Journal of the Korean Geo-Environmental Society
17(1): 21～28. (January, 2016) http://www.kges.or.kr
ISSN 1598-0820
DOI http://dx.doi.org/10.14481/jkges.2016.17.1.21

철도 레일빔 설계법에 대한 연구

Design of the Railbeam Lengths at the Roadbed

정 혁 상†
Hyuksang Jung

Received: October 1st, 2015; Revised: October 13th, 2015; Accepted: December 15th, 2015

ABSTRACT : This paper deals with contents on the estimation of rail beam from the geotechnical engineering aspect. Rail beam is reinforced rail installed on the inside and outside of rail to prevent differential settlement during the construction period of railroad crossing construction. Such rail beam is frequently being installed to ensure stability of existing railroad facilities because of increasing constructions of underground structures crossing railroad in recent. However, there is a difficulty in design due to lack of design standard on rail beam length. Furthermore, derailing accidents are also occurring as a result of rail beam length shortage. Accordingly, this paper presented flow chart based on the classification into soil ground and bedrock ground for the rail beam length estimation. In addition, case study was conducted on rail combination and location through which effective rail combination and location were ensured.

Keywords : Rail beam, Reinforced rail, Railroad crossing construction, Railroad bed, Numerical analisys

요 지 : 본 논문은 레일빔의 길이 산정에 관해서 지반공학적 측면에서 다룬 내용을 담고 있다. 레일빔은 철도횡단공사에서 가설기간 중에 부등침하 방지 목적으로 레일의 내측과 외측에 설치하는 보강레일을 말한다. 이러한 레일빔은 최근 철도를 횡단하는 지하구조물의 시공이 증가해서 기존 철도 시설물의 안정에 대응하고자 많이 설치하고 있다. 그러나 레일빔 길이 설계에 관한 기준이 없어 설계에 어려움이 있을 뿐만 아니라 레일빔 길이 부족으로 탈선사고까지 이어지는 경우가 발생하고 있다. 따라서 본 연구에서는 레일빔 길이 산정 방식에 대하여 토사지반과 암반지반으로 분류하여 Flow chart를 제시하였으며 레일 조합 및 위치에 대한 Case study를 실시하여 효과적인 레일의 조합과 위치에 확보할 수 있었다.

주요어 : 레일빔, 레일보강, 철도횡단공사, 노반, 수치해석

1. 서 론

최근 철도 연장의 확대와 도시의 발달로 인해 철도 하부를 통과하는 시설물이 점차적으로 증가하고 있다. 이렇듯 건설 또는 운행 중인 철도노선을 지하로 횡단하여 도로, 수로, 통신구 및 전력 등의 시설을 설치하는 공법을 철도지하횡단공법이라고 한다. 철도지하횡단공법은 철도로 인해 발생한 지역의 단절과 지역의 균형적인 발전을 저해하는 문제점 등을 해결해오고 있다.

이러한 지하횡단공사는 대부분 상부에 철도나 도로와 같은 교통수단이 운용 중에 있어 차량의 안정성 확보를 위한 횡단구조물의 정밀시공은 무엇보다 중요하다. 특히 철도는 많은 승객을 수송하고 열차가 정시 도착해야 하며, 안전성이 확보된 교통수단으로서 인식되어 철도지하횡단공사로 인한 레일의 안정성 확보는 더 없이 중요하다.

그러나 철도지하횡단공사 시 불확실한 노반의 재료, 최소토피고 부족, 여굴로 인한 침하, 동절기 횡단구조물에 의한 노반의 융기 등의 문제로 레일의 변형이 발생하고 있고 이로 인한 사고사례도 보고되고 있다. 이를 방지하기 위해 철도지하횡단공사에서 가설기간 중에 부등침하 방지 목적으로 레일의 내측과 외측에 설치하는 보강레일을 설치하는데 이를 레일빔이라고 한다. 그러나 최근 레일빔의 설계 및 시공이 증가하고 있지만 적용효과 및 설계기준 마련은 아직 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 철도지하횡단공사 시 레일의 일시적인 침하를 방지하기 위한 용도로 사용되는 레일빔의 길이 산정에 대한 연구를 실시하였다. 지반공학 측면에서 토사지반에서는 Rankine의 활동면을 연장하여 레일빔의 길이를 산정하였고 암반지반의 경우 Tezaghi의 이완 폭으로 레일빔의 길이를 산정하는 방안을 제안하였다. 또한 레일빔의 설

