

# 교량상 레일 조건에 따른 레일 및 교량의 안전성 연구

## A study of the rail and bridge stability according to rail conditions on the bridge

민경주\*  
Min, Kyung-Ju

김영국\*\*  
Kim, Young-Kook

우용근\*\*\*  
Woo, Yong-Keun

---

### ABSTRACT

In railway bridges, various loads including train load, transverse load and braking force are applied to continuous CWR or semi-continuous longer rail located on non-continuous bridge superstructures. The rail-girder interaction due to thermal expansion is also very complex in railway bridges because the thermal characteristics for each of the rails and girder are quite different.

Recently, the bridge retrofits for seismic loads were performed on bridges not designed for these loads. These retrofits may however have limitations with respect to rail-girder interactions because, in general these retrofits address issues related only to seismic loads.

In this study of seismic evaluations for railway bridges, the load effects on the bridge rails from the road beds through the continuous rails shall be considered. Practical methods will be proposed which will increase the railway stability. For this, rail-girder interaction analyses due to train loads, temperature changes and seismic loads were performed and the results reviewed from a practical point of view.

---

### 1. 서론

철도교량은 상부의 연속된 궤도와 궤도를 유지시켜주는 불연속적인 교량의 상부구조에서 레일과 거더의 온도신축과 상부 활하중에 의한 거동으로 복잡하게 나타나게 된다. 장대레일의 부동구간은 일반적으로 레일의 변위가 없는 것으로 간주하고 있으나 장대레일의 부동구간도 궤도의 좌굴 또는 열차의 시제동 하중에 의한 변위가 아니더라도 궤도의 저항력, 온도변화량 및 레일의 단면적 등에 따라서 부동구간이 다르게 되며 곡선부 장대레일은 온도 축력에 따른 횡방향 거동이 압력을 받는 관(pipe)과 같이 발생된다. 특히 교량 위에 설치된 장대레일은 교량의 온도변위 또는 열차하중에 의해 거동에 영향을 받게 된다.

교량 위의 장대레일이 부동구간에 위치하여 있다 해도 레일을 구속하는 체결구 및 도상의 종류, 교량 상부구조의 재료와 길이, 교량받침의 배치방법 및 교각의 종방향 강성 등에 영향을 받아 다양하고 불확실성이 큰 변수들에 의하여 거동하게 된다. 이러한 복잡한 조건들 즉 실제 레일-체결구-도상-교량상부구조-교량받침-교량하부구조의 상호 거동과 기온이나 햇빛의 방향과 열전도율, 통풍 등에 영향을 받으며 특히 거더의 대표적 온도를 예측한다는 것은 사실상 불가능한 실정에서 이론적 수치해석의 결과로 이들의 실제 거동을 표현하는 데에는 한계가 있다. 물론 궤도-교량 상호작용해석은 대부분 설계 중심으로 안전성(safety)이나 안정성(stability)을 얻는데 목적이 있으므로 거동이 최대로 나타나게 하는 변수 등을 적용하게 되나 유지관리는 이들보다 상당히 안전측에서 수행됨으로 사용성 측면에서 효율적인 유지관리를 위한 검토가 필요할 것이다.

---

\* 책임저자 : 정희원, (주)철도안전연구소, 소장

E-mail : kjmin@hanafos.com

TEL : (02)412-1100 FAX : (02)412-5662

\*\* 정희원, 한국철도시설공단 감사실 실장

\*\*\* 정희원, KORAIL / Korail테크 선로시설연구소 총괄PM

철도교량은 앞에서와 같이 궤도 상부로부터 작용되는 열차하중, 주로 종방향으로 작용되는 온도하중과 더불어 기초지반으로부터 전달되는 지진에 대한 안전성도 확보되어야 한다. 내진해석에서 장대레일은 교량 인접 노반으로부터 연결됨으로 이들의 영향도 적지 않게 받게 될 것이다. 따라서 인접구조물의 장대레일을 포함하여 내진안전성을 검토해야 보다 합리적인 결과를 도출할 수 있을 것이다.

최근에는 내진설계가 반영되지 않은 교량에 내진보강으로 유지보수보강이 시행되고 있다. 그러나, 이들은 전술한바와 같이 단순히 내진만을 고려하는 경우가 대부분이어서 레일 및 교량과의 상호작용을 효율적으로 대처하는데 한계가 있으며, 유지보수를 위한 철도교의 지진응답 또한 노상으로부터 연속되는 레일이 교량상 레일의 영향도 고려되어야 할 것이다.

본 연구는 이러한 열차하중, 온도에 따른 거동, 지진하중 등에 따른 다양한 조건에서 보다 현실에 적합하게 레일과 교량의 안전성을 해석하고 검토함으로써 철도교량의 실제적인 안전성 향상과 사용성을 고려한 자료를 제시하고자 하였다.

## 2. 레일과 교량의 거동

교량상 레일은 장대레일이 아니더라도 정척레일이든 장척레일이든 교량과의 거동에 서로 영향을 미치게 된다. 이들 레일은 연속형식이 다를 뿐 연속되어 있다. 레일 용접은 역학적 거동에는 일체화된 것이나 레일이음매는 사실상 종방향으로 신축이 거의 자유로움으로 종방향으로는 구속되어 있지 않은 것으로 간주된다. 여기서는 이들에 대하여 간단히 고찰하고자 하며 정척레일은 특이한 경우를 제외하고는 상호 영향이 미소하고 대부분의 교량상에 정척레일은 설치하지 않음으로 여기서는 논외로 한다. 또한 레일-교량 상호작용에서 서로 영향을 크게 미치는 판형교량에 대하여 고찰하고자 하며 유도상교량이나 콘크리트도상 교량도 종저항력이나 온도의 차를 고려한다면 동일한 방법으로 거동을 파악할 수 있을 것이다. 수치해석에 사용된 재료 및 적용온도 등 자료들은 참고문헌[1] 및 [5]를 참고하였다. 적용되는 특성치에 대해서는 적용에 따라 다를 수 있으므로 본 연구의 결과는 동일조건에서의 수치해석결과에 대해 상대적으로 비교하는데 유용할 것으로 사료되며 가능한한 현실적인 문헌들과 실측자료들을 참고하여 특성치를 적용하였으므로 현실과 비교적 잘 부합될 것으로 판단된다.

