

# 장척레일 축력 비교 연구

## A comparison study for the Axial Force of Longer Rail

민경주\*                      이성욱\*\*                      박대희\*\*\*  
Min, Kyung-Ju              Lee, Sung-Uk                  Park, Dae-Hee

---

### ABSTRACT

Form the application of long rail system the non-ballast steel plate bridges, fatigue strength increase and rail noise reduction can be expected. This is mainly form the reduction of the rail impact at the rail joint locations which already made to behave together from welds. In the high speed rail, application of long rail system is essential because without long rail system, the required serviceability level can not be achieved. But even with this long rail systems, the thermal expansion from the girder can not be absorbed in the normal bearing systems, and these expansion cause between girder and rail. Also unexpected rail buckling and fracture through rail thermal tension may happen. It was found through numerical analysis and field measurement that these problems can be avoided by semi-fixed bearing system.

In this study, the benefits of non-ballast plate bridge through long rail system, especially at the point of girder stability, girder stiffness increase and bearing maintenance will be reviewed.

---

### 1. 서론

장대레일의 여러 장점에도 불구하고 하절기 온도상승에 따른 레일압축력으로 인한 궤도 좌굴과 동절기 온도하강에 따른 레일인장력으로 인한 파단의 문제로 이를 예방하기 위하여 선로유지보수에 많은 노력과 비용이 소요된다.

반면 정척레일이나 장척레일(50m~200m)은 레일이음매의 유간에 의하여 레일의 온도신축으로 인한 거동을 수용하므로 궤도의 좌굴이나 파단의 위험이 감소되게 된다. 그러나, 레일이음매상의 레일유간이 적정하지 못하여 레일간격이 협소한 경우 또는 레일 복진이 발생된 경우에는 장대레일과 유사한 레일축력이 작용되며, 특히 자갈도상에 설치되어 있는 레일이음매구간에서는 열차충격으로 인하여 도상저항력이 저하되며 자갈의 파손, 분니 발생 등으로 레일의 좌굴 및 파손의 위험이 커지게 된다.

현재 무도상 관형교량상에서는 주로 장척레일을 부설하여 사용하고 있으며, 이러한 장척레일은 레일-교량 상호작용으로 장대레일이 비해 레일축력은 감소된다. 한편 궤도의 손상 및 교량의 안정성을 감소시키는 요인이 될 수도 있으나 장척레일의 거동에 대하여 체계적인 연구가 거의 없는 것이 현실이다.

본 연구는 이러한 장척레일의 특성을 고려하여 실제 노반 및 교량상의 장척레일을 대상으로 레일축력 해석을 통하여 비교 연구를 수행하였다.

---

\* 책임저자 : 정회원, (주)철도안전연구소, 연구개발부, 연구소장  
E-mail : kjmin@hanafos.com  
TEL : (02)412-1100 FAX : (02)412-5662

\*\* 정회원, Korail 대전지사      시설팀      팀장  
\*\*\* 정회원, Korail 시설기술단      선로관리팀      부장

## 2. 노반상 장척레일 거동

### 2.1 장척레일의 거동 일반

레일의 형상은 수많은 경험으로 단면의 안전성과 효율성을 바탕으로 개발되어 왔으며, 현재에도 다양한 종류의 레일이 사용되고 있다. 50kgN 레일, 60kg 레일, UIC 레일이 주로 사용되고 있으며, AR, 37kg 레일이 일부구간에 설치되어 있다. 이러한 레일들은 레일구조적 특성, 선로선형 및 노반구조 등에 적절하게 연속되는 레일길이에 따라 정척레일(20~25m), 장척레일(50~200m) 및 장대레일(200m 이상)로 구분되고 있다. 장대레일의 기준으로 삼는 부동구간의 존재는 사실상 설정온도와의 차이와 도상저항력에 의하여 그 범위가 달라지는 것이 사실이나 통상의 궤도에서는 레일신축부로부터 100m 정도 이격되어 있으면 레일은 온도신축의 영향을 거의 받지 않는 것으로 보고 있다. 이러한 정척, 장척 및 장대레일의 구분은 사실상 레일의 온도신축량과 적절한 유간의 설정에 따라 1개 연속되는 레일의 길이가 결정되게 된다. 이들은 레일체결구의 성능, 도상저항력, 침목의 종류, 구조물의 온도신축이 레일에 미치는 영향 등에 따라서 이에 적절하게 구분되어 궤도의 안정성, 레일 용접, 유지관리비용 등을 고려하여 설치하게 된다.

1개 레일 길이가 짧은 정척레일의 경우 적절한 유간이 유지되면 궤도의 좌굴에서 가장 유리한 반면 열차 주행에 레일이음부에서 필연적으로 발생하는 열차 충격으로 인하여 궤도 파괴가 신속하게 발생되며 1개 연속되는 레일의 길이에 반비례하여 충격의 개소가 증가되므로 그 만큼 레일손상, 침목손상, 도상자갈의 마모 파쇄 등으로 인한 분리의 발생 등의 손상을 받게 된다.

장척레일은 20~200m 사이로 레일이음매는 정척레일에 비하여 길이만큼 줄어드나 1개 레일 모두가 가동구간으로 레일신축량이 증가되므로 이음매부분에서 유간의 증가가 요구된다. 이는 정척레일 사용시보다 레일이음매수가 감소됨으로 열차 충격개소가 감소되는 반면 확대된 유간으로 충격은 그만큼 크게 된다. 한편, 하절기에는 유간 조정에 오류가 있거나 레일의 복진등으로 유간이 폐쇄되어 맹유간이 발생되면 이곳에서의 궤도파괴로 인한 도상저항력의 손실과 더불어 궤도의 좌굴이 발생될 수 있다.

장척레일의 이음매부분은,

- ① 레일의 불완전연속으로 횡방향 강성이 거의 없는 구조이며,
- ② 불연속성에 의한 열차의 충격으로 도상자갈의 마모 및 파쇄 등으로 도상저항력의 손실이 크며,
- ③ 이들은 하절기 강우와 더불어 분니 증가를 촉진시키게 되고,
- ④ 뜯침목이 발생되어 열차충격은 더욱 증가되며,
- ⑤ 레일이음매의 침목에서 주변 침목으로 뜯침목이 확대되어 궤도 좌굴이 발생될 확률이 그만큼 높아지게 된다.

특히, 레일이음매 연결볼트는 일정 위치까지 나사산이 taper로 제작되어 불연속된 레일을 연속시키는 데 있어서 레일의 종방향 직진성을 유지하면서 레일의 온도신축이 원활하도록 제작 되어 있다. 과거 이러한 점을 인식하지 못한 제작과 taper 볼트의 특성을 이해하지 못하고 과체결(볼트조임)시키는 경우가 발생되어 레일이음매의 역할을 충실히 할 수 없는 경우도 있었다.

### 2.2 노반장척레일의 거동 특성

노반상 장척레일의 거동특성을 파악하기 위하여 주로 적용되는 50m 장척레일에 대하여 도상저항력의 변화, 온도의 변화 및 유간부족에 따른 거동특성 등에 대하여 수치해석적 방법으로 규명하고자 하였다. 아래 표1은 수치해석에 사용된 궤도에 대한 물성값을 대표적으로 나타낸 것이며 각종 관련 자료들을 사용하였다.

