 depending on the material of bearings and magnitude of reactions. Therefore, it is easily reasoned out that friction of movable bearing can influence the mutual behavior of CWR and bridge decks.

Suggested in this study is to investigate the validity and efficiency of friction effect of movable bearings in controlling the axial force and displacement of CWR on continuous railway bridges.

1. 서론

최근 한국철도는 고속전철의 완공에 따라 많은 발전을 하게 되었다. 장기적인 계획으로 기존의 철도들도 고속화 전철에 맞도록 장대레일 부설을 확대추진하고 있다. 교량상에 장대레일이 건설할 경우 온도하중, 차량의 시동과 제동하중 및 수직하중을 안전측으로 고려하여 장대레일에 대한 축력설계를 하도록 되어있다. 장대레일 축력해석시 가동단을 역학적으로 완전하게 자유단으로 처리할 경우 레일과 교량 상판에 작용하는 변위가 실제보다 크게 평가되어 토목구조물이 필요이상 커질 수 있어 과대설계하는 결과를 가져올 수 있다. 실제 가동단에서는 어느 정도 마찰력이 발생하고, 또한 UIC 기준에선도 이들을 고려할 수 있도록 되어 있다.

본 연구에서는 가동단 마찰력 축력안정성에 미치는 영향을 현재 건설중에 있는 가평교를 대상으로 검토하였다. 검토결과 마찰력을 고려하면 교량상판변위를 낮출 수 있어 다소 경제적 설계를 수행할 수 있음을 알 수 있었다.

2. 장대레일 축력기준

본 장대레일 축력안정성 검토에서는 국제적으로 널리 사용되고 있는 UIC기준을 적용하였다. 이들 기준들을 요약하면 표 1과 같다.

표 1. 장대레일 검토기준

기준항목	설계기준
레일축력	<온도하중, 시·제동하중, 수직하중 작용시 구조물구간 허용중방향 부가응력> ※성토구간에서 온도하중에 의하여 발생하는 레일응력보다 구조물구간에서 추가되는 응력 압축 : -72 N/mm^2 (레도당 111.6ton) 인장 : 92 N/mm^2 (레도당 139.5ton)
교량과 레일의 상대변위	< 시·제동하중 작용시 > 4mm
상판 절대변위	< 시·제동하중 작용시 > -신축이음대가 없는 경우 상판 수평절대변위: $\pm 5\text{mm}$ -신축이음대가 있는 경우 상판 수평절대변위: 30mm
상판과상판, 상판과 교대 사이 변위	< 수직차당하중(중격하중 포함) 작용시 > -상판과상판, 상판과 교대 사이 변위 : 8mm

3. 검토하중

온도하중은 장대레일이 설정되는 온도로부터 변화되는 온도를 하중으로 환산하여 적용하였다. 본 검토에서는 국내의 기후조건을 고려하여 레일에는 $\pm 45^\circ\text{C}$ 를, 교량상판에는 $\pm 35^\circ\text{C}$ 를 적용하였다.

시/제동하중 검토시 제동하중은 LS22하중 [1]의 15% 크기로 300m의 거리에 걸쳐 작용하는 것으로, 시동하중은 LS22하중(동력차)의 25%의 크기로 33m의 거리에 걸쳐 작용하는 것으로 가정하였다. 이들 하중의 조합은 안전측의 검토를 위하여 동일방향으로 작용하는 것으로 가정하였다. 이들 하중을 기초로 시동 및 제동하중의 작용크기 및 길이를 구하면 그림 2와 같다.

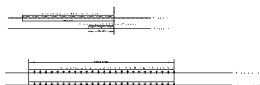


그림 2 열차수직하중

LS-22하중을 등분포하중으로 환산하고 충격계수 1.4를 적용할 때 수직하중선도는 그림 2와 같다.

4. 해석방법

레일과 교량을 2차원 보요소(Beam Element)로 모형화하였고, 레일과 교량 또는 레일과 노반 사이에 작용하는 중직항력은 쌍일차모형(Bilinear Modelling)을 갖는 비선형 스프링요소로 모형화하였다. 레일과 교량 사이의 자갈도상은 요소의 크기는 UIC 기준에서 정한 「경간당 스프링의 개수는 10 이상 이어야 하고, 스프링사이의 간격은 5m를 초과하지 말아야 한다」는 조건을 충분히 만족하도록 하기 위하여 요소길이를 1m로 하였다.

