

# 무도상 교량 특성을 고려한 장대화 방안에 관한 연구

## A study for CWR on Steel Plate Girder Railway Bridge without Ballast

민경주\*  
Min, Kyung-Joo

남보현\*\*  
Nam, Bo-Hyun

반걸용\*\*\*  
Ban, Geol yeong

### ABSTRACT

From the using CWR (Continuously Welded Rail) on steel plate girder bridges without ballast, axial forces are occurred from a temperature on CWR and girders. Because of the additional axial forces, studies in order to CWR and developments of devices are proceeding.

The track system of steel plate girder bridges is poor. When CWR is used for the system, the resistance on sleepers is increased from a temperature. So it is increasing an effect on CWR and, for solving the effect, longitudinal forces for buckle are being decreased. It is possible that opposite cases can be happened and it is also compared and studied.

Therefore, we present a reasonable model for analyzing CWR within the property of steel plate girder railway bridges in Korea. Furthermore, the results analyzed for stability is compared and evaluated with tests. Finally, a reasonable method for the installation of CWR on bridges without ballast is suggested.

### 1. 서론

철도 무도상 교량의 레일장대화는 장대레일의 온도축력에 교량거더의 온도신축으로 인한 추가 부가축력이 발생되고, 이들에 대한 레일장대화 방안에 대한 연구가 있었으며 이들의 결과를 이용한 레일장대화 시공이 되고 있다. 특히, 판형교량은 취약 궤도구조로서 레일 장대화시 침묵의 저항력을 증가시킴으로써 장대레일에 미치는 온도의 영향이 추가되게 되며, 이를 해소하기 위하여 레일 종방향 체결력이 감소시키거나 경계조건을 변경시켜 시공하게 된다. 이와 반대의 경우도 있으며 이들 각종 레일장대화 방안에 대하여 비교 고찰하였다. 본 연구는 우리나라 철도 판형교량의 궤도구조 특성을 고려한 합리적인 장대레일 해석모델을 제시하고 이에 따른 무도상 교량상 레일 장대화에 대한 안정성 해석결과를 비교 검토하고 합리적으로 무도상 교량 레일장대화에 이용할 수 있도록 하였다.

### 2. 국내 판형교 현황과 판형교량상 레일장대화

#### 2.1 판형교량 현황

철도청 통계자료에 의하면 전국에 총 2,500여개의 교량이 분포되어 있고, 이들 철도 교량의 약 40%인 1000여개의 판형교량이 있는 실정이다. 63개 선로에 분포되어 있는 판형교 중에서 분포 비율이 상대적으로 높은 선로를 중심으로 분포현황을 나타내면 그림 1과 같다. 그림 2에서 알 수 있듯이 판형교 1,192개소 중 18%(185개소)가 경부선에 위치하여 가장 많은 판형교가 부설되어 있으며, 다음으로는 15.6%(160개소)가 중앙선에 분포되어 있음을 알 수 있다.

이들 판형교량은 레일장대화시 거더의 온도신축에 따른 추가축력이 레일에 작용하게 되어 장대레일의 안정성을 저하시키므로 현재 26m 이상 판형교량상의 레일 장대화를 지양하고 있는 실정이다. 그러나 판형교량 특성은 열차하중에 의한 처짐이 크게 발생되고 열차주행에 따른 충격 및 진동의 증가로 인하여 궤도유지관리에 많은 노력이 요구되며 교량의 보자리 파손 등 많은 문제를

민경주\* 한국철도시설산업(주)  
남보현\*\* (주)철도안전연구소  
반걸용\*\*\* 한국철도공사

연구소장      경희원  
선임연구원    비희원  
토목시설처장   경희원

가지고 있다. 판형교량상 레일장대화는 건설한 바와 같이 거더에 의한 추가 축력으로 인하여 주로 장축 레일을 사용하게 된다. 이틀 레일 이음대의 충격으로 인한 궤도와 교량의 손상 증가는 물론 충격소음은 많은 민원의 대상이 되고 있는 실정이다. 특히 한국고속철도 KTX가 2004년 4월부터 경부선 및 호남선의 기존선로를 사용하는 구간의 판형교량은 속도의 증가와 축중의 집중으로 진동 및 충격이 증가되는 사례를 보이고 있으며 속도향상에도 장애 요소로 작용되고 있는 현실이다.