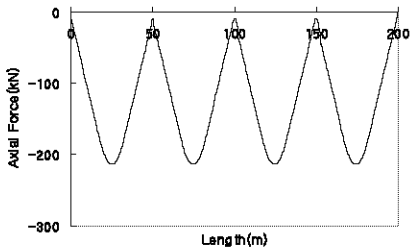
### 2.2.1 도상저항력과 장척레일의 거동

장척레일의 레일이음매에서 적정 유간이 유지되지 못한 경우에는 유간이 맹유간 되는 일정은 도신축까지는 신축부 레일의 온도 거동과 같으나 일단 맹유간이 되면 레일은 더 이상 온도변위가 불가능하므로 이때부터는 장대레일과 유사한 거동을 하게 되며 이를 나타낸 것이 그림1이다.

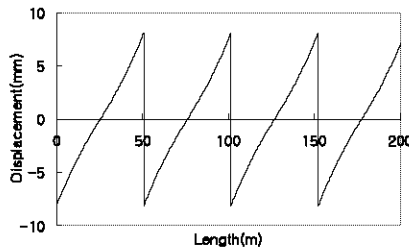
그림1에서는 도상종저항력이 10kN/m인 경우 온도변화량은 35℃(설정온도를 25℃, 최고레일온도를 60℃)일때 50m 장척레일을 모델링하여 해석한 레일축력 결과를 나타낸 것이다. 위 그림1(a)와 (b)에서 보는 바와 같이 최대 레일 축력은 217.6kN, 유간감소량은 16.12mm이다. 그림1(c)는 도상에 발생된 스프링력을 나타낸 것이다.

표 1. 해석에 사용된 궤도의 물성치 및 제원

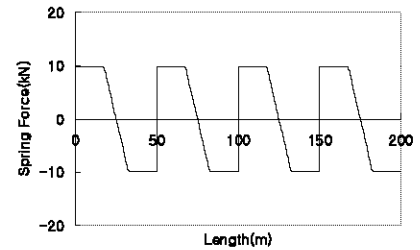
레일	단면적	A = 0.0155m <sup>2</sup> (2×60KS, 궤도당)
	탄성계수	E = 2.1×10E8kN/m <sup>2</sup>
	열팽창계수	α = 1.14×10E-5
	최대 온도변화	ΔT = ±45℃
종저항력 (Bilinear model)		유도상궤도(UIC 774-3 추천 값) •보수중간 : 12kN/m/궤도 •보수양호 : 20kN/m/궤도 •시.제동 작용구간 : 각 구간 도상저항력 × 4 ※ 안전측의 검토를 위하여 축력검토 시에는 20kN/m를 적용하고 변위 검토 시에는 12kN/m를 적용
	한계변위	u <sub>0</sub> = 2mm (UIC 774-3 추천 값)



(a) 레일 축력



(b) 레일 변위



(c) 레일에 작용되는 저항력

그림 1. 50m장척레일 축력해석결과

레일 신축이음부의 온도신축량은 아래와 같은 이론식으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta = EA\alpha^2 \cdot \Delta T/2r \tag{1}$$

수치해석결과와 이론식을 적용한 결과와의 오차는 계산식에서 근사적으로 도상저항력이 장척레일 전 구간에 작용된다는 가정을 했기 때문이다. 즉 그림 1(b)에서 보는 바와 같이 레일의 변위가 2mm 이내 인 레일 중심부 부근에서는 침목저항력은 궤도의 종저항력보다 낮기 때문이다.

이 변위량이 이론적 하절기 적정 유간이 될 것이다. 그러나 유간도 도상종저항력이 크면 작게 되고 도상저항력이 작으면 크게 유지해야 된다. 즉, 도상저항력이 ‘零’일 때 레일이음매에서 축력에 발생되지 않게 하기 위한 유간은  $\Delta = \alpha \cdot \Delta T \cdot L = 19.95\text{mm}$ 가 되며 그림2는 50m 장척레일이 35℃ 온도차에 따른 도상저항력과 유간 및 레일 축력을 나타낸 것이다. 실제해석이 식보다 낮게 나타나는 것은 장척레일의 길이가 50m이므로 실제 신축될 수 있는 길이는 25m로 부동구간에 이르지 못함으로 위의 장대레일을 기준으로 한 계산식의 적용은 다소 무리가 있다.

표 2. 도상저항력과 장척레일 거동

도상종저항력 (kN/m)	유간감소 (mm)	최대축력 (kN)
6	17.70	134.1
8	16.90	176.6
10	16.12	217.6
12	15.36	257.0
14	14.60	294.0
15	14.22	311.7

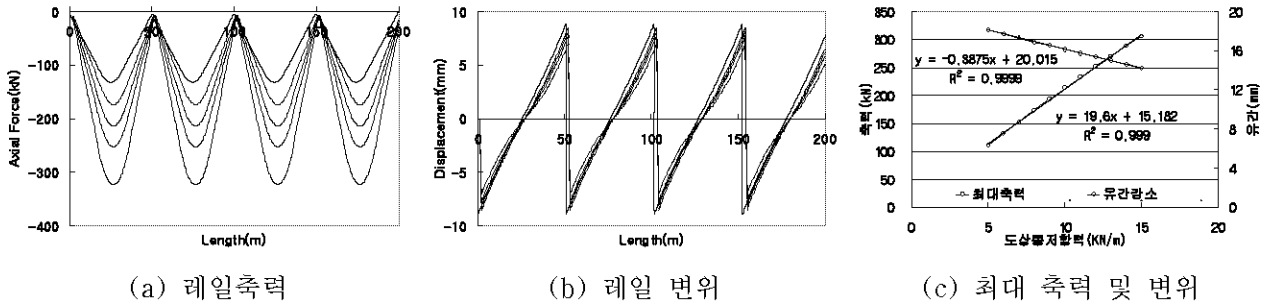


그림 2. 도상저항력에 따른 장척레일 거동

해석결과는 도상저항력과 유간의 반비례적 관계를 보여준다. 문제는 도상종저항력은 도상횡저항력과 상관관계가 높음(일반적으로 도상종저항력을 횡저항력의 1.5배로 봄)으로 도상저항력이 낮은 경우 궤도 안정성을 그만큼 저해하게 된다. 특히 레일이음매가 있는 곳에서 도상횡저항력은 다른 구간에 비해 열차 충격으로 인하여 대부분 손상을 입은 상태로 유지되고 있음에 유의하여야 할 것이다.

이러한 결과들은 레일이음매 부근에서 적정유간을 관리하는 기준을 재정립하는데 활용 할 수 있을 것이다. 즉, 온도의 상승으로 인한 맹유간의 시점으로부터 추가되는 온도상승량과 레일축력 그리고 도상저항력에 의한 궤도좌굴방지와의 관계를 규명할 필요가 있다. 실용적으로는 일정 저항력이 발현될 수 있도록 궤도를 유지관리하는 것이 중요하다 할 수 있을 것이다.