### 2.1 장척레일과 교량의 거동

철도교량에서 비교적 단경간 철도교량에 주로 사용되고 있는 경간장 6m, 9m, 13m, 19m 등 사용하여 교량 총연장을 40m로 정하고 레일체결구(침목수) 100(0.4m/1정)정을 기준으로 각각의 거더수를 6개, 4개, 3개, 2개로 모델링하였으며, 비교를 위하여 1경간 40m교량도 함께 해석하였다.

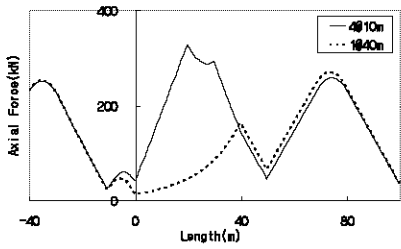
#### 2.1.1 온도 축력

전술한바와 같이 교량연장을 40m로 정하고 경간장을 4@10m, 3@13m(13.2m, 13.6m, 13.2m), 2@20m, 1@40m로 각각 모델링하여 장척레일 축력해석을 수행하였다. 해석은 판형교량의 침목 종저항력 0.6kN, 레일과 거더의 온도변화는 설정온도 25℃ 및 최저온도 -20℃을 기준으로 각각 -45℃을 적용시켰다.

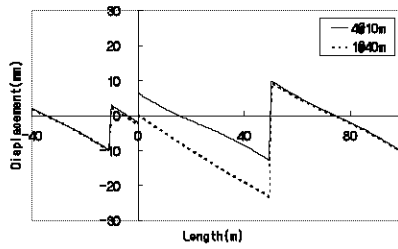
그림1과 표1에서 축력은 큰 차이가 없으며 비교적 낮은 축력이다. 40m 거더에서 상대 변위와 지점반력이 작은 것은 레일과 거더가 비슷하게 거동하기 때문이나 이 경우 장대레일이 부설될 때에는 이들 값은 크게 증가될 것이다. 여기서 지점의 수평반력은 20m 거더의 경우에도 약 283kN이 작용되고 있음을 알 수 있다. 물론 판형교량은 궤도의 엄격한 관리가 어려움으로 궤도의 저항력이나 교량받침의 지지 조건이 수치해석과 같이 이상적이지 아니므로 실제 작용되는 값들에는 다소 차이가 있을 것이다. 이들의 결과는 거더의 길이에 따른 해석결과치에 대한 경향에서 일관성이 부족함을 나타내고 있다. 이는 장척레일 이음부의 위치에 따라 크게 다르게 나타날 수 있음을 의미하므로 장척레일 설치 위치는 거더의 길이, 교량연장 및 교량받침의 지지 조건등에 영향을 받을 수 있다는 것을 알 수 있을 것이다.

표 1. 경간장에 따른 장척레일 해석결과표

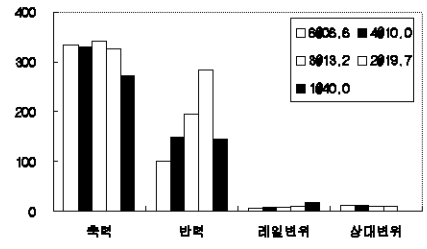
반력	축력 (kN)	레일변위 (mm)	상대변위 (mm)	지점반력 (kN)
6@06.6	332.4 5	7.17	12.20	99.93
4@10.0	328.8 2	8.13	11.83	148.37
3@13.2	341.1 7	8.97	11.36	195.05
2@19.7	324.8 9	10.21	10.04	283.02
1@40.0	271.6 4	18.60	1.20	144.16



(a) 레일축력



(b) 레일변위



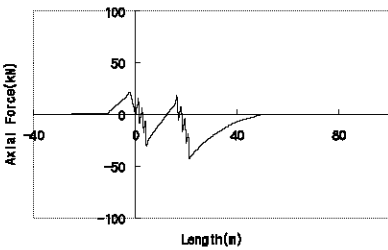
(c) 비교

그림 1. 경간장에 따른 장척레일 해석결과

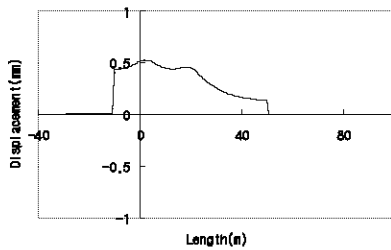
### 2.1.2 시제동하중

본 해석모델 교량은 교량연장을 40m이므로 열차하중 특성상 제동하중보다는 시동하중의 영향을 크게 받을 것으로 판단되나 LS22하중에 대한 시제동하중에 대하여 해석하였다.

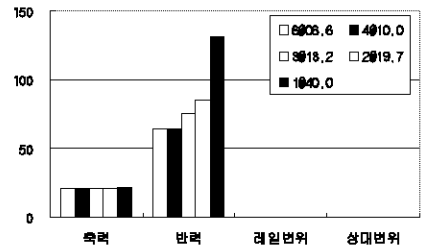
#### 1) 시동하중 해석결과



(a) 레일축력



(b) 레일변위



(c) 비교

그림 2. 경간장에 따른 시제동하중시 장척레일 해석결과

시동해석결과 경간장 40m에서 거더의 수와 관계없이 약 21kN이었으며, 레일변위는 0.5mm정도로 미소한 편이었다. 지점 종방향 반력의 변화가 크게 나타나는 거더의 개수 즉 1경간은 1개의 교량 받침에서 시동력을 수용하여야 하나 거더가 6개로 구성된 경우에는 6개의 교량 받침이 저항하므로 종저항력이 감소된 것으로 판단된다. 6개 거더와 4개 거더가 유사하게 나타나는 것은 차량의 축중 간격 특성과 1개 거더의 길이와 관계되는 것으로 판단된다.

#### 2) 제동하중 해석결과

제동하중 재하시 해석결과 경간장 40m에서 거더의 수에 따라 레일축력은 24kN~27kN이었으며, 레일변위는 0.3~0.5 mm정도로 미소한 편이었다.

