

# 관형교 장대레일 부설에 따른 계측 및 평가

## Test and Evaluation of the CWR on Steel Plate Girder Railway Bridge

민경주\*  
Min, Kyung-Joo

심현우\*\*  
Shim, Hyun-Woo

안용득\*\*  
An, Yong-Deuk

### ABSTRACT

To the installed CWR (Continuously Welded Rail) on steel plate girder bridges without ballast, shoes were replaced by the shoe for reduced axial force. During 9 months, from summer to winter, expansion by a temperature on girders, axial forces by a temperature on CWR, etc. are tested and the results are evaluated. Also, with the numerical analysis, the results - axial forces by a temperature on CWR, deformations of girders, etc. are compared and evaluated.

From the longitudinal displacement on girders, occurred by run of trains, because of looking for the stability, the bearings for reducing axial forces are applied to the railway bridges.

It is verified that the bearings for reducing axial forces disperse the axial forces by a temperature from the measurement of the forces on CWR of plate girder bridges.

### 1. 서론

철도 관형교량 레일장대화는 우리나라에서도 많은 연구와 실험을 통하여 시험부설되었으며, 교량상 추가축력을 분산시켜 절대최대 축력을 저감시킬 수 있는 축력저감 교량받침이 개발되었으며 해석적 안정성검토, 성능검증과 시험부설을 통하여 효과적 관형교량상 레일을 장대화시킬 수 있음을 확인하였고 신기술로 지정되었다. 이와 관련하여 2004년 5월 20일 경부선 중소천교량에 장대레일을 부설하고 거더의 부가축력저감을 위하여 축력저감 교량받침을 교체 시공하였다. 이들에 대한 거더의 온도신축, 장대레일의 온도축력 등에 대하여 하절기 및 동절기를 통하여 약 10개월 동안 계측하고 그 결과를 비교 분석하였다. 이들 결과와 수치해석을 통하여 교량상 장대레일의 온도축력, 거더의 변위 등을 비교 분석하였다. 또한 열차 주행에 따른 거더의 종방향 변위측정 및 소음측정 등을 통하여 축력저감 교량받침이 철도교 적용시 안정성을 파악하고자 하였다. 관형교량상 장대레일의 온도축력 계측을 통하여 축력저감 교량받침이 온도축력 분산효과 있음을 확인하였다.

### 2. 교량과 장대레일의 상호작용

#### 2.1 경계조건에 따른 장대레일 거동

일반적인 철도 관형교량의 주하중은 고정하중과 열차하중이다. 상부 레일이 장대화되면 단순히 지 구조인 관형거더를 상부에서 연결된 레일로 일종의 연속구조형식이 되나, 레일의 휨강성이 거더의 휨강성보다 작으므로 연속 구조물로 고려하기에는 연속의 경계조건 등을 고려할 때 무리가 있다.

민경주*	한국철도시설산업(주)	연구소장	정회원
심현우**	한국철도시설산업(주)	주임연구원	비회원
안용득***	한국철도공사	시설계획처장	정회원

그러나, 교량 종방향력에 대한 역학적 거동은 레일의 단면적이 거더의 단면적에 비하여 작지만 레일도 상당한 종방향력에 저항할 수 있으므로 연속 구조물로 해석하고 있다. 이들 원형교량의 하중전달 체계도한 레일상대화 전후로 나누어 나타낸 것이 그림 1이다.

그림 1에서 레일상대화 전에는 교량받침에 종방향력이 거의 작용하지 않고 상부 고정하중과 열차하중이 작용되게 된다. 그러나 그림 1. 오른쪽과 같이 레일이 장대화되면 장대화전의 하중에 레일의 온도 축력이 최대 100ton 정도 작용하게 되고 교량받침에도 거더의 길이에 비례하여 약 1ton/m의 종방향력이 작용하게 된다.