† Department of Railroad Civil Engineering, Dongyang University (Corresponding Author : yoricom@dyu.ac.kr)

계 흐름을 제안하였고 레일빔의 조합별 설계법과 레일빔의 위치별 설계법을 제안하여 궤도의 안정성을 확보하고 나아가 열차의 안전운행을 확보하고자 하였다.

2. 레일빔의 이론적 배경

2.1 레일빔의 정의

최근 철도분야에서 일반적으로 레일빔으로 불리는 구조물은 철도지하횡단공사 시 궤도의 갑작스런 침하 및 부등침하를 방지하기 위해 가설기간 중에 일시적으로 사용하는 가시설을 말한다(Jung et al., 2014). 더불어 철도지하횡단공사로 인해 느슨해진 철도 노반 하부의 국부적인 침하에 대하여 보강하는 기능을 가진 구조물을 말한다. Fig. 1에 여러 형태의 레일빔을 나타내었듯이 레일의 내측에 설치하는 경우와 레일을 기준으로 양측에 설치하는 경우가 있으며 레일의 개수 조합에 따라 3개, 5개, 7개 조합 등으로 구성할 수 있다.

그러나 과거 레일빔은 구교(연장 5m 이하 교량)에서 침목새들을 지점 삼아 가로보 역할을 할 수 있도록 레일을 조합하여 설계한 영구 구조물로 지칭하였다. 최근 철도 시설물의 현대화로 인해 구교의 신설이 없어져 레일빔의 의미가 퇴색되었고 철도지하횡단공사 시 가설기간 중에 사용하는 보강레일로 그 의미가 바뀌어 사용되고 있다. 과거 구교의 영구 레일빔과 지하횡단공사 시 가설 레일빔은 수직재의 기둥에 연결되어 하중을 지지하고 있는 축 방향 부재로서 동일한 의미를 지니며, 축의 직각 방향 하중을 지지하는 방식으로서 공학적 메커니즘이 유사하다. 레일빔을 사용목적에 따라 구분하여 표현을 달리한다면 최근 철도횡단공사 시 궤간 내에 설치하여 쓰이고 있는 레일빔의 의미로써 사용이 가능하다.

참고적으로 레일빔은 2개의 절점을 지점으로 수평부재를 지지하는 공학적 메커니즘을 가진 반면에 교량/토공 접속부, 콘크리트궤도/자갈궤도 접속부에 사용되는 보강레일은 도상의 강성차, 지반의 강성차이에 의한 변형을 억제하고자 하는 공학적 메커니즘을 지니고 있어 일부 차이가 있다.

2.2 레일빔 기준 및 적용 현황

앞서 언급한 바와 같이 과거의 레일빔은 구교에서 레일을 조립하여 침목새들을 지점 삼아 가로보 역할을 할 수 있도록 설계한 영구 구조물을 말한다. 이러한 과거 레일빔의 설계기준은 선로보수자료(부도)에 명시되어 있으며 LS-18 하중과 LS-22 하중으로 구분하고 레일종별로 30kg, 37kg, 50kg으로 구분하여 지간 5m 이하에서 레일의 조합 개수를 명시하고 있다. 그러나 당시의 레일빔은 영구구조물에 해당하는 구조물로서 현재에 불리는 임시적인 레일빔과는 차이가 있으며 현재 레일빔의 기준 또한 명확지 않다.

최근 철도지하횡단공사는 전국적으로 약 50개소에서 수행되고 있는 것으로 파악되었다. 거의 대부분의 철도지하횡단공사에 철도 노반의 침하 및 국부적인 침하에 대응하고자 레일빔을 설치하여 운영하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 레일빔의 설계기준이 없어 철도횡단공사 개소마다 길이 및 조합 등의 방법이 상이한 것으로 나타났다.