표 2. 경간장에 따른 장척레일 해석결과(시동)

반력	축력 (kN)	레일변위 (mm)	상대변위 (mm)	지점반력 (kN)
6@06.6 6	20.8 9	0.52	0.36	64.43
4@10.0	20.8 9	0.52	0.36	64.43
3@13.2	20.9 9	0.53	0.36	75.22
2@19.7	21.0 8	0.53	0.36	85.51
1@40.0	21.4 8	0.54	0.37	131.70

표 3. 경간장에 따른 장척레일 해석결과(제동)

반력	축력 (kN)	레일변위 (mm)	상대변위 (mm)	지점반력 (kN)
6@06.6 6	24.6 1	0.33	0.33	46.48
4@10.0	27.7 1	0.33	0.33	67.47
3@13.2	24.6 1	0.34	0.33	87.67
2@19.7	26.0 9	0.54	0.53	131.70
1@40.0	23.5 4	0.42	0.38	217.90

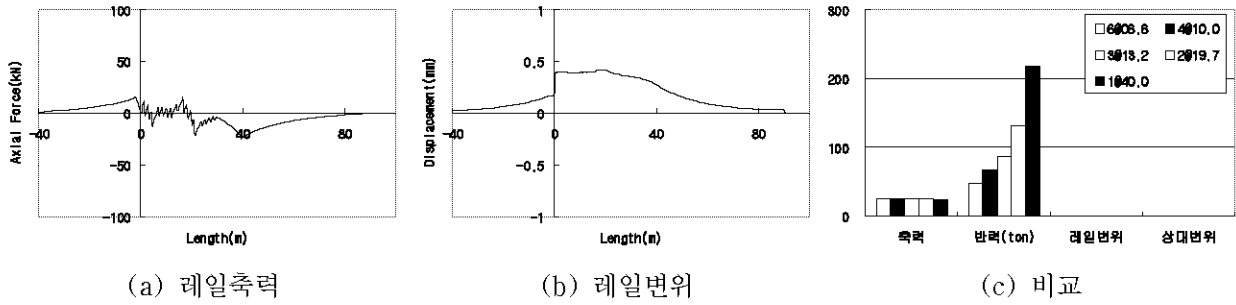


그림 3. 경간장에 따른 제동하중시 장척레일 해석결과

## 2.2 장대레일과 교량의 거동

### 2.2.1 경간장에 따른 축력해석

철도교량에서 단경간 교량들에 대하여 이상적으로 연장을 10m, 20m, 30m, 40m, 50m로 가정하고 장대 레일을 해석하고 이를 비교하고자 하였다.

#### 1) 축력해석

상기와 같은 5개의 단경간 교량들에 대하여 장대레일을 해석하고 이들 결과를 정리한 것이 아래 표와 그림들이다.

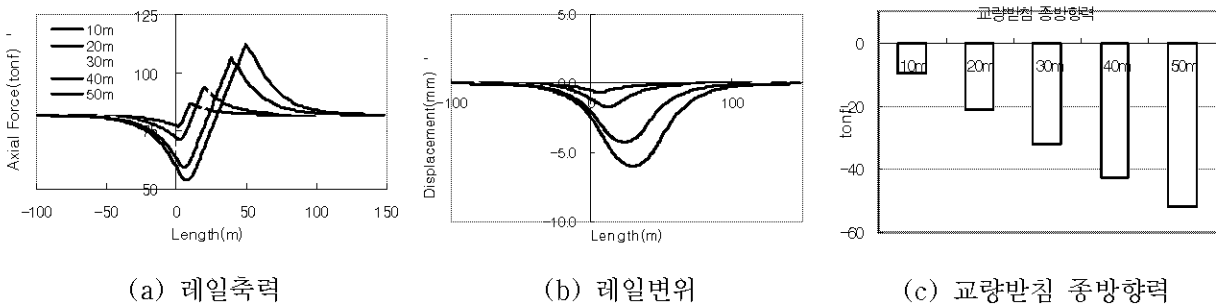


그림 4. 경간장에 따른 장대레일 해석결과

그림 4(a)와 (b)는 거더의 길이가 증가되면 거더의 온도신축에 따라 체결구를 통하여 상부 장대레일에 종방향력이 전달됨으로 점차 레일축력이나 레일의 변위도 증가됨을 나타내는 것이다. 그림4(c)는 거더가 상부 장대레일에 종방향력을 전달하기 위해서는 이를 발생시키기 위해서 전체 종방향력을 교량반침에 반대방향으로 발생시켜 레일축력의 증가량만큼 교량반침 종저항력이 증가됨을 나타내는 것이다.

체결구와 거더의 상대변위가 크다는 것은 그만큼 레일체결 스프링이나 레일패드 등의 마모 등 손상이 증가시킨다는 것을 나타낸 것이다. 자갈도상의 경우 레일체결구의 체결력이 도상종저항력보다 크므로 레일과 침목사이에서의 변위보다 침목과 도상자갈의 변위가 크므로 레일패드의 마모나 손상에 유리하고 장대레일에 거더의 온도신축에 따른 추가축력을 감소시킴으로 레일장대화에 유리한 한편 자갈마모나 신축부 자갈의 이완 등의 문제가 있다. 즉 자갈도상 교량이 유리하고 무도상 교량이 불리한 것이 아니라 거더의 온도신축에 따른 레일-거더 거동은 이를 유지시키기 위한 대가를 치러야 된다는 것이다.