### 2.2.2 온도상승과 정척레일의 거동

온도단계별 장척레일의 신축과 축력을 해석한 결과를 나타내 것이 아래 표3와 그림3이다. 도상종저항력은 일반적으로 적용하는 10kN/m(레일당), 온도상승은 35℃, 온도하강은 45℃(설정 온도 25℃, 레일최저온도 -20℃)를 기준으로 하였다. 이론적으로는 상승이나 하강에 대한 레일축력 및 레일변위를 동일하게 취급함으로 여기서는 구분없이 최대값은 45℃까지 나타내었다.

온도의 상승에 따른 레일축력의 증가는 온도가 상승하면서 증가폭이 낮아짐을 알 수 있으며 온도변화 약 45℃에서는 거의 수렴되고 있음을 알 수 있다. 이때 레일축력의 수렴은 도상종저항력이 10kN/m이므로 최대 250kN를 초과할 수 없다. 그러나 레일변위는 축력과 반대의 경향으로 온도가 상승함에 따라 초기에 도상저항력이 선형스프링으로 작용될때를 지나면 직선적으로 거의 비례하여 증가됨을 알 수 있다. 즉 온도가 계속 증가되어 도상종저항력이 모두 비선형상태가 되는 온도에 이르게 되면 레일의 온도신축은 구속되지 않은 자유신축과 같게 된다.

표 3. 온도와 정척레일 거동

온도(℃)	유간감소(mm)	최대축력(kN)
10	3.54	99.8
20	7.90	175.9
30	613.3	209.0
35	16.12	217.6
40	18.96	223.8
45	21.82	228.2

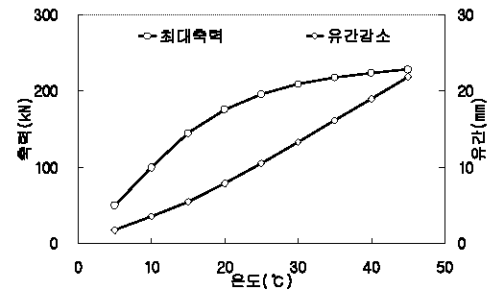


그림 3. 온도와 정척레일 거동

### 2.2.3 유간부족과 정척레일의 거동

적정유간과 부족유간에 대하여 수치해석을 통하여 레일축력을 나타낸 것이며 그림 4와 같다. 해석의 편의를 위하여 50m 장척레일 4개 총 200m를 모델링하여 레일 이음부에서 축하중을 주었으며 이때의 변위를 유간 부족량으로 간주하였다. 이들 해석결과를 나타낸 것이 표4이며, 그림5는 유간 부족량에 따른 레일축력의 변화와 외측레일의 변위를 나타낸 그림이다

표 4. 유간부족과 장척레일 거동

외력 (kN)	유간 부족량 (mm)	최대 축력 (kN)	레일변위 (mm)	
			외측	내측
0	0	217.6	8.06	8.06
100	2.29	264.2	8.92	5.77
200	4.55	308.8	10.13	3.51
300	6.15	351.5	11.01	1.91
400	7.54	406.1	11.85	0.52

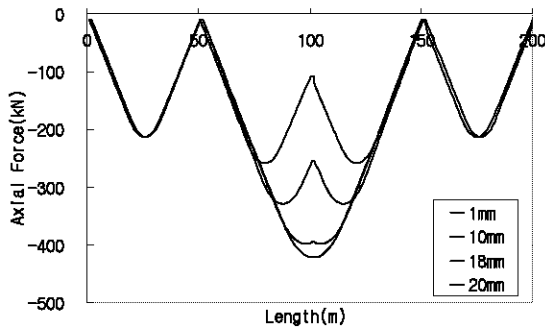


그림 4. 유간 부족량에 따른 레일 축력

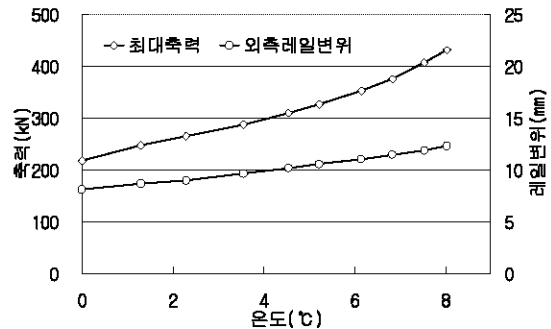


그림 5. 유간부족과 장척레일 거동

### 2.2.4 장척레일 길이와 거동

정척레일(25m기준), 장척레일 50m와 100m, 장대레일 200m에 대하여 도상종저항력 10kN/m, 온도상승은 35°C에서 이들 레일의 거동을 나타낸 것이 아래 그림6이다. 25m 정척레일에서는 하절기 온도상승에 따른 최대축력과 유간은 각각 약 90kN과 9mm이고 200m 장대레일의 경우에는 각각 608.0kN과 27mm이다. 동일조건에서 장대레일의 경우 레일축력은 623.7kN으로서 이보다 약 15.7kN 정도 낮게 나타났으며 중앙점을 제외한 모든 곳에서 레일변위가 발생된다. 실제 보통의 궤도는 신축부로부터 약 50m까지만 레일변위가 발생하는 가동구간으로 인지하고 있는 현실과는 차이가 있음을 보인다. 이 차이는 다음과 같이 몇 가지 요인으로 요약할 수 있다.

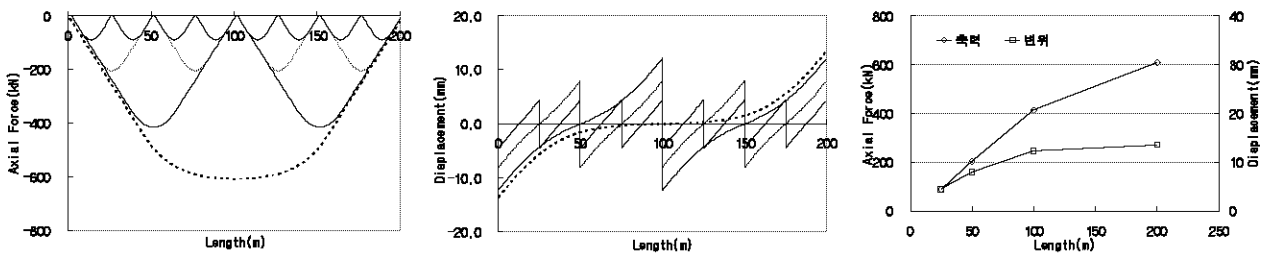


그림 6. 레일길이에 따른 축력 및 변위

첫번째는 궤도의 종저항력 스프링계수 가정의 오차이다. 장대레일 수치해석에서 궤도의 종저항력을 나타내는 bi-linear spring의 가정은 궤도의 실제 거동과 상당한 차이가 있다. 즉 레일이 침목에 온도변위를 가하게 되면 침목은 가정한 종저항력과 같이 초기부터 변위가 발생하는 것이 아니라 일정부분(약 30%정도)의 축력이 가해질 때까지

표 5. 레일길이에 따른 축력/변위

레일길이 (m)	축력 (kN)	변위 (mm)	유간 (mm)
25	9.08	4.53	9.06
50	20.78	8.06	16.12
100	42.18	12.28	24.56

는 마찰저항에 의하여 변위가 거의 발생되지 않으나 해석에서의 가정은 스프링력을 10kN/2mm까지는 선형으로 가정하는 오차가 주요 원인인 것으로 판단된다.