2.3 레일빔의 설계 및 문제점

현행 레일빔은 철도설계 기준을 근거로 레일(SM400)의 허용 축 방향 압축응력, 허용 좌굴응력, 허용 압축응력과 허용 전단응력을 기준에 만족하도록 설계하고 있다. 설계 시 산정하는 레일빔의 길이와 조합(개수)을 지반의 반력계수를 산정하고 이완 폭을 고려하여 부동점을 확인하고 구조적 안정성을 확인하는 절차로 이루어지고 있다. Fig. 2는 레일빔의 설계 예를 보여주고 있다.

앞서 기술한 종전의 설계 방식은 파괴면의 시작점이 횡단구조물의 상단에 위치하는 오류를 포함하고 있다. 그러나 파괴면의 시작점은 횡단구조물의 하단에 위치하는 것이 옳

(a) Inside reinforcement (KOREA) (b) Both sides reinforcement (JAPAN) (c) Inside reinforcement (GERMANY)

Fig. 1. Type of reinforced rail

으며 종래의 설계 방식으로 레일빔의 길이를 산정할 경우는 파괴면의 시작점이 횡단구조물의 하단에 위치하는 것보다 레일빔의 길이보다 더 짧아지게 된다. 또한 레일빔의 길이를 근거없이 일률적으로 20m로 설계하는 경우도 있어 레일빔의 길이 산정에 많은 오류를 가지고 있는 것으로 나타났다. 이렇듯 최근 지하횡단공사에서 레일빔의 길이를 산정함에 있어 활동영역 내에 레일빔이 존재하여 안정성을 확보하지 못하는 것으로 나타났다. 또한 최근에 발생한 지하횡단구간 공사 시 상부의 노반침하로 발생한 열차 탈선사고는 레일빔의 길이 부족과 무관하지 않은 것으로 나타났다.

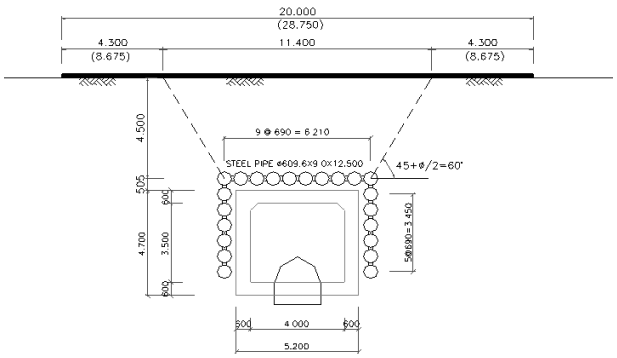


Fig. 2. Example of rail beam design

3. 레일빔 길이 부족에 따른 사고사례

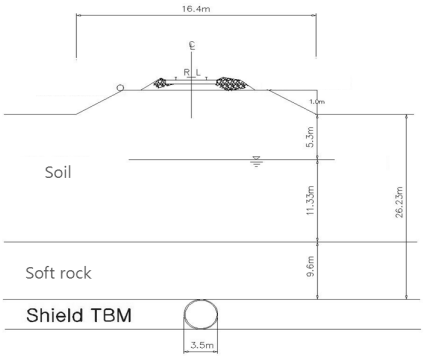
최근 발생한 A 역 전동열차 탈선 사고(Fig. 3 참조)와 B 구간 지하전력구 설치공사 구간 선로침하 사고(Fig. 4 참조)는 지하횡단공사 시 노반침하에 대한 많은 시사점을 주고 있다(Ministry of land, infrastructure and transport, 2013). A 역 열차 탈선 사고의 경우 탈선 당시 철도지하횡단공사가 진행중이었으며 선로의 국부적인 침하를 방지하기 위해 레일빔이 설치되어 있었으나, 탈선지점이 레일빔(L=30m) 끝에서부터 탈선이 시작된 것으로 조사되었다. 선로 횡단 지하차도 설치공사의 공법으로 강관추진공법인 Front Jacking 공법(L=91m)이 적용되었으며, 탈선 당시 총 25개의 강관 중 19개의 강관이 굴착 및 압입된 상태에서 노반의 침하가 발생한 것으로 조사되었다. 사고열차는 선로를 운행 시 곡선 선로 일부구간에서 캔트가 급격하게 체감됨으로써 한쪽 차륜이 부상하는 3점 지지 현상의 발생으로 곡선 구간을 통과할 때 부상된 한쪽 바퀴가 원심력에 의해 곡선 외측 레일을 타고 올라 운행하다 열차진행방향 우측(곡선 선로 외측)으로 탈선한 것으로 조사되었다.