표 4. 경간장에 따른 장대레일 해석결과

경간장	축력 (kN)	레일변위 (mm)	상대변위 (mm)	교량반침 저항력 (kN)
10m	82.5	0.6	4.4	-9.7
20m	93.7	1.7	9.4	-21.4
30m	100.3	2.8	14.2	-32.4
40m	106.5	4.3	18.7	-42.5
50m	112.3	6.0	16.4	-51.9

2) 시제동해석  
- 시동해석

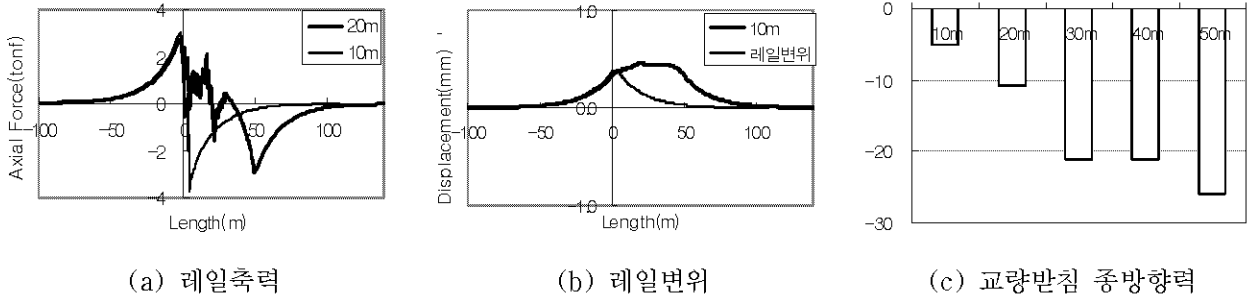


그림 5. 경간장에 따른 시동하중시 장대레일 해석결과

그림5(a), (b)는 장대레일 온도해석과 다르게 레일축력과 변위는 거더의 길이와 큰 영향이 없으며 비교적 미소한 값을 나타내고 있다. 이는 시동해석에서 체결구 종저항력을 온도해석에서보다 3배 정도 크게 적용하고 있는데 이는 국철 LS22의 경우 윤증이 11tonf로 레일체결구의 마찰계수를 0.3으로 가정한다면 마찰저항력이 3.3tonf가 된다. 이때 적용되는 시동하중은 구동윤증의 25%로 2.7tonf 이다. 즉 시동하중은 마찰력보다 작으므로 체결구에서 변위를 발생시키지 못하고 바로 거더로 전달하게 되는 것이다. 거더는 견고한 교량받침에 지지되어 있으며, 단면적이 크므로 시동하중으로 인한 탄성 단축이 미소하게 나타나므로 이들 결과치의 차이가 크지 않은 것으로 판단된다. 30m 이상 교량에서는 시동하중 자체가 같으므로 결과치가 거의 유사하게 나타나는 것이다. 레일-거더 상대변위는 미소하게 나타나고 있는데 이는 시제동하중 적용시 체결스프링을 초기 변위에서 비선형스프링의 탄성변위 내에 있기 때문이다.

표 5. 경간장에 따른 장대레일 해석결과(시동)

경간장	축력 (kN)	레일변위 (mm)	상대변위 (mm)	교량받침 저항력 (kN)
10m	-3.76	0.38	0.38	-5.43
20m	-3.42	0.44	0.43	-10.24
30m	-4.32	0.50	0.47	-15.52
40m	-4.32	0.51	0.48	-16.47
50m	-4.32	0.51	0.48	-16.47

- 제동해석

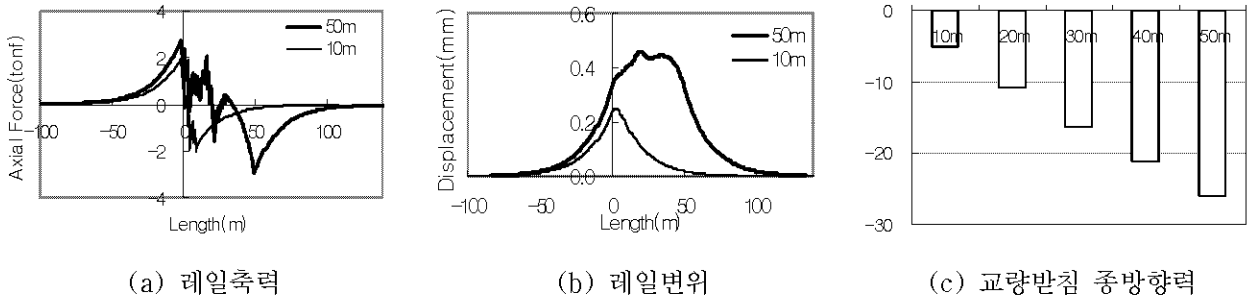


그림 6. 경간장에 따른 제동하중시 장대레일 해석결과

제동 해석결과도 시동해석과 크게 다르지 않으나 레일 축력은 다소 작게 나타나고, 교량받침 저항력은 경간장이 길수록 크게 나타나고 있다. 축력이 작게 나타나는 것은 1윤증에서 작용하는 제동하중이 구동윤증의 15%로 시동하중보다 작게 적용되기 때문이나 반면 교량받침 종저항력이 증가되는 것은 제동하중이 전체하중에 대하여 15%를 적용시키므로 연행되는 분포하중이 거더길이에 따라 재하되기 때문이다. 레일-거더 상대변위는 시동하중 재하와 유사하다.

표 6. 경간장에 따른 장대레일 해석결과(제동)

경간장	축력 (kN)	레일변위 (mm)	상대변위 (mm)	교량받침 저항력 (kN)
10m	-2.05	0.25	0.25	-5.05
20m	-2.43	0.30	0.28	-10.84
30m	-2.81	0.34	0.31	-16.22
40m	-2.38	0.41	0.32	-21.08
50m	-2.93	0.46	0.33	-25.89

## 2.2.2 경간수에 따른 축력해석

### 1) 장대레일 축력 해석

교량연장을 40m로 정하고 경간장을 4@10m, 3@13m(13.2m, 13.6m, 13.2m), 2@20m, 1@40m로 각각 모델링하여 장척레일 축력해석을 수행하였다. 해석은 관형교량의 침목 종저항력 0.6kN, 레일과 거더의 온도변화는 설정온도 25℃ 및 최저온도 -20℃을 기준으로 각각 -45℃을 적용시켰다.

