기존 판형교의 레일 장대화 공법 비교 분석 연구

Comparative Study of CWR Method of Existing Plate Girder Bridges

황만호*†, 배영민**, 강기동***, 권순정***

Man Ho Hwang*†, Youngmin Bae**, Kee-Dong Kang***, Soon-Jung Kwon***

Abstract Plate girder bridges are ballastless bridges which do not have the ballast and the sleepers are directly fixed to girders of the bridge. Currently there are over 450 plate girder bridges in the conventional line. Due to the recent trend of improving the conventional line in terms of its speed and weight, there is a growing need of improving as well as performing CWR at the plate girder bridge. If the CWR is not applied to the rail, it will reduce the comfort as well as driving stability and also limit the speed of the train. It will also cause the loading force. This is coming from when the train passes through the joint part. This force will cause the destruction of thee track as well the wheel. Thus, it will increase the need and the cost of maintenance. Not applying CWR at the plate girder bridge is not favorable. This is because when it is compared to the ballast bridge, it has much more noise and vibration. Therefore, passengers as well as individuals live around the track will suffer from them. The following study will introduce construction methods to perform CWR at the existing plate girder bridge and it will conduct comparative analysis on these methods.

***Keywords* :** Plate Girder Bridge, CWR, Axial Force of Rail, Ballastless Bridge, ZLR

초 록 판형교는 자갈도상이 없이 거더에 침목이 직결된 무도상 교량구조로, 현재 일반선에 450개소 이상 부설되어 있다. 최근 일반선 구간의 열차 고속화와 중량화 사업이 활발히 진행되고 있으므로, 판형교 개량 또는 기존 형식에서 레일 장대화 요구는 지속해서 증가하고 있다. 레일 비장대화는 승객의 승차감, 차량의 주행 안정성 저하 및 열차속도의 제한 요인으로 작용하며 이음매구간을 열차가 통과할 때 발생하는 큰 충격하중은 궤도 파괴와 차륜 손상으로 유지보수 비용 증가를 시킨다. 특히 판형교 상의 레일 비장대화는 다른 유도상교량 형식에 비해 큰 소음 및 진동이 발생함에 따라 열차를 이용하는 승객 및 주변 주민의 큰 불편을 초래한다. 따라서 본 논문에서는 기존 판형교 상에서 레일을 장대화할 수 있는 여러 공법을 소개하고 각각의 공법에 대해 비교 분석을 수행하였다.

주요어 : 판형교, 레일 장대화, 레일축력, 무도상교량, 활동체결구

† 교신저자: 엔알씨 (hmhmh22@hanmail.net)
* 엔알씨
** 엠와이씨앤엠
*** 삼표레일웨이(주)

1. 서 론

판형교는 자갈도상이 없이 거더에 침목이 직결된 무도상 교량구조로, 현재 일반선 전체교량의 약 17%인 450개소 이상이 부설되어 있다. 최근 일반선 구간의 열차 고속화와 중량화 사업이 활발히 진행되고 있으므로, 판형교 개량 또는 기존 형식에서 레일 장대화 요구는 지속해서 증가하고 있다. 레일 비장대화는 승객의 승차감, 차량의 주행 안정성 저하 및 열차속도의 제한 요인으로 작용하며 이음매구간을 열차가 통과할 때 발생하는 큰 충격하중은 궤도 파괴와 차륜 손상으로 유지보수 비용 증가를 시킨다. 특히 판형교 상의 레일 비장대화는 다른 유도상 교량 형식에 비해 큰 소음 및 진동이 발생함에 따라 열차를 이용하는 승객 및 주변 주민의 큰 불편을 초래한다.

따라서 본 논문에서는 판형교를 유도상화 하여 레일을 장대화하는 공법이 아닌 기존 무도상 판형교의 궤도 구조시스템을 변경하여 레일을 장대화할 수 있는 여러 공법을 소개하고 각각의 공법에 대해 비교 분석을 수행하였다.

2. 본 론

2.1 무도상 교량 레일 장대화 기본 개념

2.1.1 무도상 교량 레일 장대화 제한 요인

선로유지관리지침(2013) 제93조제2항제5호에서 전장 25m 이상의 무도상 교량은 장대레일 부설을 피하여야 한다고 규정하고 있다. 무도상 교량 구간의 레일 장대화를 제한하게 하는 주요 이유는 아래와 같다.