B 구간 지하전력구 설치공사 구간 선로침하 사고의 경우

(a) Derailment

(b) Derailment site

Fig. 3. A station derailment (Ministry of land, infrastructure and transport, 2013)



(a) Cross section

(b) Track subsidence

Fig. 4. B zone track subsidence accident

선로 하부에서 Shield TBM 횡단공사가 실시되고 있었으며 철도횡단 총 16.4m 중 13.1m를 굴착 중 사고가 발생한 것으로 보고되고 있다. 직접적인 노반침하의 원인은 굴착 시 지하수 과다 누수로 인한 전력구 주변 지반침하가 발생한 것으로 전력구는 연암층 횡단 굴착에 의한 침하는 없었던 것으로 보고되었다. 두 사고 현장 모두 선로 하부에서 지하횡단공사가 이루어지고 있었으며 노반침하 관리 소홀이 직접적인 원인으로 보고되고 있다.

4. 레일빔 설계법 제안

4.1 개요

레일빔은 지반의 국부적인 침하 및 부등침하에 대응하고자 임시적으로 적용하는 구조물로서 노반침하로 인해 발생되는 이완영역의 파악이 매우 중요하다고 할 수 있다. 지반은 토사지반과 암반지반으로 구분되므로 레일빔의 길이는 지반종류(토사/암반)에 따라 달리 설계해야 한다. 토사지반의 경우 Rankine의 활동면을 파악하여 산정할 수 있으며 암반지반의 경우 Tezaghi의 이완 폭으로 이완영역을 파악하여 산정할 수 있다. 레일빔 길이 산정 시 지반의 활동면과 암반의 이완 폭은 활동영역에 해당되며 정착영역을 별도로 두어 레일빔을 외측에 고정시킬 필요가 있다. 이렇듯 레일빔 설계 시 고려할 요소들을 정리하여 Fig. 5에 설계 흐름도를 제안하였다. 먼저 토사지반과 암반지반을 분류하고 각각에 맞는 활동영역의 길이를 산정한 뒤 저항영역의 길이를 합산하여 설계를 진행하는 흐름으로 구성하였다.

4.2 지반조건별 및 깊이별 설계법

4.2.1 토사지반 설계법

토사지반에서 일반적으로 지반의 파괴 포락선을 Rankine (1857)의 주동상태의 활동면을 적용한다. Rankine의 주동토압은 최대주응력과 이루는 면이 활동면(Slip plane)으로서 활동면과 이루는 각은 45°+ϕ/2로 나타내었다. 그러나 종전의 레일빔 설계 방식에서는 활동면과 이루는 각은 45°+ϕ/2로서 동일하나 활동면과 이루는 각의 시점이 횡단구조물의 상부에 위치하여 레일빔 길이가 부족하여 본 설계에서는 횡단구조물 바닥면에서 활동면과 이루는 각이 시작하도록 제안하였다(Fig. 6 참조). Eq. (1)에 토사지반에서의 레일빔 설계 길이 산정식을 나타내었다.

$$\begin{aligned} L &= b + L_a + L_r \\ &= b + \left\{ \left(H_p + H_t \right) \times \tan\left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \right\} \times 2 + L_r \end{aligned} \tag{1}$$