5. 장대레일 축력해석에 사용된 물성치 및 제원

5.1 레일 및 도상지향력

축력해석에 사용된 레일 및 도상의 물성치는 표 2와 같다.

표 2. 해석에 사용된 궤도의 물성치 및 제원

레일단면적	A = 0.0155m ² (2x60KS, 궤도당)
레일탄성계수	E = 2.1x10 ⁷ ton/m ²
레일열팽창계수	α = 1.14x10 ⁻⁵
레일최대 온도변화	ΔT = ±45°C
중저항력 (Bilinear model)	유도상궤도(UIC 774-3 추천 값) ·보수중간 : 1.20ton/m/궤도 ·보수양호 : 2.0ton/m/궤도 ·시·계동 작용구간 : 각 구간 도상저항력 x 3 ※ 안전측의 검토를 위하여 축력검토시에는 2.0ton/m를 적용하고 변위 검토시에는 1.2ton/m를 적용
한계변위	u ₀ = 2mm (UIC 774-3 추천 값)

5.2 교량의 제원 및 물성치

검토를 대상으로하는 교량의 개요도는 그림 과 같다.

그림 교량의 개요도

교량의 상부구조 및 하부구조의 제원 및 물성치는 표 과 같다.

표 교량상판 제원 및 물성치(상부구조제원의 1/2값)

상판 번호	구분	길이 (m)	중가산 성계수 (GN/m ²)	단면적	단면2차 모멘트	중립축 위치	중립 높이	상판 번호	구분	길이 (m)	중가산 성계수 (GN/m ²)	단면적	단면2차 모멘트	중립축 위치	중립 높이
S1	지점부	51	210	0.5775	0.9950	2.81	4.4	S16	지점부	42.75	210	0.5014	0.5188	2.18	3.20
	중양부	51	210	0.4872	0.4272	2.33	3.3		지점부	60	210	0.5872	1.6306	3.36	5.20
S2	지점부	51	210	0.5775	0.9950	2.81	4.4	S17	지점부	60	210	0.5872	1.6306	3.36	5.20
	중양부	51	210	0.4872	0.4272	2.33	3.3		중양부	42.75	210	0.3906	0.2855	2.40	3.20
S3	지점부	40	210	0.4474	0.4177	2.24	3.30	S18	지점부	60	210	0.5872	1.6306	3.36	5.20
	중양부	40	210	0.3676	0.2563	2.44	3.30		중양부	60	210	0.4610	0.4270	2.28	3.20
S4	지점부	40	210	0.4474	0.4177	2.24	3.30	S19	지점부	60	210	0.5872	1.6306	3.36	5.20
	중양부	40	210	0.3676	0.2563	2.44	3.30		중양부	60	210	0.4610	0.4270	2.28	3.20
S5	지점부	40	210	0.4474	0.4177	2.24	3.30	S20	지점부	60	210	0.5872	1.6306	3.36	5.20
	중양부	40	210	0.3676	0.2563	2.44	3.30		중양부	60	210	0.4610	0.4270	2.28	3.20
S6	지점부	40	210	0.4474	0.4177	2.24	3.30	S21	중양부	60	210	0.4610	0.4270	2.28	3.20
	중양부	40	210	0.3676	0.2563	2.44	3.30		중양부	60	210	0.4610	0.4270	2.28	3.20
S7	지점부	40	210	0.4474	0.4177	2.24	3.30	S22	중양부	60	210	0.4610	0.4270	2.28	3.20
	중양부	40	210	0.3676	0.2563	2.44	3.30		중양부	60	210	0.4610	0.4270	2.28	3.20
S8	지점부	40	210	0.4474	0.4177	2.24	3.30	S23	지점부	60	210	0.5872	1.6306	3.36	5.20
	중양부	40	210	0.3676	0.2563	2.44	3.30		중양부	60	210	0.4610	0.4270	2.28	3.20
S9	지점부	40	210	0.4474	0.4177	2.24	3.30	S24	지점부	60	210	0.5872	1.6306	3.36	5.20
	중양부	40	210	0.3676	0.2563	2.44	3.30		중양부	60	210	0.3070	0.9409	2.28	4.7
S10	지점부	40	210	0.4474	0.4177	2.24	3.30	S25	지점부	60	210	0.5872	1.6306	3.36	5.20
	중양부	40	210	0.3676	0.2563	2.44	3.30		중양부	120	210	0.4290	0.3155	1.2	2.2
S11	지점부	40	210	0.4474	0.4177	2.24	3.30	S26	지점부	60	210	0.3070	0.9409	2.28	4.7
	중양부	40	210	0.3676	0.2563	2.44	3.30		중양부	60	210	0.3070	0.9409	2.28	4.7
S12	지점부	42.75	210	0.5014	0.5188	2.18	3.20	S27	지점부	60	210	0.3070	0.9409	2.28	4.7
	중양부	42.75	210	0.3906	0.2855	2.40	3.20		중양부	60	210	0.4610	0.4270	2.28	3.20
S13	지점부	42.75	210	0.5014	0.5188	2.18	3.20	S28	지점부	60	210	0.3070	0.9409	2.28	4.7
	중양부	42.75	210	0.3906	0.2855	2.40	3.20		중양부	60	210	0.4610	0.4270	2.28	3.20
S14	지점부	42.75	210	0.5014	0.5188	2.18	3.20	S29	지점부	60	210	0.3070	0.9409	2.28	4.7
	중양부	42.75	210	0.3906	0.2855	2.40	3.20		중양부	60	210	0.4610	0.4270	2.28	3.20
S15	지점부	42.75	210	0.5014	0.5188	2.18	3.20	S30	지점부	60	210	0.3070	0.9409	2.28	4.7
	지점부	42.75	210	0.5014	0.5188	2.18	3.20		중양부	60	210	0.4610	0.4270	2.28	3.20