200	61.99	13.59	27.12
-----	-------	-------	-------

두번째는 실제 궤도의 저항력은 궤도의 안정성을 해석하는데 적용시키는 특성치들보다 상당히 큰 저항력을 유지하고 있다고 볼 수 있다. 즉 궤도의 안정성 해석은 주로 궤도의 좌굴 안정성에 관한 것으로 이때 궤도의 저항력은 통계확률적으로 낮은 수치를 사용하는 것이다. 그러나 레일축력이나 변위를 안정성해석이 아닌 사용성 또는 이들에 의해 다른 구조계에 영향을 미치게 될 때에는 이들이 온도하중으로 작용됨으로 통계확률적으로 높은 수치를 사용하는 것이 정상적이다. 이는 설계시 하중은 확대계수를 저항은 감소계수를 사용하는 것과 동일한 이치이다.

세번째로 레일에 축력이 작용되면 힘-변위관계는 정적이고 연속적으로 거동하는 것이 아니라 일정의 에너지가 축적될 때까지 레일변위가 발생되지 않는 마찰에 의한 지연거동 때문이다. 이는 교량에서 온도변화가 급격한 오전 10시 전후에 레일과 거더의 상대 변위에서 나타나는 현상이기도 하다.

### 3. 무도상 교량상 장척레일의 거동

교량상 장척레일 부설은 여러 가지 조건들이 있을 수 있으므로 여기서는 대표적으로 40m 교량을 일반화시켜 경간장을 4@10m, 3@13m, 2@20, 1@40로 이상화시켜 장척레일 축력해석을 수행하고 실제 교량에 적용시켜 해석하였다.

#### 3.1 40m 교량

##### 3.1.1 온도 축력

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 6kN/침목1정, 레일과 거더의 온도변화는 설정온도 25℃ 및 최저온도 -20℃을 기준으로 각각 -45℃을 적용시켰다.

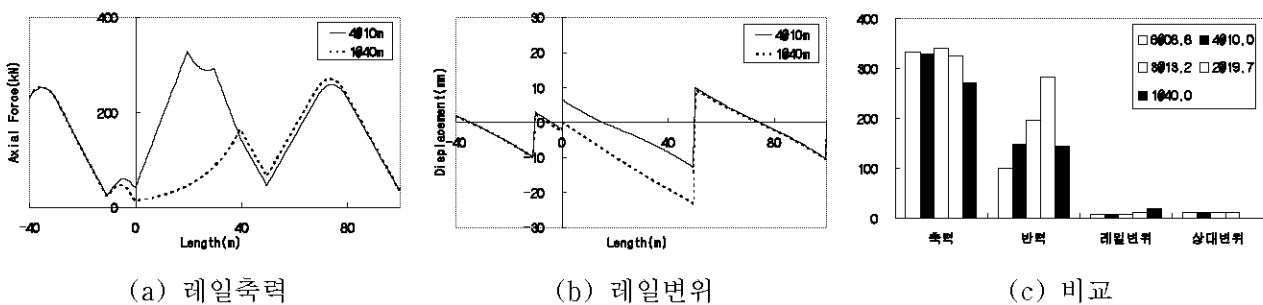


그림 7. 경간장에 따른 장척레일 해석결과

그림7과 표6에서 축력은 큰 차이가 없으며 비교적 낮은 축력이다. 40m 거더에서 상대변위와 지점반력이 작은 것은 레일과 거더가 비슷하게 거동하기 때문이나 이 경우 장대레일이 부설될 때에는 이들 값은 크게 증가되게 될 것이다. 여기서 지점의 수평반력은 20m 거더의 경우에도 약 283kN이 작용되고 있음을 알 수 있다. 물론 관형교량은 궤도의 엄격한 관리가 어려움으로 궤도의 저항력이나 교량받침의 지지조건이 수치해석과 같이 이상적이 아니므로 실제 작용되는 값들에는 다소 차이가 있을 것이다. 이들의 결과는 거더의 길이에 따른 해석결과치에 대한 경향에서 일관성이 부족함을 나타내고 있다. 이는 장

척레일 이음부의 위치에 따라 크게 다르게 나타날 수 있을  
을 의미하므로 장척레일 설치 위치는 거더길이, 교량연장  
및 교량받침의 지지조건 등에 영향을 크게 받을 수 있다는  
것을 알 수 있을 것이다.

### 3.1.2 시제동하중

본 해석모델 교량은 교량연장이 40m이므로 열차하중 특  
성상 제동하중보다는 시동하중의 영향을 크게 받을 것으로 판단되나 본 연구에서는 LS22하중에 대한  
시제동하중에 대하여 모두 해석하였다.

표 6. 경간장에 따른 장척레일 해석결과표

거더	축력 (kN)	레일변위 (mm)	상대변위 (mm)	지점반력 (kN)
6@06.6	332.45	7.17	12.20	99.93
4@10.0	328.82	8.13	11.83	148.37
3@13.2	341.17	8.97	11.36	195.05
2@19.7	324.89	10.21	10.04	283.02
1@40.0	271.64	18.60	1.20	144.16

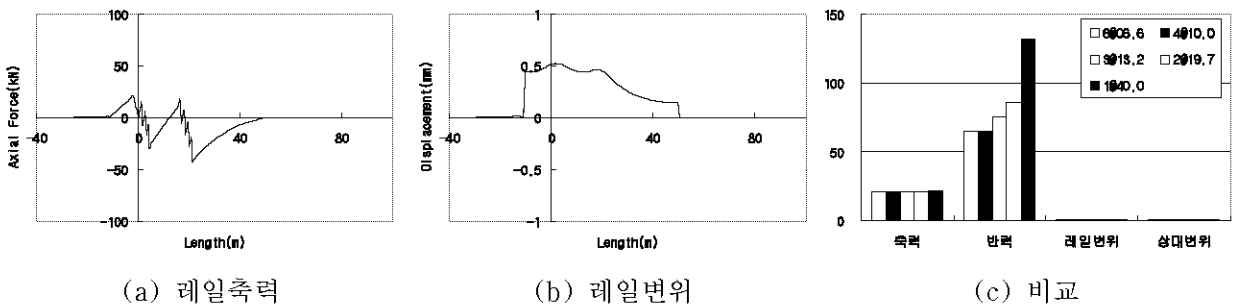


그림 8. 경간장에 따른 시동하중시 장척레일 해석결과

시동하중 재하시 해석결과 경간장 40m에서 거더의 수와  
관계없이 약 21kN이었으며, 레일변위는 0.5mm정도로 미소  
한 편이었다. 지점 종방향 반력의 변화가 크게 나타나는  
거더의 개수 즉 1경간은 1개의 교량 받침에서 시동력을 수  
용하여야 하나 거더가 6개로 구성된 경우에는 6개의 교량  
받침이 저항하므로 종저항력이 감소된다. 6개 거더와 4개  
거더가 유사하게 나타나는 것은 차량의 축중 간격 특성과  
1개 거더의 길이와 관계 때문이다.