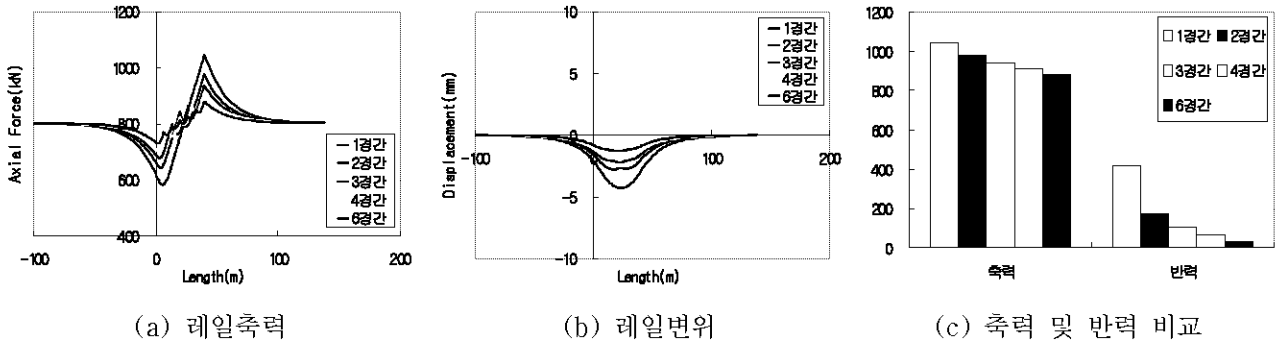


그림 7. 경간수에 따른 장대레일 해석결과

교량연장이 40m로 동일한 조건에서 경간수를 변화시키면서 해석한 결과 경간수가 증가될수록 즉 짧은 경간일수록 축력이나 교량받침 종방향력 등 모든 거동에서 감소됨을 알 수 있다. 교량의 거더 경간이 긴 경우 레일장대화에 그만큼 불리함을 나타내는 것이다. 그림 7(a)에서보는 바와 같이 교량장이 짧은 경우 거더의 수에 관계 없이 교량시점부로부터 종점부로 점차 레일 축력이 증가됨을 알 수 있다. 그러나 교량의 길이가 일정 이상이 되는 경우에는 거더들에 의한 레일의 변위로 이러한 현상은 없어지고 더 이상의 축력 증가도 나타나지 않게 된다.

표 7. 경간수에 따른 장대레일 해석결과

경간수	축력 (kN)	레일변위 (mm)	상대변위 (mm)	교량받침 종저항력 (kN)
1경간	1044.09	4.25	16.94	417.06
2경간	976.32	2.75	7.97	174.35
3경간	937.67	2.19	4.98	103.82
4경간	913.10	1.77	3.64	65.42
6경간	880.15	1.24	2.38	35.25

### 2) 시제동 해석

교량연장이 40m로 동일조건에서 경간수에 따라 시제동해석결과를 나타내었다.

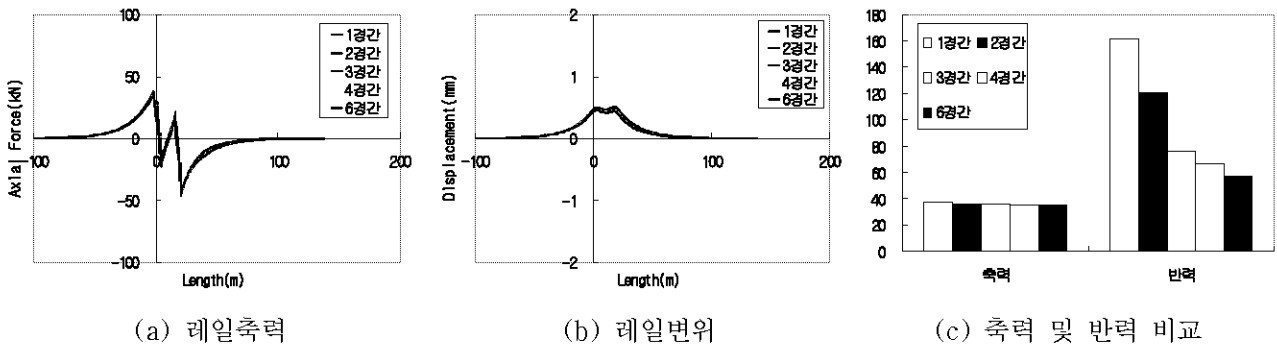


그림 8. 경간수에 따른 시제동중시 장대레일 해석결과

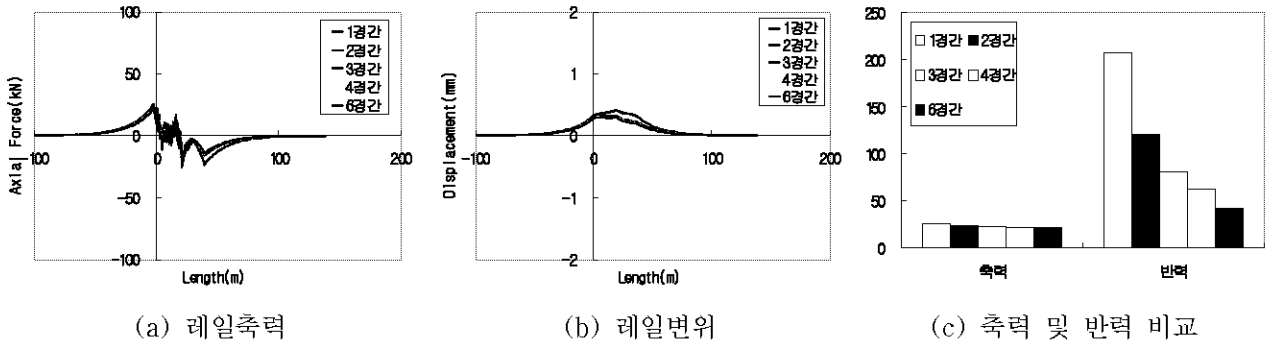


그림 9. 경간수에 따른 제동하중시 장대레일 해석결과

표 8. 경간수에 따른 장대레일 해석결과(제동)

경간수	축력 (kN)	레일변위 (mm)	상대변위 (mm)	교량받침 저항력(kN)
1경간	25.48	0.28	0.32	206.76
2경간	23.26	0.19	0.31	120.72
3경간	22.55	0.18	0.29	81.29
4경간	22.26	0.17	0.29	62.19
6경간	22.04	0.17	0.29	42.57

표 9. 경간수에 따른 장대레일 해석결과(시동)

경간수	축력 (kN)	레일변위 (mm)	상대변위 (mm)	교량받침 저항력(kN)
1경간	37.61	0.17	0.48	161.46
2경간	36.12	0.13	0.46	120.38
3경간	35.53	0.13	0.46	76.26
4경간	35.38	0.12	0.46	66.70
6경간	35.24	0.12	0.46	56.81

해석결과에서 나타난 바와 같이 시제동해석 결과는 경간의 수와 관계없이 레일축력과 변위는 거의 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 그러나 교량받침에서는 경간장이 길(경간수 감소)수록 교량받침 반력이 증가됨을 알 수 있다. 이는 경간수가 많은 경우 교량받침 수가 증가되기 때문이다.