표 교량하부단면제원 및 물성치

구분	단면적	탄성계수 (GN/m ²)	단면2차 모멘트	교각높 이	기초 물성치	교좌장치 형식	구분	단면적	탄성계수 (GN/m ²)	단면2차모 멘트	교각 높이	기초 물성치	교좌장치 형식
A1						move	P15	10.75	24.5	11.5	19.1	고정	move
P1	10.75	24.5	11.5	13.3	고정	fix	P16	10.75	24.5	19.0	16.2	고정	fix
P2	10.75	24.5	11.5	16.5	고정	move	P17	10.75	24.5	19.0	18.3	고정	move
P3	10.75	24.5	11.5	16.7	고정	move	P18	10.75	24.5	19.0	14.4	고정	fix
P4	10.75	24.5	11.5	15.7	고정	fix	P19	10.75	24.5	19.0	18.0	고정	move
P5	10.75	24.5	11.5	14.9	고정	move	P20	10.75	24.5	19.0	14.0	고정	fix
P6	10.75	24.5	11.5	17.2	고정	move	P21	10.75	24.5	19.0	18.5	고정	move
P7	10.75	24.5	11.5	16.4	고정	fix	P22	28.02	24.5	24.08	18.3	고정	fix
P8	10.75	24.5	11.5	17.1	고정	move	P23	28.02	24.5	24.08	19.5	고정	move
P9	10.75	24.5	11.5	17.2	고정	move	P24	78.56	24.5	110.42	18.0	고정	move
P10	10.75	24.5	11.5	17.0	고정	fix	P25	78.56	24.5	110.42	18.2	고정	fix
P11	10.75	24.5	11.5	16.0	고정	move	P26	28.02	24.5	24.08	20.0	고정	move
P12	10.75	24.5	11.5	15.8	고정	fix	P27	28.02	24.5	24.08	16.5	고정	fix
P13	10.75	24.5	11.5	16.3	고정	move	P28	10.75	24.5	19.0	17.2	고정	move
P14	10.75	24.5	11.5	17.1	고정	fix	P29	10.75	24.5	19.0	18.5	고정	fix

6. 장대레일 축력에 대한안정성 검토

6.1 부가축응력 검토

온도하중, 시/제동하중, 그리고 수직하중 작용시 각각의 경우에 발생하는 레일부가 축응력을 그림에 나타내었다. 이들 결과로부터 총발생 부가축응력은 64.2N/mm²로서 기준치인 72N/mm²를 만족함을 알 수 있다.