그림 2(a)는 기존교량받침에서 레일상대화와 교량받침에 발생하는 종방향력의 관계를 도시한 것이다. 초기상태는 거더의 선축을 고려하지 않고 장대레일에 온도축력만 고려한 상태이다. 중간은 온도상승은 거더의 온도가 상승(실체는 비슷하게 상승됨)되면 거더는 그림과 같이 오른쪽으로 신장되면서 거더와 침목, 침목과 레일 사이의 제동력에 의하여 레일을 오른쪽으로 압축하게 된다. 이때 레일에 발생된 온도축력에 거더에서 발생된 수가 축력이 발생되며 동시에 고정단 교량받침에 종방향력이 반역으로 작용되게 된다. 맨 아래 그림은 온도가 하강하면 나타낸 것으로 상승의 반대이다.

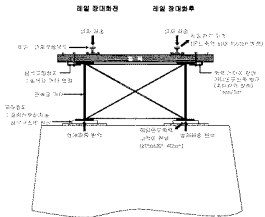
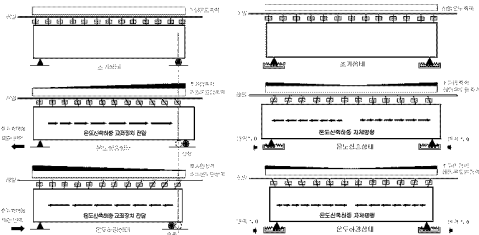


그림 1. 원형교 하중전달 체계도



(a) 기존교량받침 (b) 축력지감 교량받침  
그림 2. 기존교량받침 및 축력지감 교량받침 장대레일 축력발생 메커니즘

축력지감형 교량받침은 그림 2(b)에서와 같이 교량받침에서 고정 개념을 없애고 온도신축을 흡수할 수 있는 유간을 두어 그 사이에 탄성체로 스프링화하여 구조적 안정성을 확보하고 온도신축을 원활하게 할 수 있게 하였다. 또한, 일정범위 이상에서는 판동을 지지하게 하였다.

그림 2(b)의 첫 번째 그림에서 장대레일에 발생하는 온도 축력은 기존 교량받침과 동일하다. 그러나 중간 및 아래 그림에서 보는 바와 같이 온도가 상승하게 되면 거더는 교량받침에서 탄성적

오도 양방향으로 신속되므로 기어의 중앙을 중심으로 양쪽으로 신속하게 된다. 따라서, 기어는 기어대신축에 대한 자체 평형을 유지하게 되고 교각에서는 전후 기어에서 발생하는 온도신축에 의한 하중이 크기는 같고 방향이 반대이므로 교각에 하중이 전달되지 않게 되며 교각 전후 기어의 길이가 다른 경우 등 균형이 맞지 않을 때에도 불균형만큼만 작용하게 되며 이들도 분배되고 분산된다. 그림에서 보는 바와 같이 기어대신축에 의한 레일축력의 증가는 기존교량받침에 비하여 약 1/1 정도로 감소시킬 수 있다. 특히, 기존의 관형교 교량받침은 중앙방향에 대한 설계가 되어있지 않아 종횡 저항에 취약한 수밖에 없으며 중앙방향력이 온도 증가에 따라 교변하중으로 작용하게 되며 여기에 주행 열차에 의한 수직하중과 종력은 모사리를 신속하게 손상시키게 된다.

## 2.2 FMFM 방식과 FFMM방식의 비교

그림 3은 정도강(하)교량의 교량받침을 고정 - 가동(FMFM), 고정고정-가동가동(FFMM) 및 축력저감 교량받침을 적용시켜 레일에 발생하는 온도축력을 나타낸 것이다. 일반적으로 FMFM방식이 FMFM 방식보다 축력의 집중현상이 나타나지 않으므로 절대최대 레일축력에서 유리한 것으로 알려져 있으나 그림에서 보는바와 같이 FFMM방식이 FMFM 방식보다 불리한 경우도 있다.

그림 4는 열양강(하)교량에 대한 장대레일 해석결과이다. 여기서 절대최대 레일축력은 FM - FM 방식이 FFMM 방식보다 크게 나타나고 있어 축력자체로는 유리하나 FFMM 방식은 최대 축력과 비슷한 크기의 축력이 전구간에 걸쳐 분포하게 되는 문제점이 있으며 이는 그만한 레도에 불리한 계수가 많아진다는 것을 의미한다.