이러한 판형교량의 문제점도 교량상 레일장대화로 상당부분을 개선할 수 있을 것이나 장대레일의 안정성에 대한 부정적인 인식과 경우에 따라서는 판형교량에 대한 인식의 부족으로 특성을 고려하지 않고 장대레일과 교량의 상호작용 해석을 통하여 적용하는 경우도 있는 현실이다.

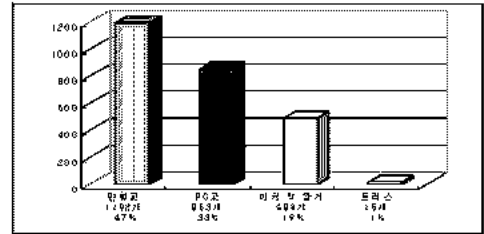


그림 1. 구조형식별 철도교 분포 현황

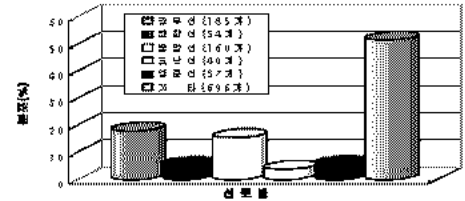


그림 2. 선로별 판형교 분포 현황

## 2.2 교량과 장대레일거동에 대한 안전개념

장대레일의 안정성해석을 위하여 궤도의 재료 특성치를 사용할 때와 교량의 안정성해석을 위하여 사용하는 궤도재료 특성치는 이들의 해석상 저항측면에서 적용시키느냐 아니면 작용외력의 측면에서 사용하느냐에 따라 그 특성치의 적용을 다르게 해야 할 것이다. 즉 궤도의 안정해석을 위해서는 구조물의 저항으로 작용하는 도상저항력을 안전치 즉 낮은 값을 사용하여야 하나, 교량의 안정해석을 위해서는 이들 저항력이 외력 발생기구가 되므로 실제 저항력을 사용하거나 이들은 불확실성이 비교적 높으므로 안전을 위하여 높은 값을 사용하여야 안정해석의 신뢰성을 높일 것으로 판단되므로 본 연구에서는 이러한 점을 고려하여 궤도재료의 특성치를 사용하였다. 즉 궤도 구조 요소의 저항기구가 하중으로 작용하느냐 또는 저항으로 작용하느냐에 따라 그들의 특성치를 안전성확보에 유리하게 적용시켜야 할 것이나 현재 이들에 대한 적용은 대부분 일괄적으로 동일한 값을 적용시키고 있는 실정이며, 이들을 적절하게 적용시키고 있지 않은 경우도 있다. 이들 특성치들은 이에 대한 자료 및 실험 등을 통하여 얻은 값을 적용시키고자 하였다.

수치해석은 구조물의 기하학적 비선형과 궤도 재료의 비선형 거동특성을 고려하여 레일과 교량 구조물의 상호작용 해석을 수행하였으며, 범용 해석 프로그램인 ABAQUS를 사용하였다.

## 2.3 장대레일 거동에 영향을 미치는 궤도 구성요소

교량 거더의 온도신축과 관련하여 레일과 거더의 온도상호작용에는 일반적으로 다음과 같은 요소를 고려하고 있다.

- 1) 레일체결력
- 2) 침목저항력

그러나 판형교량상에는 이들 외에도 다음과 같은 요소들이 추가적으로 고려되어야 한다.

- 3) 판형교량상 레일체결 상태
- 4) 침목복진 방지앵글
- 5) 개재 앵글
- 6) 목침목 좌굴방지장치
- 7) 낙교방지용 레일

이들은 경우에 따라서는 위의 레일체결력과 침목저항력보다 궤도 및 교량의 안전에 더 큰 영향을 미칠 수도 있다. 이들에 대하여 상술하고자 한다.