표 7. 경간장에 따른 장척레일  
해석결과(시동)

거더	축력 (kN)	레일변위 (mm)	상대변위 (mm)	지점반력 (kN)
6@06.6	20.89	0.52	0.36	64.43
4@10.0	20.89	0.52	0.36	64.43
3@13.2	20.99	0.53	0.36	75.22
2@19.7	21.08	0.53	0.36	85.51
1@40.0	21.48	0.54	0.37	131.70

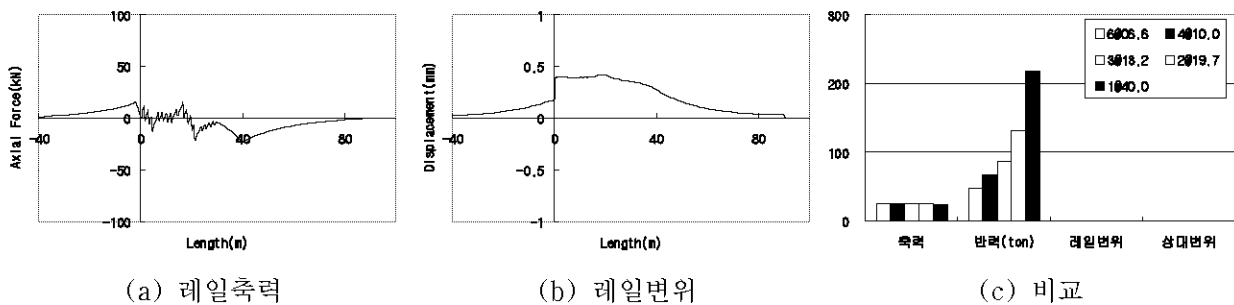


그림 9. 경간장에 따른 제동하중시 장척레일 해석결과

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

표 8. 경간장에 따른  
장척레일해석결과(제동)

반력	축력 (kN)	레일변위 (mm)	상대변위 (mm)	지점반력 (kN)
6@06.6	24.6	0.33	0.33	46.48
1				

### 3.2 교량별 수치해석

#### 3.2.1 경부선 밀양강교량(하)

밀양강교량(하)는 경부선 유천~밀양간 382km 254에 위치한 직선교량으로 13.47+6@13.70+24@19.90+19.32=592.59m로 구성되어 있으며, 교량받침은 면받침 및 선받침을 사용하고 있다.

온도하중시 축력은 최대 557.61kN이며, 시제동하중 재하시 최대 67.76kN이다. 또한, 교량받침에 미치는 반력은 207.33kN이며, 시제동하중 재하시 최대 반력은 109.34kN이다.

4@10.0	27.71	0.33	0.33	67.47
3@13.2	24.61	0.34	0.33	87.67
2@19.7	26.09	0.54	0.53	131.70
1@40.0	23.54	0.42	0.38	217.90

표 9. 경부선 밀양강교량(하) 해석 결과

하중	축력 (kN)	레일변위 (mm)	상대변위 (mm)	반력 (kN)
온도	557.61	13.05	8.00	207.33
시동	67.76	0.74	0.22	84.83
제동	33.34	0.77	0.26	109.34

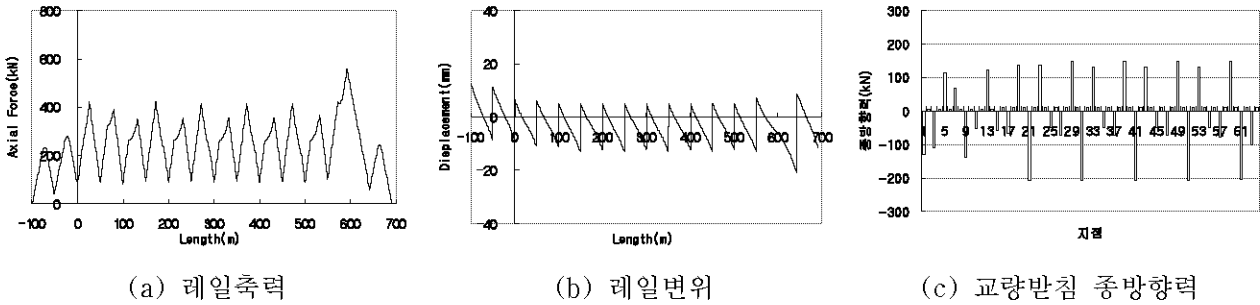


그림 10. 밀양강교량(하) 온도하중 재하시

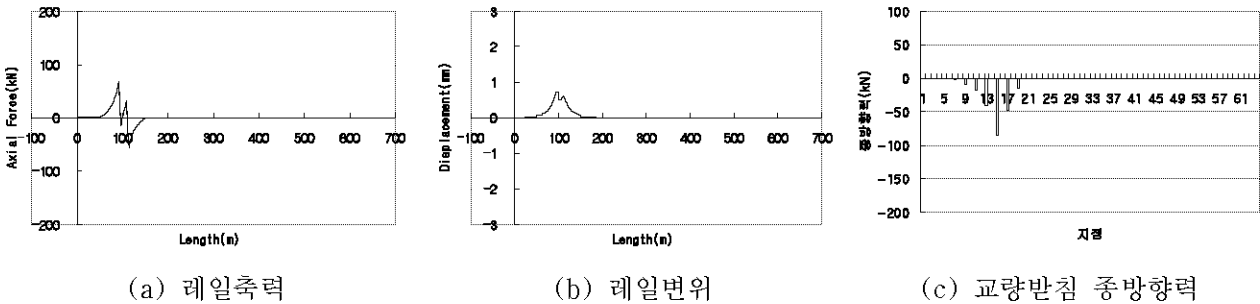


그림 11. 밀양강교량(하) 시동하중 재하시

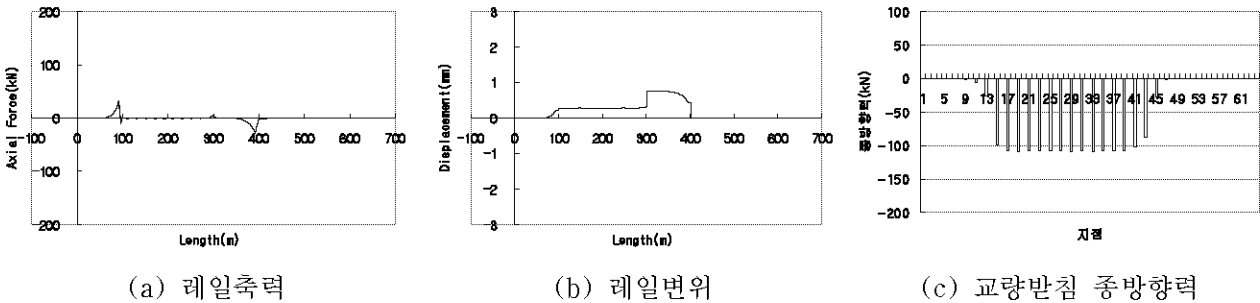


그림 12. 밀양강교량(하) 제동하중 재하시

#### 3.2.2 경부선 유천강교량

유천강교량은 경부선 상동~밀양간 375km075에 위치한 직선교량으로 16@15.2m=265.1m로 구성되어 있다. 온도하

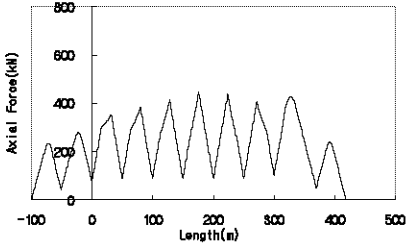
표 10. 경부선 유천강교량 해석 결과

하중	축력 (kN)	레일변위 (mm)	상대변위 (mm)	반력 (kN)
----	---------	-----------	-----------	---------

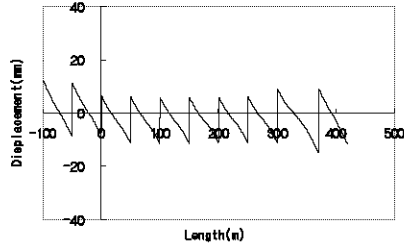


중시 축력은 최대 447.97kN이며, 시제동하중 재하시 최대 24.03kN이다. 또한, 교량받침에 미치는 반력은 165.49kN이며, 시제동하중 재하시 최대 반력은 105.51kN이다.