(1) 장대레일과 거더가 체결장치를 통한 상호작용으로 장대레일에 거더의 신축에 의한 추가 응력 발생

(2) 장대레일에 의한 신축의 구속으로 교량의 고정단에서 장대레일에 의하여 종방향력 발생

위와 같은 이유로 현재 일반철도에 부설된 25m 이상의 무도상 교량에서는 거더의 신축에 의한 이동으로 장대레일 및 교각 등 구조물에 이상 응력 발생에 따른 위험을 우려하여 레일 장대화를 제한하고 있다. 아래 Fig. 1은 장대레일과 거더의 상호작용을 도식화하였다.

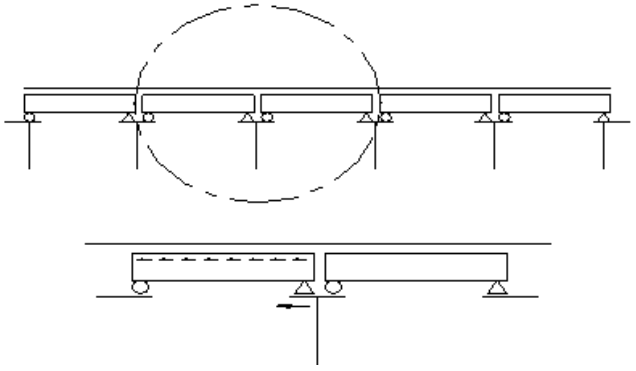

Fig. 1 Interaction between CWR and bridge girder

2.1.2 무도상 교량 레일 장대화 전제조건

무도상 교량에서 레일을 장대화하기 위해서는 아래와 같은 전제 조건을 만족해야 한다.

(1) 좌굴에 대한 궤도 안정성을 확보할 것

현재 국내 판형교에서 사용하는 거더와 침목간의 체결은 훅볼트에 의한 간접 체결로서 열차 운행중 진동에 의한 훅볼트의 이완 및 체결력 감소 등에 의하여 좌굴방지를 위한 소요 횡방향 저항력 확보에는 한계가 있다. 횡저항력을 확보하기 위하여는 거더에 강판을 용접하고 침목과 강판을 볼트로 완벽하게 체결하는 방법, 거더 상부 플랜지에 구멍을 뚫어 체결하는 방법 등으로 거더와 침목을 강결 시켜야 하며 침목 상호간을 보강하기 위하여 침목 양쪽에 L-형강을 설치 후 나사못으로 고정하여 하나의 완벽한 패널로 형성시켜야 한다.

(2) 레일 절손 시 개구량은 69㎜ 이하일 것

레일 절손량이 과다할 경우에는 열차 안전 운행에 큰 지장을 주기 때문에 레일 절손 시 개구량은 차륜의 직경, 통과 열차의 속도 등에 따라 변화 요인은 있으나 69mm로 정한다.

(3) 거더 신축 및 레일온도 변화에 의한 레일의 응력이 1,800kg/㎠ 이하일 것

거더 신축에 의한 축력의 증가, 온도 변화에 의한 레일의 축력, 차량통과에 따른 레일의 응력 발생 등을 고려하여 60kg 레일의 경우 온도 변화에 따른 레일 자체 응력 증가와 거더 신축 때문에 레일에 전가되는 레일 응력의 합은 1,800kg/㎠ 이하로 관리 되어야 한다.

2.2 무도상 교량 레일 장대화 공법

2.2.1 일반 체결구와 종방향 활동체결구를 혼용하는 공법

레일과 거더의 상호 작용에 의한 레일의 추가 응력 발생을 최소화하며 교각 등 하부구조에 작용하는 장대레일 종방향 하중을 최소화하는 방안으로서 Fig. 2와 같이 고정단 부근은 체결력이 강력한 일반 체결구를 집중적으로 배치하고 나머지 구간은 일반 체결구와 종방향 활동 체결구를 혼용하는 방식으로 고정단 쪽에 가능한 한 보통 체결구 사용 비율을 높이도록 하고 가동단 부근은 열차 주행 중 레일의 상하 떨림 폭을 억제하는 범위에서 일반 체결구 사용을 최소화되도록 하여야 한다. 이 공법은 교량 구간에 레일 신축 이음매가 필요 없이 교량 전후 구간 전체를 함께 장대 레일화를 기할 수 있어 궤도 유지관리에 취약부인 레일 신축이음매를 제거할 수 있으며 현재 일반선에 일반적으로 산재하여 있는 다경간 단순 판형교에 적용하기 가장 적절한 방안이다.