### 2.3.1 관형교양상 목침목 레일제결 상태

교양 거리의 온도신축으로 인하여 열 그림에서 보이는바와 대부분의 타이플레이트가 침입(회전변위)이 발생되어 레일과 거리의 온도신축차이에 의한 기계적 마찰력이 증가되게 된다. 따라서 설계 레일의 제결에 의한 레일-침목 종지항력은 선대측정치보다 추가로 발생되는 마찰력만큼 증가할 수 있을 과함이 높으며 이들에 대한 고려도 필요한 것으로 사료된다. 설계 레일상태와원 환경교양(상차레일구간에서도 경우에 따라서는 발생됨) 온도변화가 심한 오전 10시 전후에는 레일과 거리의 온도신축차에 의하여 발생되는 변위로 종지력을 발생시키게 된다. 이는 선형에서와 같이 하중의 증가에 따라 변위도 증가되는 선형성이 적용되지 않고 온도에 의한 변형 에너지를 축적하였다가 일정 마찰력한계에 이르면 변형에너지가 해방(변위발생)되면서 나오는 소음으로 추정되며, 즉각 또는 이들과 같이 중량할 비선형 거동이 된다면 변위 발생시 종지력은 발생되지 않을 것이다.

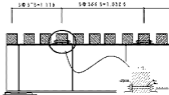


그림 3. 침목부진 방지영역



그림 4. 타이플레이트 회전변위

### 2.3.2 침목부진 방지영역

환경교양상 거리 상부 콘크리트에 2m 간격으로 1개씩 침목부진방지 앵글이 용접 설치(경사도)되어 침목의 중량할 활동을 억제하고 있다. L-형강(150x150x10-200mm) 저부와 거리 콘크리트 상부를 용접하여 설치하고 있으며 이곳은 다른 체결구의 종지항력에 비하여 매우 큰 종지항 강성을 가지고 있으므로 이곳 침목은 거리와 거의 유사하게 거동하는 것으로 고려하여도 큰 무리가 없을 것이다. 그러나 설계 이곳은 열차 중의 충격으로 제거를 받기 어렵고 있는 곳이 많으며 유지관리가 잘 되지 않고 있는 곳이 많은 것이 현실이다.



그림 5. 계재 앵글

### 2.3.3 계재 앵글

침목 양단부에 L-형강(75x75x6)은 침목마다 스크류 볼트로 고정 설치하여 침목과 침목이 선계적으로 움직일 수 없는 구조로 되어 있다. 이들은 침목하부에 5개마다 설치된 침목 부진 방지앵글과 같이 거동함으로써 거리에서 발생하는 종지항력을 크게 증가시키게 될 것이다. 그림 5는 계재앵글이 설치된 상태를 나타낸 것이다.



그림 6. 침목 좌굴방지장치

### 2.3.4 목침목 좌굴방지장치

환경교양에서 추가되는 레일 속력에 의하여 레일의 좌굴 안정성을 도모한 목적으로 침목 3정마다 1개소씩 침목 양단부에 목침목의 횡방향 변위 억제용 위하여 목침목 좌굴방지장치를 설치하고 환경교양상 레일상태화를 시행하고 있다. 이들도 종지항력과 마찬가지로 종지항력을 가지며 종지항력은 개소당 0.666ton(KRTR자료)으로 측정되었다. 그림 6은 목침목 좌굴방지장치이다.



그림 7. 좌굴방지용 레일

### 2.3.5 낙교방지용 레일

판형교량은 처짐이 크고 수직진동 및 횡진동이 크게 나타나므로 열차가 발전시 열차의 낙교를 방지하여 대형사고를 방지할 목적으로 낙교방지용 레일을 주행용 레일과 같은 크기의 레일을 주행용 레일의 높이와 함께 내측 양쪽에 설치하게 되어 있다. 낙교방지용 레일은 한 레일을 목적으로 개통으로 고정시키며 이 또한 어느 정도의 지향력을 가지게 될 것이다.