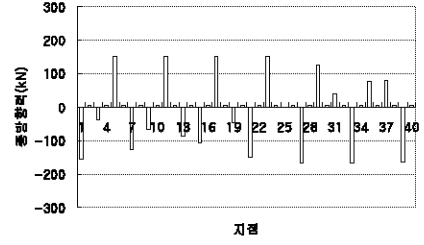
온도	447.97	14.69	5.50	165.49
시동	24.03	0.53	0.47	91.91
제동	14.51	0.35	0.30	105.51



(a) 레일축력

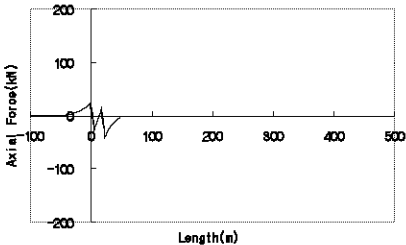


(b) 레일변위

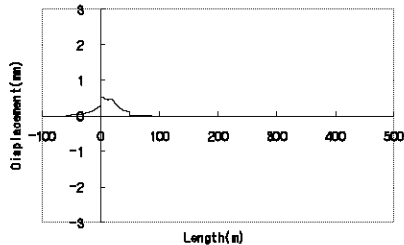


(c) 교량받침 종방향력

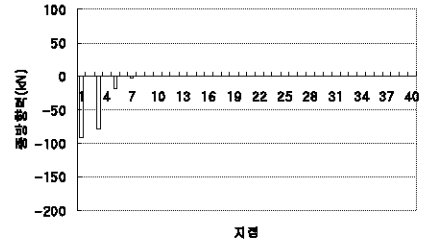
그림 13. 유천강교량 온도하중 재하시



(a) 레일축력

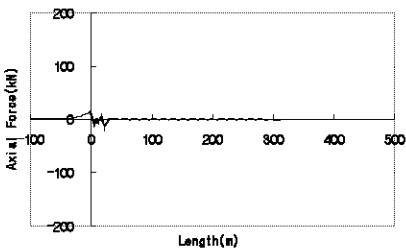


(b) 레일변위

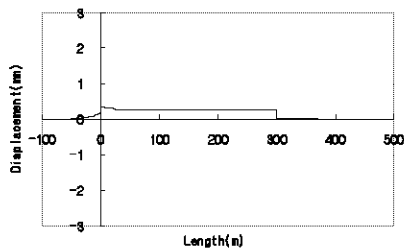


(c) 교량받침 종방향력

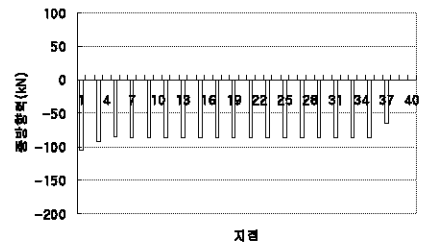
그림 14. 유천강교량 시동하중 재하시



(a) 레일축력



(b) 레일변위



(c) 교량받침 종방향력

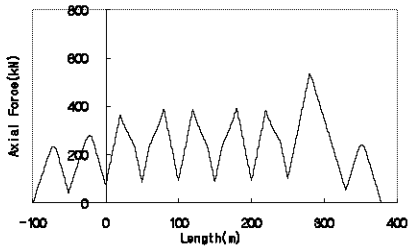
그림 15. 유천강교량 제동하중 재하시

### 3.2.3 경부선 경호강교량

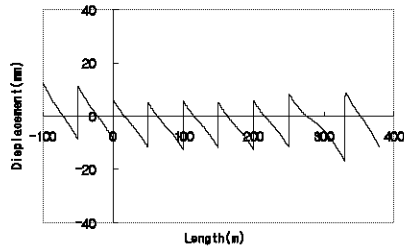
경호강교량은 경부선 김천~대신간 255km866에 위치한 교량으로 7@18.3,18.05,17.6,2@17.4,17.85,2@18.3=277m로 구성되어 있다. 온도하중시 축력은 최대 532.71kN이며, 시제동하중 재하시 최대 556.78kN이다. 또한, 교량받침에 미치는 반력은 307.44kN이며, 시제동하중 재하시 최대 반력은 416.78kN이다.

표 11. 경부선 경호강교량 해석 결과

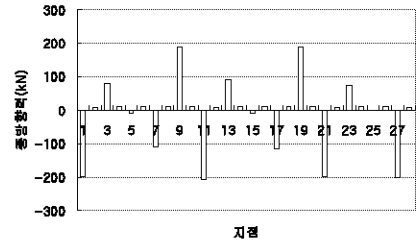
하중	축력 (kN)	레일변위 (mm)	상대변위 (mm)	반력 (kN)
온도	532.71	16.91	6.94	204.97
시동	24.08	0.54	0.48	129.49
제동	14.56	0.36	0.31	130.33