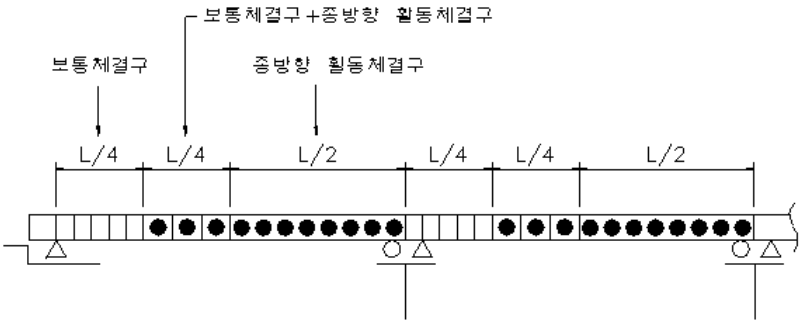

Fig.2 Layout of fastener placement in general and zero longitudinal restraint (ZLR)

그러나 이 경우에는 레일이 절손 시 개구량이 허용된 범위 내에서 유지될 수 있는지 확인해야 하며 장출에 대한 안정성을 확보하기 위하여 횡저항력을 충분하게 확보해야 한다. 특히 교대의 배면부에는 거더 및 레일의 온도 변화에 의한 축력의 증가와 이에 따른 레일 장출을 막기 위하여 좌굴 방지판을 사용하여 궤도의 횡방향 저항력을 충분히 확보해야 한다.

본 공법에 대하여 일반선 구간에서 현재 국내에 가장 많이 사용하고 있는 2종의 팬드롤 체결구를 사용할 때에 대하여 적용 가능 교량 지간을 아래 가동구간 길이 식 (1)과 레일절손시 개류량 식 (2)를 이용하여 산정한 결과는 Table 1과 같다.

$$\ell = \frac{E \cdot A \cdot \beta \cdot t}{\gamma} \tag{1}$$

$$e = 2 \times \left(\frac{E \cdot A \cdot \beta^2 \cdot t^2}{2\gamma} \right) \tag{2}$$

Table 1 Applicable span length applying this method

Classification	Length general device (3/8ℓ)	
Fastener type	PR600	E2000
Applicable span length(m)	39	101

여기서,

복진저항력(γ)=체결구당 복진저항력/침목간격 x (거더 당 보통체결구 배치비율) x 0.75

로 계산한다. (0.75 : 체결구의 탄성저하를 감안한 계수)

또한 교각이 종방향으로 충분한 강성을 갖고 있을 때에는 거더의 고정단을 1개 교각에 집중시키는 FFMM방식을 사용하면 그 효과를 극대화할 수 있다.

2.2.2 종방향 활동체결구를 사용하여 전구간을 장대화하는 공법

체결구에서 종방향 활동 기능을 갖도록 하는 방안으로서 기본 개념은 체결구를 체결하여도 레일 저부에 직접 체결력이 전혀 전달치 않도록 하는 방식으로 종방향으로는 전혀 힘이 전달되지 않으며 레일의 상방향 활동, 전도에만 저항토록 하는 방안이다. 레일 패드를 사용할 때에는 레일 패드에 턱을 두어 레일의 온도 신축시에도 레일 패드가 베이스 플레이트에 걸려 이완되지 않도록 해야 한다.

아래 Table 2는 본 공법을 적용 시 이론상 적용 가능한 교량 연장을 식(1)과 식(2)를 사용하여 산정한 결과이다.

이 공법 사용시 종방향 저항력은 단지 레일 자중만이 작용하는데 복진 저항력이 매우 작아 무시한다. 본 종방향 활동 체결구 사용 공법은 거더 및 레일 자체에 온도 변화에 의한 축력이 작용하지 않음으로 레일의 장출 염려가 없고 레일 신축량만 소화할 수 있는 레일 신축이음매를 사용하면 이론적으로 교량의 연장과는 무관하게 적용 할 수 있다.