### 3. 무도상 철도교량에서 레일과 교량의 거동

앞에서 밝힌바와 같이 레일과 교량의 상호작용은 레일체결장치의 구조적 불확실성, 교량 경계조건과 더불어 레일의 설정온도는 물론 레일설정 당시의 거더 온도 등에 따라 다르게 나타나며 교량 전후 도상 저항력도 이들 거동에 큰 영향을 미치게 된다. 교량 전후 도상종저항력이 크면 이곳에서 레일 변위는 작게 나타날 것이나 그만큼 구속됨으로 레일축력이나 교량받침에 미치는 영향은 더욱 크게 된다. 또한 시제동하중은 작용위치에 따라 다르게 나타나므로 이들은 사용목적 즉 장대레일의 안정성, 레일변위 및 교량받침에 미치는 영향 등에 따라 각각 다르게 작용시켜야 할 것이다. 여기서는 경계조건이나 레일의 상태 등이 장대레일 및 교량의 거동을 상대적으로 비교하고자 동일한 조건에서 온도하중 및 시제동하중에 대하여 해석 및 고찰 하였다.

경간 또는 교량연장이 짧은 경우는 큰 의미가 없으므로 지간이 10m 이상이고 교량연장이 200m 이상인 교량을 대상으로 장척레일, 장대레일과 교량의 경계조건 별로 온도 및 제동해석을 수행하여 그 결과들을 비교하였다. 대상교량은 아래 표와 같다. 해석결과는 경우의 수가 너무 많음으로 여기서는 경간 12.1m, 19.2m 및 24.4m에 대하여 장대레일 축력해석 결과를 비교하여 도시한 것이 아래 그림이다.

표 10. 해석대상 교량

대표 경간	교량명	지간(거더수)	연 장
12.1m	충북선 미호천(상)	26@12.7	351.1
15.2m	경부선 유천강	15@16.0	248.4
18.3m	경부선 경호강	14@19.2	277.0
18.3m	경부선 밀양강	7 @ 12.7 , 25@19.2	592.6
24.4m	충북선 미호천(하)	1 @ 12.7 , 12@25.4 , 1@12.7	351.1

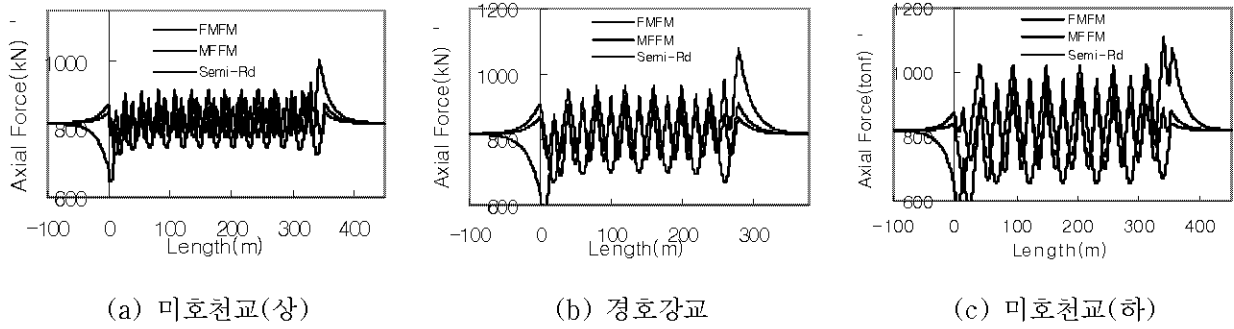


그림 10. 교량별 장대레일 축력 해석결과

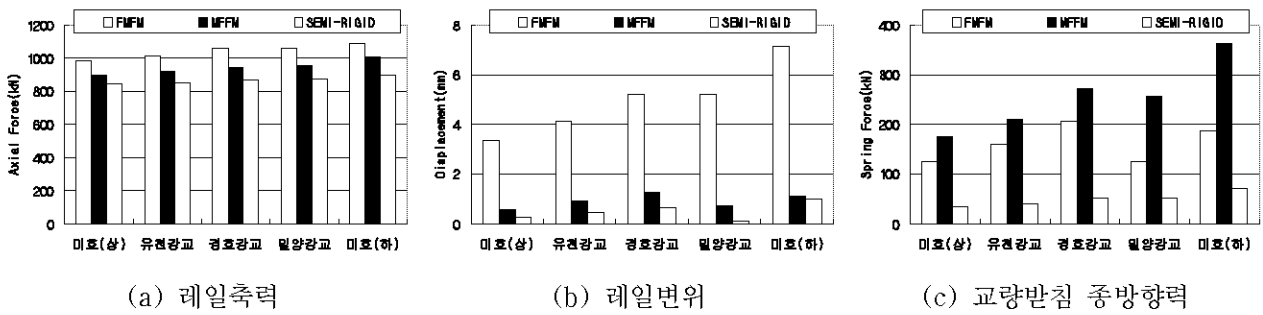


그림 11. 교량별 수치해석 결과 비교

표 11. 교량별 축력해석 결과 (단위:kN, mm)