(a) 레일축력

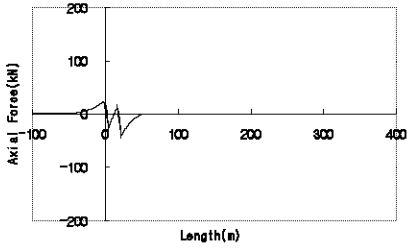


(b) 레일변위

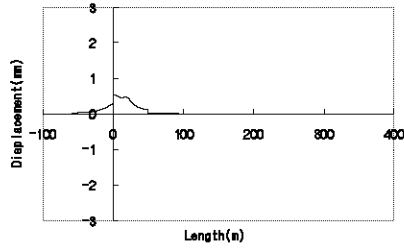


(c) 교량받침 종방향력

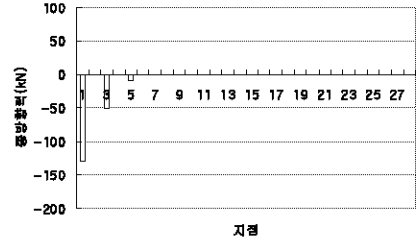
그림 16. 경호강교량 온도하중 재하시



(a) 레일축력

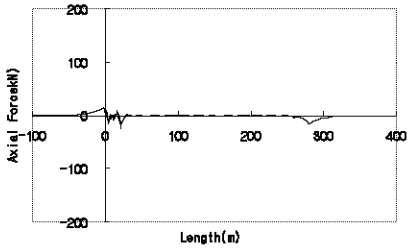


(b) 레일변위

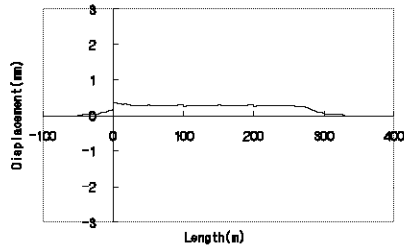


(c) 교량받침 종방향력

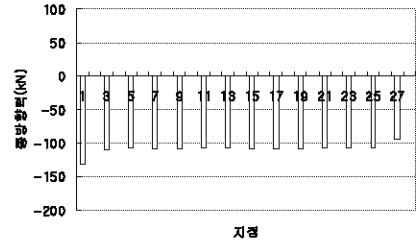
그림 17. 경호강교량 시동하중 재하시



(a) 레일축력



(b) 레일변위



(c) 교량받침 종방향력

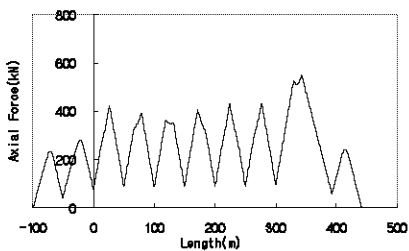
그림 18. 경호강교량 제동하중 재하시

### 3.2.4 중복선 미호천교량(상)

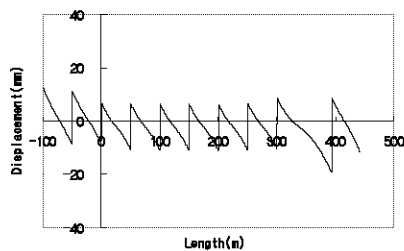
중복선 미호천교량(상)은 오송~청주간 6km 460에 위치한 직선교량으로 26@12.1m=351.1m로 구성되어 있다. 온도하중시 축력은 최대 549.27kN이며, 시제동하중 재하시 최대 24.03kN이다. 또한, 교량받침에 미치는 반력은 135.07kN이며, 시제동하중 재하시 최대 반력은 88.29kN이다.

표 12. 중복선 미호천교량(상) 해석 결과

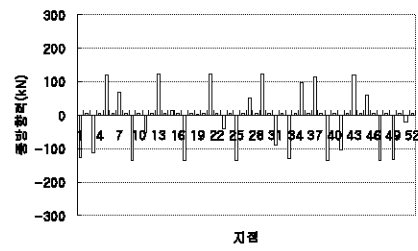
하중	축력 (kN)	레일변위 (mm)	상대변위 (mm)	반력 (kN)
온도	549.27	11.05	4.49	135.07
시동	24.03	0.53	0.47	83.35
제동	14.51	0.34	0.30	88.29



(a) 레일축력



(b) 레일변위



(c) 교량받침 종방향력

그림 19. 중복선 미호천교량(상) 온도하중 재하시

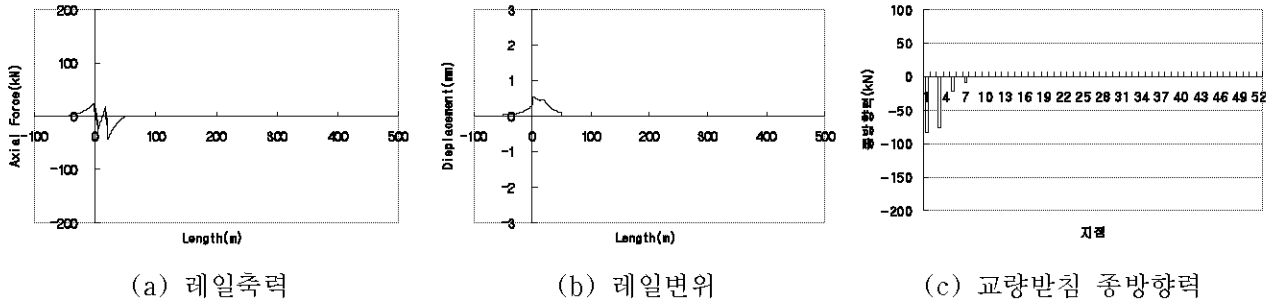


그림 20. 중복선 미호천교량(상) 시동하중 재하시

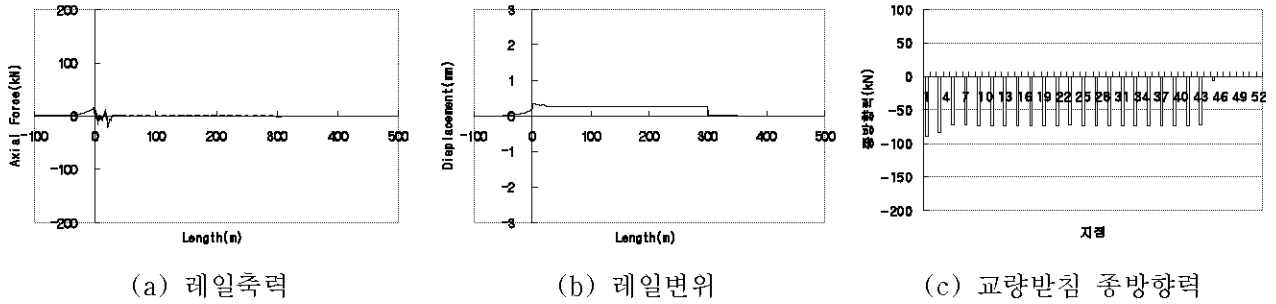


그림 21. 중복선 미호천교량(상) 제동하중 재하시

### 3.2.5 중복선 미호천교량(하)

중복선 미호천교량(하)는 직선교량으로 1@12.1, 12@24.4, 1@12.1=351.1m로 구성되어 있다. 온도하중시 축력은 최대 448.46kN이며, 시제동하중 재하시 최대 52.07kN이다. 또한, 교량받침에 미치는 반력은 251.94kN이며, 시제동하중 재하시 최대 반력은 169.07kN이다. 거더의 길이가 비교적 길어 교량받침 종방향력이 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

표 13. 중복선 미호천교량(하) 해석 결과

하중	축력 (kN)	레일변위 (mm)	상대변위 (mm)	반력 (kN)
온도	448.46	14.64	9.51	251.84
시동	52.07	4.30	0.27	35.53
제동	15.89	0.79	0.34	169.07