Table 2 Applicable bridge length applying this method

Stroke	±62.5		±150		±250	
Fastener type	PR600	e2000	PR600	e2000	PR600	e2000
Applicable span length(m)	65	71	236	403	431	783

2.2.3 교량 침목과 거더가 자유롭게 이동하도록 하는 공법

기본 개념이 종방향 활동체결구를 사용하여 레일을 장대화하는 방안과 동일하나 이 공법은 레일과 침목 사이가 자유롭게 종방향으로 움직이게 하는 것이 아니고 거더 상부 플랜지 위에 강재장치(steel device)를 용접하고 여기에 강판과 볼트로 체결된 침목을 올려놓아 침목과 거더가 종방향으로 이동이 자유롭게 하며 횡방향과 상향으로는 이동을 구속하는 방법이 다르다. 이 공법을 적용 시에는 침목과 거더 사이의 종방향 활동이 원활하게 하여야 하며, 침목과 레일은 하나의 움직이지 않는 패널을 형성 해야 하므로 가능한 강력한 체결구가 요구된다. 또 거더 단위로 패널이 형성되므로 곡선부에 적용 시에는 미세하지만 선형의 변형이 예상되므로 궤도 선형 관리에 특히 주의해야 한다. 아래 Fig. 3은 침목과 거더를 연결 강재장치 상세를 나타내고 있다.

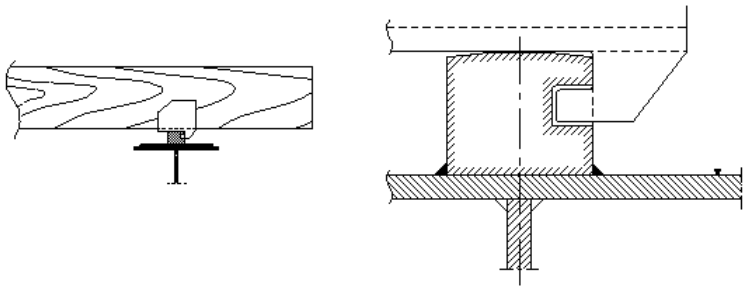

Fig.3 Detail of steel device connecting the sleeper to the bridge girder

2.2.4 거더를 연속화 하고 교량 단부에 신축이음을 설치하는 공법

교량상 레일 장대화를 위한 기본 가정 중 레일 장대화 시 강재 거더의 온도와 레일 온도는 같고 온도 상승량, 하강량도 같다는 가정을 전제로 단일 거더교량에서 거더의 신축량만큼 교량 전후에 레일 신축이음매로 신축량을 흡수토록 하는 공법이다. 이 공법의 개념은 Fig. 4와 같으며 일반적으로 일반철도에 산재하여 있는 교량을 연속화시킬 경우 고정단이 1개소로 되어 제동 및 시동 하중의 집중과 이에 따른 축력을 고정단에서 담당해야 하므로 종방향 활동성이 우수한 받침을 사용하고 교량 높이가 낮아 교각의 종방향 강성이 충분한 경우와 직선 교량에만 적용할 수 있다.

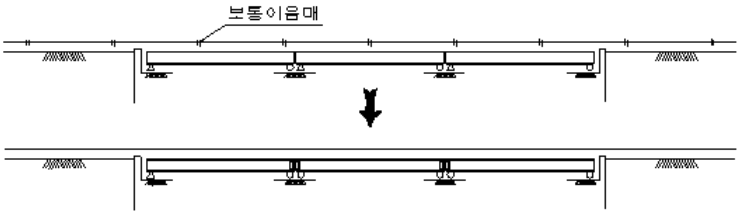

Fig.4 Conceptual diagram of continuing bridge girders to CWR

3. 결 론

무도상 판형교 레일 장대화를 위해서 기존 거더와 궤도를 철거한 후 미리 제작된 교량슬래블 교체한 후 교량 슬래브를 유도상 궤도로 새로 부설하고 레일을 장대화하는 공법은 운행선상 제한된 차단시간에 교체가 이루어져야 하므로 그 기술의 적용성에 있어서 매우 제한적이며 많은 건설비가 소요된다. 따라서 본 논문에서는 판형교를 유도상화 하여 레일을 장대화하는 공법이 아닌 기존 무도상을 판형교의 궤도 구조시스템을 변경하여 레일을 장대화 할 수 있는 공법을 소개하고 각 공법 별 적용제한조건 및 장단점을 비교 분석하였다.

참고문헌

[1] 이덕영, 공선용, 권순섭, 김은 (2003) 종방향 활동체결구를 사용한 당산철교 장대레일화 사례, 한국철도학회추계학술대회논문집, pp. 379-384.

[2] 황만호, 엄종우 (2012) 기존 판형교에서의 장대레일화에 대한 고찰, 46, pp. 48-52.