교량	교량장 거더길이	구분	FMFM			MFFM			SEMI-RIGID		
			축력	반력	레일변위	축력	반력	레일변위	축력	반력	레일변위
미호(상)	351.1	축력	984.8	-125.7	-3.35	898.5	-174.9	-0.58	846.2	-34.8	-0.28
	12.1	제동	22.6	-81.9	0.31	23.0	-82.1	0.31	40.2	-60.7	1.49
유천강교	248.4	축력	1016.8	-159.3	-4.11	916.4	211.7	-0.95	855.3	41.9	-0.47
	15.2	제동	22.9	-98.3	0.31	23.5	-98.7	0.32	44.7	-71.5	1.71
경호강교	277.0	축력	1056.4	-205.3	-5.19	945.3	271.4	-1.29	869.6	52.6	-0.63
	18.3	제동	23.4	-94.8	0.33	24.5	-93.4	0.33	51.6	-54.8	2.07
밀양강교	592.6	축력	1056.4	-125.5	-5.19	956.2	-257.2	-0.73	871.3	-51.5	-0.11
	12.1/18.3	제동	38.1	-119.7	0.74	39.4	-122.3	0.74	53.2	-91.9	2.36
미호(하)	351.1	축력	1088.4	-187.3	-7.16	1006.9	-362.7	-1.11	896.2	-72.0	-1.00
	12.1/24.4	제동	39.1	-148.2	0.38	39.7	-150.4	0.38	65.5	-120.0	2.72

표11과 그림11에서 보는 바와 같이 장경간 교량들에서 현재의 경계조건인 FMFM에서는 대부분 온도축력이 철도교시방서 기준인 레일당 1000kN을 초과하게 되고 MFFM에서는 최대축력은 FMFM에 다소 낮게 나타나나 비교적 높은 축력이 교량전체에 분포되며, 레일과 거더의 상대변위도 크게 나타나는바 이는 레일패드의 마모 및 체결구의 내구성에서 불리하다. 교량받침 반력은 MFFM에서 가장 크게 나타나고 있으며 FMFM에서도 온도와 제동을 합한 교량받침 종방향력은 약 200kN~330kN에 이른다. 이들 종방향력은 교량받침의 손상은 물론 열차의 수직하중과 함께 보자리 파손의 중요 원인이 된다. 반고정형 받침에서는 축력이 분산됨으로 철도교 시방서 기준에 10%이상 안정성을 가지며 교량받침 종저항력도 미소함을 알 수 있다. 시제동에 의한 추가축력은 모두 미소하게 나타났다.



#### 4. 노반 조건에 따른 철도교량의 내진해석

철도교량에서 노반으로부터 연속되는 레일은 지진하중에 의한 노반의 거동에 영향을 미치게 될 것이다. 노반 저항력이 적지 않으므로 노반과 교량사이의 레일에 의한 상호작용이 발생할 수 밖에 없을 것이다. 유도상교량과 같이 상부구조가 중량인 경우에는 노반의 영향이 상대적으로 크지 않을 것이나 판형교량과 같이 상부구조가 경량인 경우에는 노반의 영향을 그만큼 크게 받게 될 것이다. 그러나 노반은 교량의 기초와 유사하게 거동하고 감쇠의 효과가 있을 것임으로 일반적으로는 노반을 포함시키는 것이 내진에 유리할 것이다. 여기서는 노반의 레일을 포함하는 경우와 교량만을 고려하는 경우로 구분하여 교량받침의 구속조건에 따른 상대적 비교를 하고자한다.

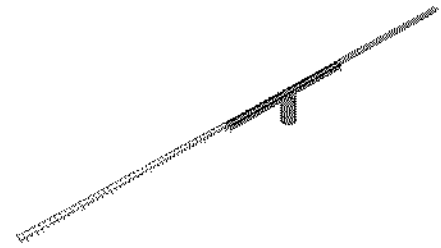


그림 12. 2경간 해석모델

노반의 조건, 교량의 조건 등이 크게 다르므로 대상 교량에 대한 특성치들을 적용하여 내진안전성을 검토하여야 할 것이나 여기서는 단순 2경간과 실제교량으로는 비교적 거더가 길고(25.4m) 교각높이가 높은 충북선 미호천교량을 대상으로 하였다. 해석은 경계조건을 노반의 도상을 포함하는 경우와 포함시키지 않는 경우 그리고 FPM과 반고정(Semi-Rigid)의 경우로 나누어 동일조건에서 시간이력해석을 하였다.

#### 4.1 2@20m 교량

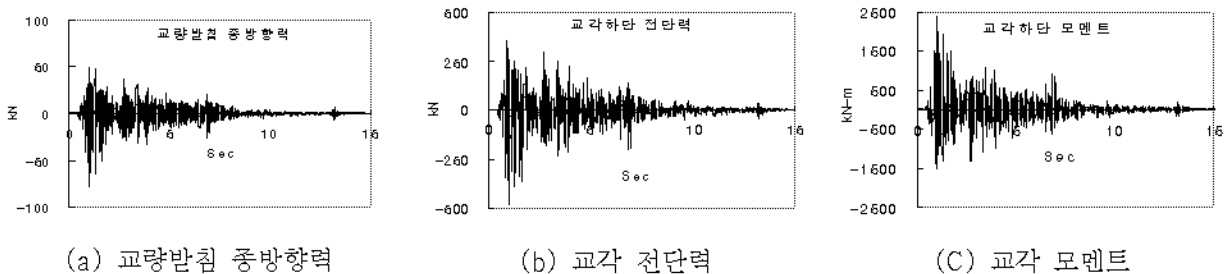


그림 13. 경계조건별 수치해석 결과비교(FMFM도상비포함 vs Semi-Rigid 도상포함)

그림13은 교량의 현 상태를 고려하여 해석결과를 나타낸 것이며 그림 14는 주요 구조 위치의 단면력을 도시한 것이다. 그림14에서 보는 바와 같이 경계조건이 FMFM인 경우 노반의 도상을 포함시키는 경우와 포함시키지 않는 경우 거의 차이가 없으나 반고정인 경우에 약 10%정도 도상을 포함시키는 낮게 나타났다. FMFM인 경우는 일반적으로 레일장대화가 시행되지 못함으로 노반의 도상과 분리된 것으로 가정하고 반고정형 받침은 레일 장대화가 가능함으로 이 경우 도상을 포함시켜 비교하면 교량받침 종방향력, 교각 전단력 및 모멘트에서 각각 약 55%, 25% 및 35% 정도 지진력이 저감되는 것이므로 상대적 비교가 가능할 것이다.