### 2.3.6 판형교 레도구조의 종저항력 특성

전술한바와 같이 판형교량 거더의 온도신축과 관련하여 레일과 거더의 온도상호작용에는 레일 체결력, 침목고정장치의 지향력, 판형교량상 레일체결 상태, 침목복원 방지앵글, 개제 앵글, 목원목 좌골방지장치, 낙교방지용 레일 등 종합적으로 작용하게 되며 이를 나타낸 것이 그림 9이다.



그림 8. 판형교량 레도구조 사진



그림 9. 판형교량 레도구조 단면

### 3. 판형교 레도구조특성을 고려한 장대레일 축력해석

우리나라 교량상의 주변환경과 기존의 계속전차를 토대로 교량상 레일과 도상구간의 레일 및 거더온도의 변화량을 달리하여 해석을 수행하였다. 또한 장대레일의 부동구간을 고려하기 위하여 교량 시공정보로부터 도상구간을 100m씩 선정하였다. 온도 선정은 선정온도 25℃에 변화량은  $\pm 45℃$ 로 하였으며 기타 재료들의 물성치들은 기존의 열도형 및 철도기술연구원 연구결과를 적용하였다.

전술한 바와 같이 판형교량 레도구조의 특성을 고려하였을때의 특성을 고려하기 위하여 아래 그림과 같이 20m 단속 판형교를 모델링하여 북진방지 장치는 용접형 모는 판형교량에 존재하므로 이들을 모변에 포함시켰으며, 개제 레일이 있는 경우와 없는 경우를 비교하였다. 기타요소들은 설측자료가 없고 불확실성이 큰 것으로 사료되나, 그 영향이 크지 않을 것으로 판단됨으로 고려하지 않았다. 여기서는 개제앵글이 판형교량의 종방향거동에 미치는 영향을 파악하고 또한 단속판형교량과 상부 레도의 상호작용에 미치는 영향을 파악하기 위하여 레일 끝단에 종방향력을 작용시켜 하중-변위 관계를 규명하였다.

개제앵글의 유무에 따른 침목고정장치의 지향력과 레일에 미치는 종저항력과 관계로 해석하였으며 그림 12는 침목 종저항력이 0.2(ton/1정)일때 개제 앵글을 설치하였을 경우의 레일 종방향력 하중과의 관계를 거더길이에 따라 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 50ton의 하중을 적용시켰을때에는 거더 전구간에서 비선형거동을 나타내고 있음을 알 수 있으나, 40ton 이하에서는 대부분에서 탄성스프링 한계 내에 있음을 알 수 있다. 이 사



그림 10. 판형교 해석 모델

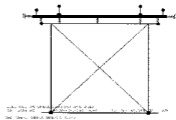


그림 11. 판형교 단면 모델

실은 아주 약한 침묵고정장치일지라도 20m 판형 교량의 경우 최대 40ton 이상의 종저항력을 발생시킬 수 있음을 의미한다. 이는 현재 철도교 서방사에서 장대레일 종하중을 궤도당 1ton/m로 설계에 반영하는 것은 판형교량에서는 현실적이지 못하다는 것을 나타내는 것이다.

그림 13은 침묵 종저항력을 0.2, 0.4, 0.6(ton/정)으로 변화시키면서 계재앵글이 존재할 경우 레일에 작용하는 종하중과 레일의 변위 관계를 나타낸 것이다. 그림 13에서와 같이 40ton 종하중까지는 침묵 종저항력에 거의 영향을 받지 않고 선형적으로 거동하고 있음을 알 수 있다. 그러나 40을 초과하여 50ton에 이르르면 갑자기 비선형 거동을 하게 됨을 알 수 있다. 이는 20m 판형거더에서 최대 40ton 정도의 추가 축력을 발생시킬 수 있음을 의미한 것이며, 특히 이 경우에는 침묵고정장치의 종저항력이 큰 영향이 없고 레일 체결력에 의하여 궤도의 종저항 거동이 지배됨을 의미하는 것이다.