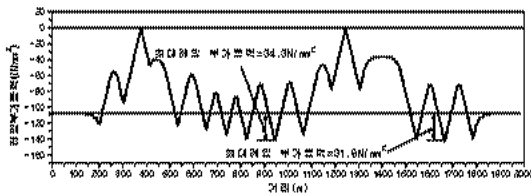


그림 온도하중에 대한 부가축응력

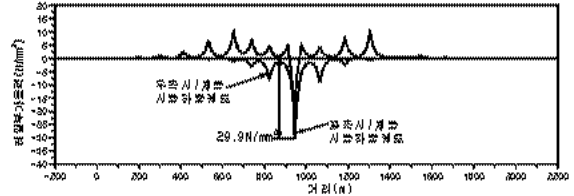


그림 시/제동하중에 대한 부가축응력

6.2 교량 변위검토

제동하중 작용시 레일/교량 상대변위를 그림에, 그리고 교량 절대변위를 그림에 나타내었다. 이를 결과로부터 가동단의 마찰력을 고려하지 않을 경우 레일/교량 상대변위는 기준값을 만족하지만 교량의 절대변위는 기준값인 5mm를 초과함을 알 수 있다.

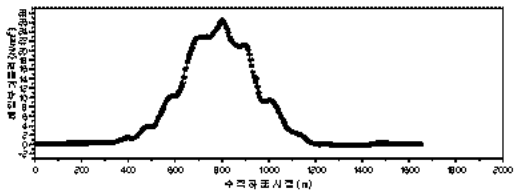


그림 수직하중에 대한 부가축응력

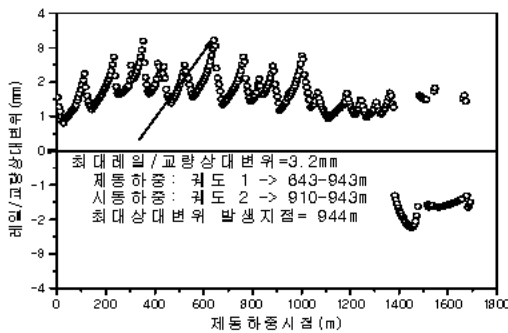


그림 레일/교량 상대변위

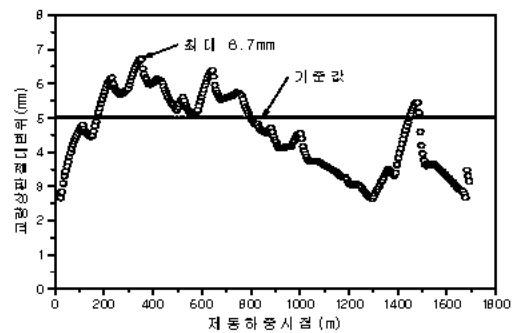


그림 교량 절대변위(마찰력 미고려)

표 에 나타낸 바와 같이 가동단의 마찰력을 수직하중의 3%로 고려하는 경우(UIC 기준에 의하면 마찰계수를 5%이하 적용가능) 교량상판 절대 변위를 그림 에 나타내었다. 이들 결과로부터 마찰력을 수직하중의 3% 정도만 고려하여도 교량상판 절대변위는 크게 저감되는 것을 알 수 있다.

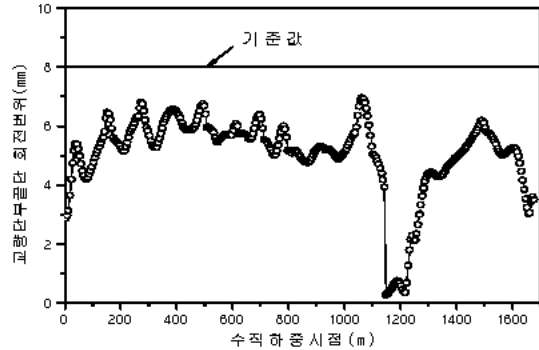
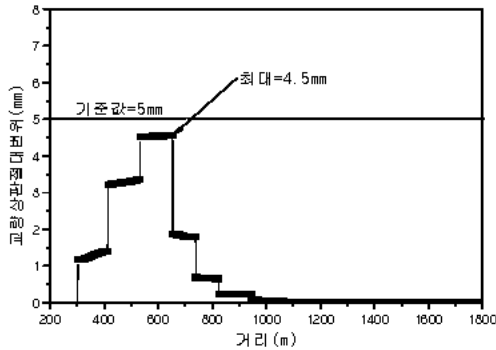


그림 교량 절대변위(마찰력 미고려)