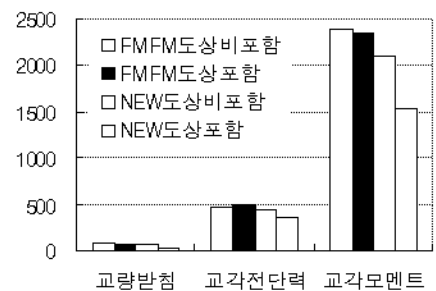


그림 14. 경계조건별 해석결과(2@20m)

이는 동일한 조건에서 노반 도상의 포함 유무 및 교량 교좌장치의 경계조건을 바꿔가며 가능한한 현실을 고려한 특성치들로 적용하여 해석한 것으로 적용방법 등에 따라 다르게 나타날 수 있을 것이다.

## 4.2 중복선 미호천교량

본 교량은 철도 판형교에서 단순교로는 경간장(25.4m)이 가장 긴 교량이며 이들 거더가 12개가 연속으로 구성된 교량이다.

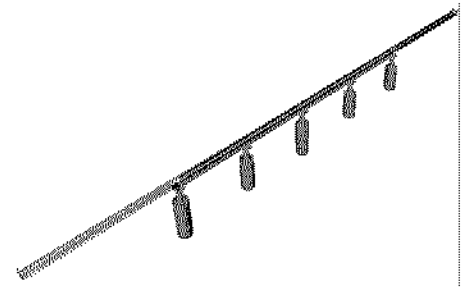
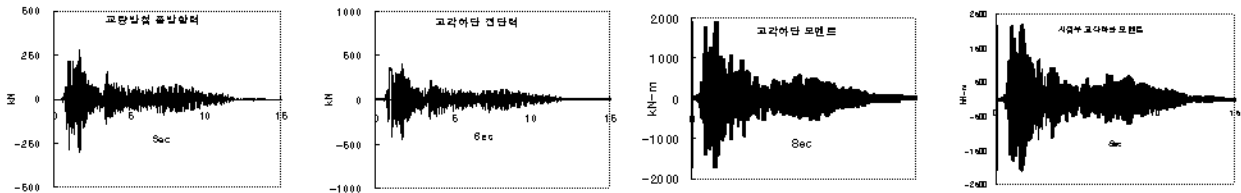


그림 15. 미호천(하) 해석모델



(a)교량받침 종방향력 (b)중간부 교각 전단력 (C)중간부 교각 모멘트 (d)시점부 교각 모멘트

그림 16. 경계조건에 따른 수치해석 결과(중복선 미호천교)

일반적인 교량형식인 FMFM 교량에서는 노반 도상을 포함시키는 경우가 포함시키지 않는 경우보다 결과치들이 약 20% 크게 나타나나 반고정형에서는 유사하거나 약간 크게 나타났다. 이결과는 앞의 2@20m의 결과와는 대치되는 것임을 알 수 있으며 일반적으로 FMFM교량형식에서 레일장대화가 되지 않고 반고정형에서는 레일장대화를 목적으로 하고 있음을 고려한다면 모두가 다소 불리한 결과들이다.

FMFM교량형식에서 레일장대화가 되지 않은 경계조건과 반고정형에서 레일장대화된 경우를 비교해보면 전자가 후자에 비하여 지진에 의한 단면력이 약 40%이상 크게 작용되고 있음을 알 수 있다. 이는 레일장대화를 위한 반고정형 교량받침의 적용은 레일장대화는 물론 내진 저항에도 유리하다는 것을 뜻하며 레일장대화는 교량의 내진안정성에도 유리하다는 것을 나타내는 것이다.

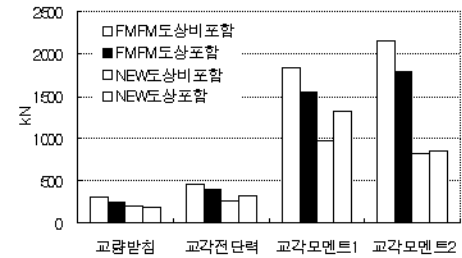


그림 17. 경계조건별 해석결과(미호천교)

## 5. 결론

무도상 철도교와 상부 레일의 해석에서 레일의 연결조건, 교량의 경계조건에 따른 온도 및 시제동해석 및 내진해석 등을 수행하고 고찰함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

장척레일의 온도해석 결과 온도축력은 안정되지만 교량받침에 미치는 종방향력은 장대레일의 경우와 유사하게 나타났으며 시제동 해석결과 실제 추가되는 축력은 미소하였으나 교량받침에 작용되는 종방향력은 경간의 길이에 비례하여 증가되었다.

장대레일에 대한 경간 길이별, 경간수별로 해석하여 그 특성들을 체계적으로 고찰하였으며, 실제 공용 중인 교량에 대하여 위의 조건에 따라 레일과 교량의 안정성을 검토하고 제시함으로써 현장에서 레일장대화에 활용할 수 있도록 하였다.

교량 연속부 노반 레도를 포함하여 교량의 경계조건에 따라 내진해석을 수행한 결과 일반적으로 노반의 레도를 포함시키면 지진력 효과가 감소되는 것으로 나타났으며, 반고정형 경계조건에서 지진력을 감소시키는 효과가 크게 나타났다. 이는 교량상 레일장대화는 내진에도 유리함을 확인할 수 있었다.

## 참고문헌

1. 철도청, 경부고속철도 기존선 활용에 따른 관형교 장대부설 및 장대레일 관리방안연구, 2000.12
2. 민경주,반결용,남보현, '무도상교량특성을 고려한 장대화방안 연구', 철도학회학술발표회, 2005.5
3. 민경주,반결용,김영국, '무도상 연속 강철교량의 레일장대화에 관한 연구', 철도학회학술발표회, 2006.5
4. 한국철도시설공단, 철도설계기준(철도교편), 2005
5. UIC Code 774-3R. "Track-Bridge Interaction Recommendations for calculations", 2001
6. 佐藤吉彦, "新軌道力學", 1997