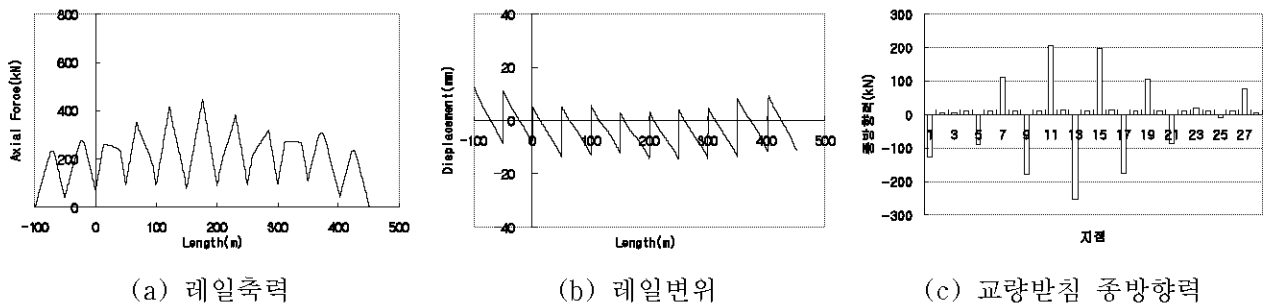


그림 22. 중복선 미호천교량(하) 온도하중 재하시

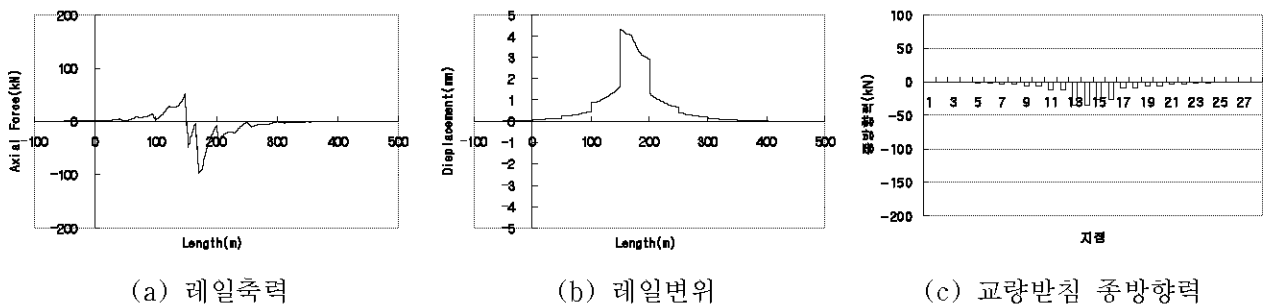


그림 23. 중복선 미호천교량(하) 시동하중 재하시

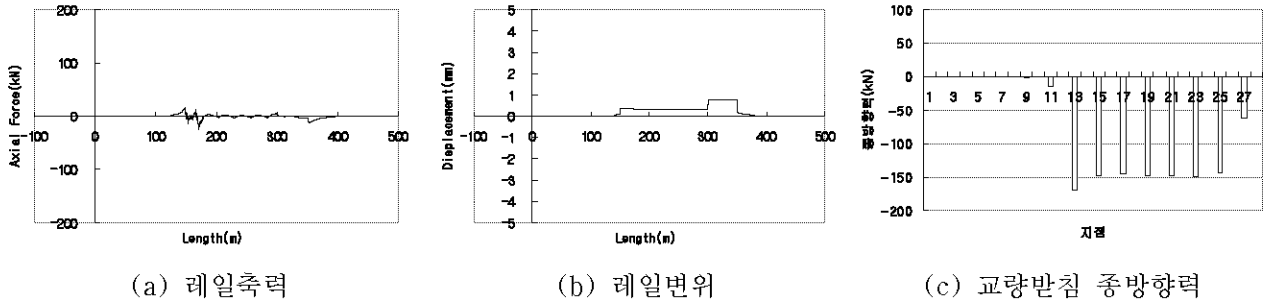


그림 24. 충북선 미호천교량(하) 제동하중 재하시

### 3.2.6 교량별 수치해석 결과비교

경간길이가 다른 총 5개의 철도 관형교량상 장척레일에 대하여 레일축력 및 교량받침의 종방향력을 수치해석 결과를 나타낸 것이 표14 및 그림25이다. 상대적으로 경부선 유천강교량 및 충북선 미호천교량(하)선에서 레일축력값이 작게 나타나고 있으며, 경부선 밀양강 교량에서 가장 큰 레일축력이 발생하고 있는 것을 알 수 있다. 레일변위는 교량별로 약 11mm~17mm로 나타나고 있으며, 상대변위는 약 4.5mm~9.5mm까지 발생하는 것으로 나타나고 있다. 장척레일의 축력은 거더의 길이와 상관관계가 적게 나타나고 있는데 이는 장척레일의 길이와 거더의 길이가 공배수관계에 가까운 경우 낮게 나타나는 것으로 판단된다. 즉 장척레일의 길이와 거더의 길이가 유사하면 레일축력이나 교량받침 종저항력은 발생되지 않는다는 의미이다. 본 연구에서는 장척레일과 거더의 위치에 대한 수많은 경우의 수를 고찰하는데 한계가 있었으므로 향후 이에 대한 보다 많은 수치해석을 통하여 고찰할 필요가 있을 것이다. 교량 받침에 발생하는 종방향력은 비교적 교량의 길이가 긴 교량을 선택하였으므로 거더의 길이에 따라 상관관계가 높게 나타났다.

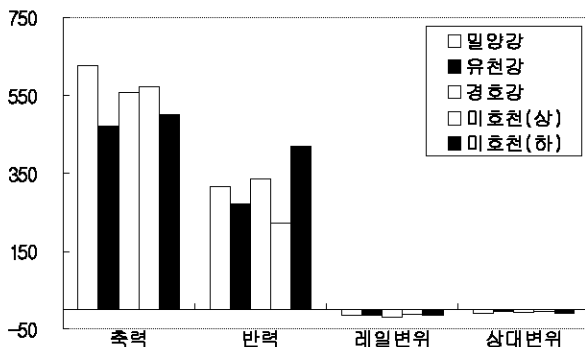


그림 25. 교량별 수치해석 결과

표 14. 교량별 수치해석 결과비교

		밀양강 (20m)	유천강 (15.2m)	경호강 (18.3m)	미호(상) (12.1m)	미호(하) (25m)
축력 (kN)	온도	557.61	447.97	532.71	549.27	448.46
	온도+시제동	625.37	472.00	556.79	573.30	500.53
반력 (kN)	온도	207.33	165.49	204.97	135.07	251.84
	온도+시제동	316.67	271.00	335.30	223.36	420.91
레일변위(mm)		13.05	14.69	16.91	11.05	14.64
상대변위(mm)		8.00	5.50	6.94	4.49	9.51

해석결과 레일축력은 예상한 바와 같이 낮게 나타나나 교량받침 종방향력은 135kN~251kN으로 비교적 크게 나타나고 있다.

## 4. 결론

자갈도상에서의 장척레일과 대부분의 무도상 철도교량에 설치된 장척레일에 대하여 여러 조건들을 적용시키면서 장척레일 및 교량의 거동에 대하여 많은 수치해석을 통하여 체계적으로 정리하고 비교검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

장척레일의 길이, 도상저항력, 온도차 및 유간 부족 등에 따른 축력해석을 통하여 이들 변수들과 레일 축력 및 변위와의 관계를 수치해석을 통하여 체계적으로 정리하고 거동 특성을 밝혔다.

교량상 장척레일에 대하여 경간에 따른 온도축력 해석결과 온도축력은 교량길이에 상대적으로 영향이 작으나 교량받침의 종방향력은 거더의 길이와 거의 비례하여 증가되었으며 이러한 현상은 시계동 해석에서도 유사하게 나타났다.

실제 공용중인 교량에 설치된 장척레일에 대한 해석결과 레일축력은 크게 다르지 않으나 교량받침에 작용되는 종방향력은 교량길이, 거더길이 및 교량의 거더 배치방법에 영향을 크게 받고 있음을 알 수 있었으며, 이는 교량의 유지관리에 고려되어야 할 사항으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 철도청, 경부고속철도 기존선 활용에 따른 판형교 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