그림 교량 상판단부 회전변위

표 수직하중의 3%에 대응하는 마찰력

교각 NO	SHOENO	기준 SHOE		상시			Shoe 수평력 (3%)
		허용 수직력	허용 수평력	SHOE 반력	교각 하중	Shoe 수평력 (5%)	
A1					611	15.29775	9.17865
A2					622	16.5505	9.9303
PIER 1	G1(교각단)	2000	400	1557.317	1017.385	50.86925	30.52155
	G2(교각단)	2000	400	1557.317	1017.385	50.86925	30.52155
PIER 2	G1(중방랑)	800	160	594.109	274.447	13.72235	8.233
	G2(중방랑)	800	160	594.109	274.447	13.72235	8.233
	G1(상방랑)	600	120	481.289	208.954	10.4477	6.26862
	G2(상방랑)	600	120	481.289	208.954	10.4477	6.26862
PIER 3	G1(중방랑)	1200	240	1082.566	602.272	30.1136	18.06816
	G2(중방랑)	1200	240	1082.566	602.272	30.1136	18.06816
PIER 4	G1(교각단)	1800	360	1082.118	602.109	30.10545	18.06827
	G2(교각단)	1800	360	1082.118	602.309	30.11545	18.06927
PIER 5	G1(중방랑)	600	120	489.034	209.08	10.454	6.2724
	G2(중방랑)	600	120	489.034	209.08	10.454	6.2724
	G1(상방랑)	600	120	481.289	208.954	10.4477	6.26862
	G2(상방랑)	600	120	481.289	208.954	10.4477	6.26862
PIER 6	G1(중방랑)	1200	240	1082.566	602.272	30.1136	18.06816
	G2(중방랑)	1200	240	1082.566	602.272	30.1136	18.06816
PIER 7	G1(교각단)	1800	360	1082.118	602.309	30.11545	18.06927
	G2(교각단)	1800	360	1082.118	602.309	30.11545	18.06927
PIER 8	G1(중방랑)	600	120	489.034	209.08	10.454	6.2724
	G2(중방랑)	600	120	489.034	209.08	10.454	6.2724
	G1(상방랑)	600	120	481.289	208.954	10.4477	6.26862
	G2(상방랑)	600	120	481.289	208.954	10.4477	6.26862
PIER 9	G1(중방랑)	1200	240	1082.566	602.272	30.1136	18.06816
	G2(중방랑)	1200	240	1082.566	602.272	30.1136	18.06816
PIER 10	G1(교각단)	1800	360	1082.118	602.309	30.11545	18.06927
	G2(교각단)	1800	360	1082.118	602.309	30.11545	18.06927
PIER 11	G1(중방랑)	600	120	489.034	209.08	10.454	6.2724
	G2(중방랑)	600	120	489.034	209.08	10.454	6.2724
	G1(상방랑)	600	120	502.479	216.627	10.83135	6.49881
	G2(상방랑)	600	120	495.905	210.637	10.53185	6.31911

그림 에 나타난 수직하중 작용시 단부회전변위에 대한 결과로부터 단부회전변위는 기준값 8mm이내임을 알 수 있다. 한편 온도하중 및 시/제동하중 작용시 각 교각에 발생하는 종하중의 절대최대값은 표 5에 나타내었다. 이들 결과로부터 각 교대 및 교각에 발생하는 종하중은 설계값 이내임을 알 수 있다.

교각번호	종하중(ton)	교각번호	종하중(ton)
p1	181.3	p16	-109.7
p2	0	p17	0
p3	0	p18	-164.4
p4	251.0.0	p19	0
p5	0	p20	315.9
p6	0	p21	0
p7	-352.0	p22	123
p8	0	p23	0
p9	0	p24	0
p10	-117.2	p25	-479.0
p11	0	p26	0
p12	-127.4	p27	162.0
p13	0	p28	0
p14	-109.7	p29	94.8
p15	0		

6. 결론

본 연구에서는 가동단 마찰력 축력안정성에 미치는 영향을 현재 건설중에 있는 가평교를 대상으로 검토하였다. 검토결과 마찰력을 고려하면 교량상판 변위를 낮출 수 있어 경제적 설계를 수행할 수 있음을 알 수 있었다.(추가)

참고문헌

1. 철도청, “국유철도건설규칙”, 2000. 8.
2. “Track/bridge Interaction Recommendations for calculations”, UIC774-3, 2nd edition, October 2001