이들 결과는 레도구조의 종횡형식 및 지점의 배치 방법에 따라 다르게 될 수 있음을 의미하며 FFMM방식은 FMFM에 비하여 레일-점복간 상대변위의 증가, 좌단시 계구량의 증가 및 대간에 불리하고 교량 받침의 종횡방향에도 불리하게 된다. 따라서 이들에 대한 검토는 엄밀한 비선형해석을 통하여 면밀히 분석하여 적용 여부가 될 것이다. 축력저감 방식은 이들을 1/2 이상 감소시켜주는 효과를 얻을 수 있으며 레일 축력의 분포상태가 이들 그림에서 잘 나타나 있다.

## 2.3 기존의 관형교량상 장대레일 계측자료

레일축력의 측정은 위치에서 대부분 열차 운행중 측정하게 되고 비교적 장기간에 걸쳐 열차의 충격이 많은 관형교량에서 측정하게 되며, 가능하면 폭시기와 홍수기에 측정하는 것이 보다 좋은 결과를 얻을 수 있으므로 이들의 계측은 현장여건이 열악하고 측정자체에 어려움이 있다. 더욱이 레일의 온도 축력을 직접적인 방법으로 측정한다는 것은 현실적으로 불가능하고 대표적인 온도의 측정조차도 어려움이 많다. 여기서는 그동안 측정되었던 방법과 본 연구에서 사용한 방법을 간단히 소개한다.

기존에는 두개의 단추를 레일 부위에 100mm 간격으로 부착시키고 그림 5와 그림 6에서 보는 바와 같이 1/1000mm 정화도를 가진 축력측정기를 사용하여 측정하는 것이 대부분이었다. 이들로

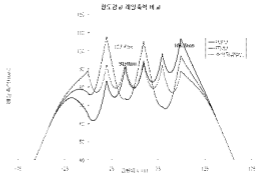


그림 3. 경계조건에 따른 장대레일 축력

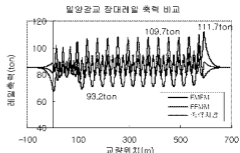


그림 4. 레일 최대축력(열양강교)

측정한 결과를 나타낸 것이 그림 7이다.



그림 5. 레일축력 측정

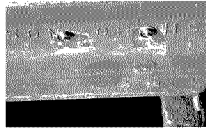


그림 6. 측정용 단자

그림 7은 레일축력측정기를 사용하여 측정한 결과를 나타낸 것이다. 그림 7에서 나타낸 레일축력측정기를 사용하여 측정한 결과는 많은 측정 결과에서 선택하여 나타낸 것으로 측정결과의 신뢰도는 낮은 것으로 판단된다. 왜냐하면 측정기가 정밀하다 하더라도 측정자세의 불량, 1개소 측정시간이 약 5분 정도의 시간을 요하는데 20개의 측정을 측정하려면 약 2시간이 소요되며 특히 열차 운행선상에서는 더 많은 시간이 필요하게 된다. 이에 반하는 레일 온도의 대표치를 정확히 나타내는 것은 사실상 불가능하다.

Strain gage로 full bridge를 구성하여 레일복부에 부착시켜 이들을 한데로 모아 변형을 측정기로 레일의 변형률을 측정하여 간접적으로 레일 축력을 산정하는 방법을 사용하였다. 이는 동시에 측정이 가능하고 많은 자료를 얻을 수 있으나 선로의 노이즈, 습기로 인한 게이지의 측정치의 신뢰성 저하 및 게이지의 손상 등으로 이 방법도 측정에 많은 단점을 내포하고 있었다. 이러한 단점 및 신뢰성에 문제가 있는 것은 사실이나 많은 계측을 통하여 보다 정확한 장대레일 축력을 얻는 데는 한계가 있었으나 FEM방식에서 축력의 집중 현상이 나타나고 있음을 확인할 수 있었다. 아래 그림들은 축력측정용 게이지 및 계측사진이다.