그림 14 침묵 종저항력이 0.2(ton/정)일때 계재앵글을 설치하지 않았을 경우의 레일 종방향력과 하중과의 관계를 거더 길이에 따라 나타내었다. 계재앵글을 무시한 경우 그림 15에서 보는 바와 같이 10ton의 하중을 작용시켰을 때에는 침묵고정장치의 종저항력에 따라서 하중 전달이 크게 다를 수 있다. 목침묵고정장치의 종저항력이 0.2, 0.4 및 0.6(ton/정)인 경우 각각 10ton, 20ton 및 30ton부근까지 거의 선형적으로 하중-변위 곡선을 형성하다가 이들을 초과하게 되면 갑자기 더 이상 저항하지 못함을 알 수 있다. 이 경우 거더의 온도산축에 의한 축력 전달이 낮게 되어 레일에 미치는 영향을 작아진다는 것을 알 수 있을 것이다. 다음 표는 계재레일 유무에 따른 레일종방향 변위를 나타낸 것이다.

표 1. 계재레일이 있는 경우 하중별 레일변위

하중	10	20	30	40	50
0.2ton/m	1.341	2.682	4.129	5.833	10.199
0.4ton/m	1.291	2.582	3.943	5.515	9.247
0.6ton/m	1.254	2.509	3.814	5.292	8.353

표 2. 계재레일이 없는 경우 하중별 레일변위

하중	5	10	20	30
0.2ton/m	1.247	2.674	-	-
0.4ton/m	0.751	1.502	5.810	-
0.6ton/m	0.586	1.173	3.520	5.679

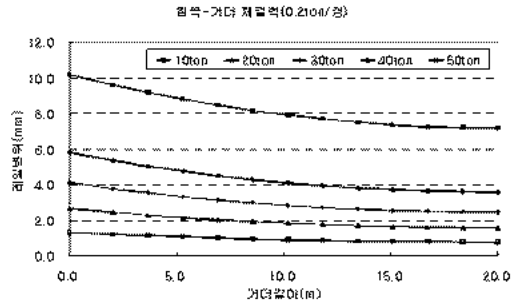


그림 12. 종방향 하중-변위관계(계재앵글 유)

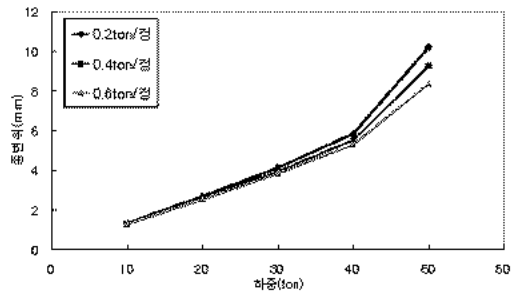


그림 13. 계재앵글 고려시 종하중-변위관계

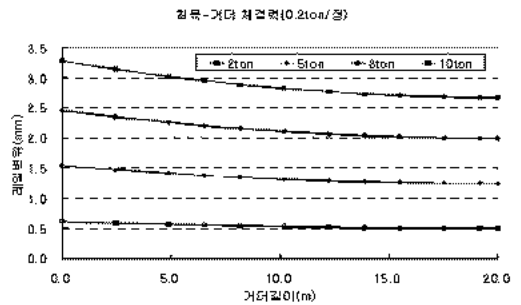


그림 14. 종방향 하중-변위관계(계재앵글 유)

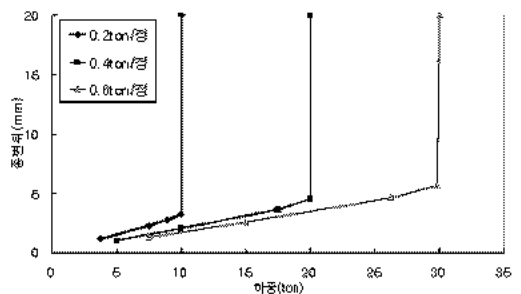


그림 15. 계재앵글 비교려시 종하중-변위 관계

#### 4. 종방향 체결력 변화시 레일축력 비교

본 연구에서는 계재앵글의 영향을 파악하고자 거더길이 20m, 5련으로 구성되어 있는 횡도강교량을 대상으로 계재레일이 있는 경우와 없는 경우를 비교하여 지점형식별로 FMFM, FFMM 및 축력저감 교각장치의 3가지 방법을 비교하였으며, 침목과 거더의 종방향 체결력을 1ton/mm와 0.4ton/mm로 구분하여 수치해석을 수행하여 비교·검토했다. 그림 16~18은 FMFM 방식, FFMM 방식 및 축력저감 받침의 3가지의 경우에 대하여 각각 목침목저항력 0.4ton/정일 때 계재앵글 유무와 계재앵글이 없는 경우의 목침목저항력을 1.0ton/정 등 3가지 경우를 비교하여 나타낸 것이다.