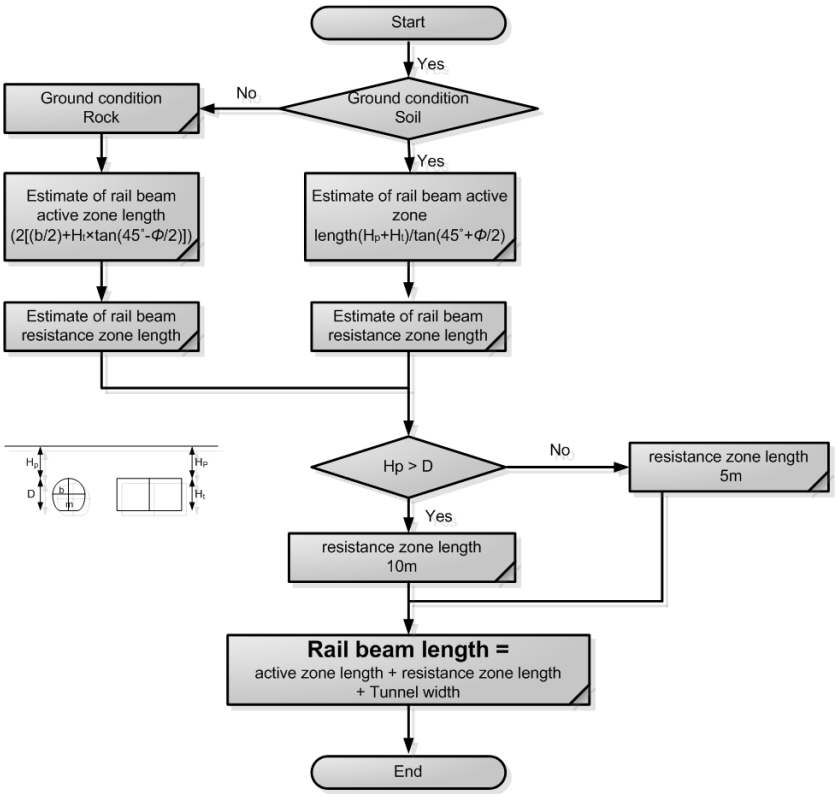


Fig. 5. Flow chart of rail beam design

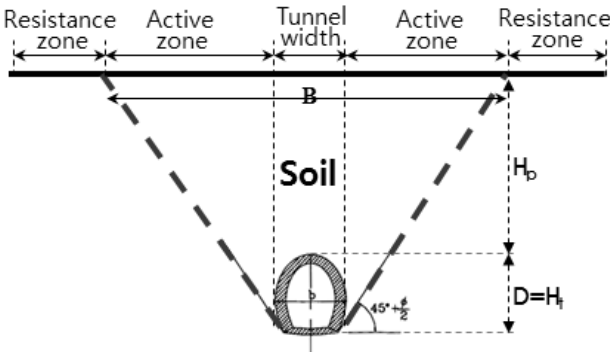


Fig. 6. Design of railbeam in the soil

여기서 L : 레일빔의 길이
L_a : 활동영역 길이
L_r : 저항영역 길이
H_p : 토피고
b : 터널 폭
H_t : 터널 높이 혹은 터널직경
ϕ : 지반의 내부마찰각

또한 활동영역 길이는 근접시공 및 굴착에 의한 토사지반의 이완영역으로 파괴 포락선 내측 영역을 말하며 횡단면 상에서 터널직경을 중심으로 좌·우측을 포함한 길이를 말한다. 저항영역 길이는 근접시공 및 굴착에 의한 토반지반의 이완영역으로 파괴 포락선 외측 영역을 말하며 횡단면 상에서 터널직경을 중심으로 좌·우측을 포함한 길이를 말한다. 여기서 저항영역 길이 토피고가 1D(D=터널직경) 이내일 경우 5m를 적용하며, 저항영역 길이 토피고가 1D(D=터널직경) 이상일 경우 10m를 적용 한다.