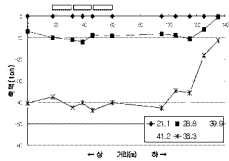


그림 7. 레일축력(측정기 사용)



그림 8. 레일축력 측정게이지



그림 9. 레일축력 측정

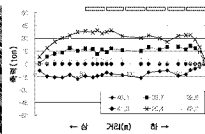


그림 10. 측정결과

변형을 측정기로 레일의 변형률을 측정하여 레일 축력을 산정하는 데에 따른 단점을 앞에서 나타내었듯이 하나하나의 결과들은 문제점을 가지고 있으나 전체적인 경향은 가동단 쪽으로 축력이 증가되는 현상을 확인할 수 있었다.

### 3. 중소원교량 축력계감 교량받침 설치 후 장대레일 축력 계측

2004년 5월 경부선 중소원교량에 장대레일을 무설하고 거더의 부가축력계감을 위하여 축력계감 교량받침을 교체 시공하였으며, 레일축력 측정은 기존의 레일축력 측정기 또는 strain gauge를 사용한 방식의 경우 측정된 축력의 불확실성 또는 측정장치의 이리움 등 실제적으로 측정결과에 대한 신뢰성이 낮은 것으로 판단되었다.

이러한 사유로 본 연구에서는 기존의 방법을 사용하지 않고 진동원적으로 레일 변위를 측정하여 레일축력을 추정하고자 하였다. 아직 검증된 기술은 아니지만 비교적 간단하게 레일 변형율을 얻을 수 있을 것으로 판단되며, 다른 방법에 비하여 안정적인 측정치를 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 아래 그림 11은 경부선 중소원 철도관형교량의 레일축력 측정 위치를 나타내고 있으며, 총 9개소로 교량구간 7개소와 도상구간에서 2개소를 측정하였으며, 각각 레일카 거더에 9개의 온도 측정 게이지를 설치하였다. 이를틀 A2에 측정단자를 설치하고 일시에 측정함으로써 측정 시간에 따른 오차와 측정자의 개인오차를 줄이려 하였다.

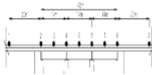


그림 11. 중소원교량 레일축력 측정 개소



그림 12. 축력측정게이지



그림 13. 레일축력 계측

계측은 2004년 5월부터 현재까지 약 1년간 측정을 하였다. 계측기간이 아직 1년이 되지 못하고 측시기 또는 축력기의 측정에서 최고 및 최저기준에서 측정하지 못하였으며, 또한 거더의 길이가 13.4m로 비교적 단정간이므로 축력의 결자를 뚜렷하게 얻기에는 한계가 있음을 고려하고, 아직 측정자료가 많지 않아 보다 정확한 계측을 나타내기에는 부족한 점이 많으나 온도에 따른 측정 결과들을 나타낸 것이 그림 14에 나타나있다. 이들 측정은 현재에도 계속 측정 중이다.

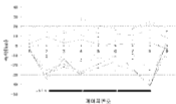


그림 14. 레일 온도에 따른 축력 변화 추이

측정치를 중 오차가 크거나 측정오류로 판단되는 자료들은 제외시켰으나, 본 측정에서 거더 중앙에서 교대 및 교각 쪽으로 축력이 증가되며 분포되는 경향은 파악할 수 있었다.

거더 양단과 거더 중앙에서 본 교량 핵심 결과와 유사하게 양단에서 축력이 증가되고 중앙부에서 낮게 나타나는 경향이 나타나고 있으나 내판(부판)쪽에서 조지원(시용)쪽으로 축력이 증가되는 추세도 나타나고 있다. 이는 팔자가 조지원 쪽에서 대부분 정착하고 있어 계측의 영향이 있을 것으로 사료되나 결측률과 파와 같이 이 곳의 축력 측정 결과의 신뢰도를 높이는 때에는 여러 가

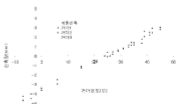


그림 15. 중소원교량 거더 온도신속 계측 결과

지 제약이 있는 것이 사실이다. 향후 보다 긴경간으로 구성된 긴 교량에서 측정을 수행한다면 보다 신뢰할 수 있는 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료 된다.