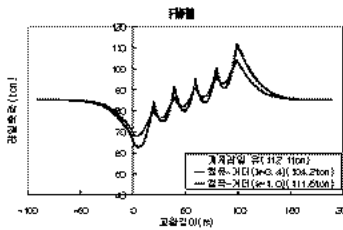


그림 16. FMFM 형식

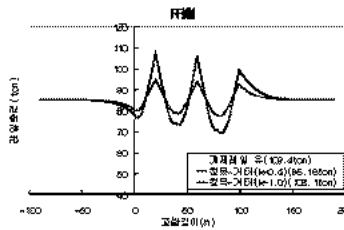


그림 17. FFMM 형식

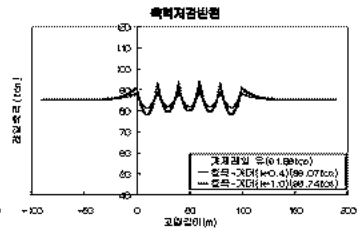


그림 18. 축력저감 받침

3개의 지점형식에서 각각의 경우 목침목저항력 0.4ton/정일 때 계재앵글이 있는 경우와 계재앵글이 없는 경우의 목침목저항력을 1.0ton/정과 거의 유사한 거동을 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 판형교량상 목침목이 1m에 2.5정이 설치됨을 고려한다면 2.5ton/m의 침목종저항력에 해당됨을 알 수 있다. 이들의 결과를 종합하여 나타낸 것이 표 3이다. 계재앵글이 없는 경우가 FMFM형식과 FFMM형식에서 각각 약 8ton과 14ton의 축력이 낮게 나타나고 있음을 알 수 있다. 축력저감 받침에서는 침목교정장치의 종저항력에 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타남으로 이는 그만큼 유지관리에 유리할 것이며, 장대레일 축력의 절대치도 낮게 나타남으로서 안전성에 유리하며 제한 축력인 100ton에 약 10%정도 여유가 있음을 알 수 있다.

표 3. 계재레일과 레일축력 비교

레일축력		지점형식		
		FM	FF	축력저감받침
계재	유	k=0.4 112.1	109.4	91.8
	부	k=0.4 104.2	95.2	89.1
레일		k=1.0 111.5	106.1	93.7

#### 5. 결론

본 연구는 판형교량에서 상부 계도의 안정성 유지를 위한 계재앵글, 목침목 복진방지장치 등을 고려하여 판형교량상 장대레일 해석을 위한 보다 현실적인 방법을 제시하고자 하였으며, 연구의 결과 이들 장치는 목침목 고정장치의 종저항력의 크기보다는 이들의 영향이 크게 나타나고 있음을 알 수 있었으며, 교량상 장대레일 축력에서 일반적인 침목의 종저항력보다 훨씬 큰 영향을 미침을 알 수 있었다. 이들은 용접형 교량에 관련된 것이나, 실제 리벳이음 교량에서는 리벳머리와 침목이 종방향으로 거의 고정되어 있으므로 이러한 현상은 더욱 크게 나타나게 될 것이다. 따라서 판형교량상 장대레일 해석에 이들이 고려되어야 하며, 본 연구에서 고려하지 못한 판형교량상 레일체결 상태, 침목복진 방지앵글, 계재 앵글, 목침목 좌굴방지장치, 낙교방지용 레일 등에 대한 종합적인 연구와 검토가 되어야 할 것이다. 그러나 판형교량상 장대레일을 위한 교량받침인 축력저감 받침(신기술 제437호)을 사용할 경우 일반적인 판형교량에서의 장대레일축력은 안전성을 확보할 수 있음을 확인할 수 있었다.

#### 참고문헌

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