4.2.2 암반지반 설계법

암반지반에서 지하횡단공사 시 침하에 대한 범위는 터널의 이완하중에 대한 산정식으로 구할 수 있으며 터널의 이완하중을 산정하는 대표적인 방법에는 Terzaghi 암반이완하중 개념을 이용하는 방법이 있다(Terzaghi, 1946). 터널 암반의 이완하중 원인으로는 숏크리트나 록 볼트와 같이 1차 지보재의 지지력 상실과 터널 주변의 근접시공에 의한 지반의 2차 변형 등을 들 수 있다. Terzaghi 암반이완하중 개념을 활용하여 이완 폭을 결정하고 이를 레일빔의 활동영역 길이를 설계법에 적용하였다. Terzaghi 암반이완하중에서 얕은 터널의 경우는 Eq. (2)와 같고 깊은 터널의 경우 Eq. (3)과 같다. 이완하중에 대한 이완 폭은 Eq. (4)와 같다.

얕은 터널 : $$P_{roof} = \frac{\gamma B}{2K\tan\phi}\left(1 - e^{K\tan\phi\frac{2H_p}{B}}\right) \quad (2)$$

깊은 터널 : $$P_{roof} = \frac{\gamma B}{2K\tan\phi}(const.) \quad (3)$$

암반하중에 따른 이완 폭 : $$B = 2\left[\frac{b}{2} + H_t \times \tan\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right)\right] \quad (4)$$

여기서 B : 이완 폭
b : 터널 폭
H_p : 토피고
H_t : 터널 높이
ϕ : 지반의 내부마찰각
γ : 지반의 단위중량

Terzaghi 이완하중에 대한 이완 폭의 산정 근거를 통해 암반지반에서의 레일빔의 길이를 산정하면 Eq. (5)와 같다. 활동영역 길이는 근접시공 및 굴착에 의한 암반지반의 이완영역으로 파괴 포락선 내의 영역을 말하며 횡단면 상에서 터널직경을 중심으로 좌·우측을 포함한 길이를 말한다. 그리고 저항영역 길이는 근접시공 및 굴착에 의한 암반지반의 이완영역으로 파괴 포락선 외측 영역을 말하며, 횡단면 상에서 터널직경을 중심으로 좌·우측을 포함한 길이를 말한다. Fig. 7은 암반지반에서의 이완하중 폭과 레일빔 길이 산정에 관한 그림을 도식적으로 나타내었다.

$$\begin{aligned} L &= b + L_a + L_r \\ &= b + \left\{H_t \times \tan\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right)\right\} \times 2 + L_r \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 L : 레일빔의 길이
L_a : 활동영역 길이
L_r : 저항영역 길이
b : 터널 폭
H_t : 터널 높이 혹은 터널직경
ϕ : 지반의 내부마찰각