그림 15는 거더의 온도신축을 측정한 자료로 이론 온도신축량과는 다소 차이가 있으나 대체로 거더의 온도신축은 이론 신축과 유사하게 나타나고 있으며, 이론신축에는 다소 낮게 나타나는 경향이 있음을 보이고 있다.

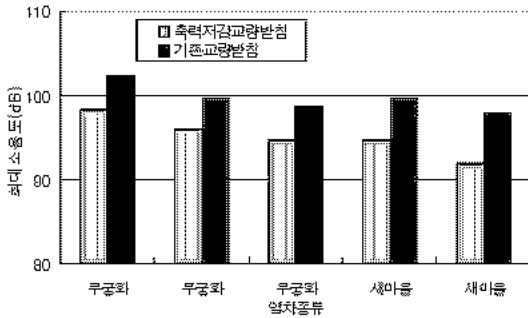


그림 16. 최대소음비교

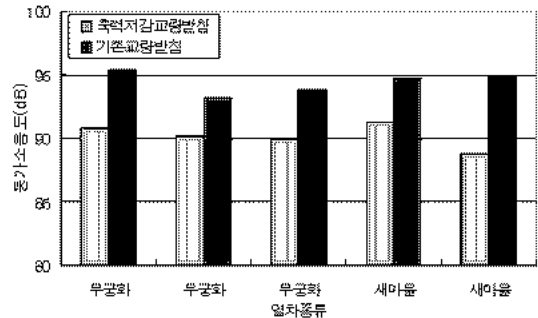


그림 17. 등가소음 비교

그림 16과 그림 17은 중소천 교량의 장대화 전·후 열차주행에 따른 소음을 측정한 결과이다. 측력저감반침을 설치하고 레일장대화 시킨 경우 최대소음 및 등가 소음에서 각각 약 4~6dB 저감됨을 알 수 있다.

우측 표 1은 열차주행에 따른 중방향 변위를 측정한 결과를 나타낸 것으로 열차주행시 최대 0.6mm의 중방향 변위가 발생되며 최대 잔류변위가 0.2mm 이내로 교량의 중방향 거동의 안정성을 저하시키지는 않을 것으로 사료된다.

표 1. 측력저감반침의 중변위

구분	중방향 변위		
열차종류	NO.	최대치	잔류변형
새마을	1	0.33	-0.02
무궁화	1	0.41	0.02
	2	0.45	0.06
	3	0.52	0.17
	4	0.30	-0.07
화물	1	0.37	0.00
	2	0.26	0.01
	3	0.61	0.09

#### 4. 결론

본 연구는 레일 장대화된 철도 관형교량에 측력저감 교량반침을 설치하고 이들에 대한 계측을 수행하고 그 결과를 정리한 것으로 레일 장대화에 따른 소음의 저감, 장대레일 축력의 분산으로 인한 절대 최대 축력의 감소 및 거더의 안정성 등에 대한 계측을 수행하였다. 기존의 성능실험 및 현장 측정을 통하여 측력저감반침의 소음·진동의 저감 효과가 있음을 확인하였으며, 본 측정을 통하여 관형교량상 장대레일의 축력 저감효과가 있음을 확인할 수 있었다.

장대레일 축력 측정에 대한 방법의 개선으로 신뢰성의 문제 등을 개선하여하고 보다 정확한 결과를 얻기 위하여 긴 교량에서의 측정이 필요하다.

#### 참고문헌

1. 철도청, 경부고속철도 기존선 활용에 따른 관형교 장대부설 및 장대레일 관리방안연구, 2000.12
2. 철도안전연구소, 두산중공업, 축력/진동저감형 교좌장치 개발보고서, 2004.3
3. 철도안전연구소, 두산중공업, 신기술 제437호 신기술신청서, 2004.11