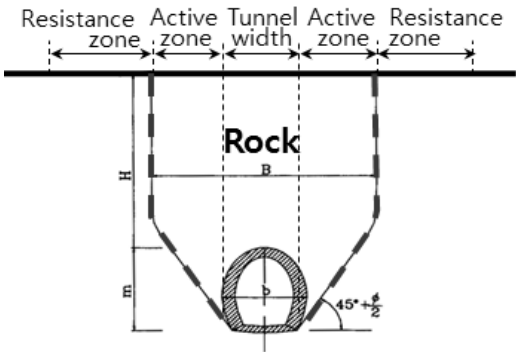


Fig. 7. Design of railbeam in the rock

4.3 레일빔의 조합별 설계법

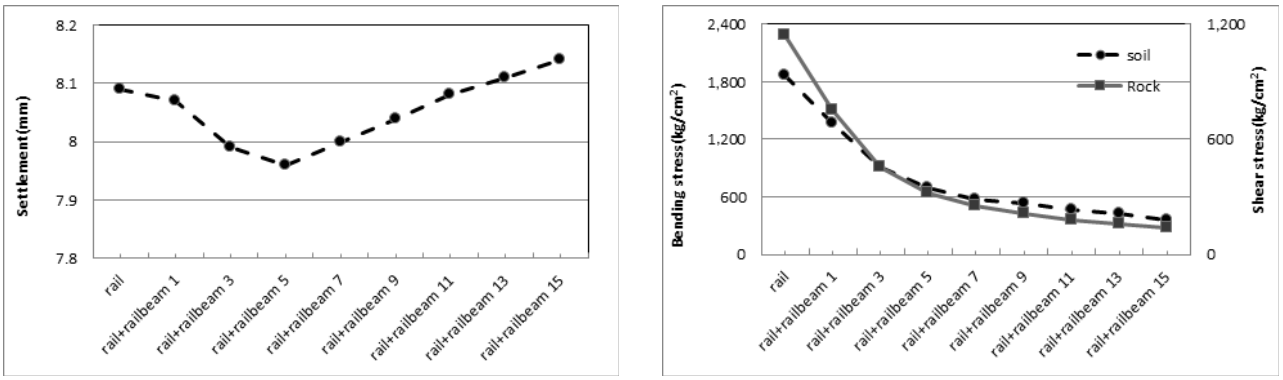
레일빔의 조합별 설계법은 레일빔의 가장 효과적인 조합(레일의 개수)을 선정하고 레일의 국부적인 안정성을 확인하기 위해 실시하였다. 연구방법으로 수치해석을 실시하였으며 구조해석 유한요소해석 프로그램인 SAP2000(1997)(ver.11.0.4)을 사용하였다. 기존 레일에 레일빔을 1개 설치하고 추가적으로 2개씩 증가시켜 가며 허용 휨 압축응력과 허용 전단응력을 기준치와 비교·분석하였다. 철도설계기준(Korea rail network authority, 2013)에 명시된 허용 휨 압축응력(1,575kgf/cm^2)과 허용 전단응력(900kgf/cm^2)의 기준을 적용하였다. 레일의 개수 증가는 단면 2차 모멘트와 단면계수 증대로 구현하였으며 열차하중은 표준열차하중을 적용하였다.

연구결과 레일빔 1개 조합 이상 구성해야 허용응력을 확보하는 것으로 나타났다. 레일 침하의 경우 레일빔의 조합이 증가할수록 침하가 감소하나 조합 5개를 기준으로 감소추세에서 증가 추세로 전환을 알 수 있었다. 이는 레일빔 개수 증가에 따른 침하로 보여지며 최적 레일빔의 개수는 구조적 안정성 검토와 침하분석을 통해 5개가 적정한 것으로 분석되었다(Fig. 8 참조).

4.4 레일빔의 위치별 설계법

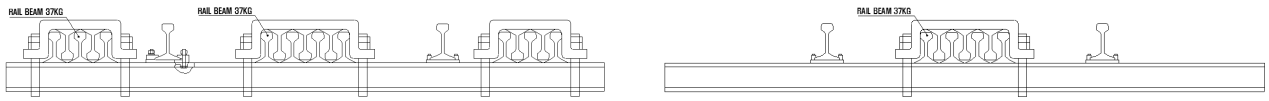
Fig. 9에 나타낸 바와 같이 레일빔은 궤간 내측과 외측에 설치할 수 있으며 유지보수 시 문제로 인하여 궤간 내에 설치하는 것이 일반적이나 일부 현장에서는 궤간 외측에 설치하는 경우도 있다. 이와 같이 레일빔의 설치 위치가 명확지 않고 기준 또한 마련되어 있지 않아 철도횡단공사 개소마다 다르게 적용하고 있어 이에 대한 영향 검토가 필요하다고 할 수 있다. 따라서 레일빔의 위치별 설계법 연구는 레일빔의 설치 위치에 따른 안정성(침하)을 검토하여 효과적인 설치 위치를 결정하기 위하여 실시하였다. 연구방법으로 직선부와 곡선부에 레일빔의 궤간 내측과 외측에 각각 설치하여 레일의 침하량을 분석하였다. 수치해석은 범용 유한요소해석 프로그램인 Abaqus(2004)(ver.6.5)를 사용하였으며 적용물성은 Table 1과 같으며 해석의 종류는 Table 2와 같다.

Table 3과 Fig. 10에 나타낸 바와 같이 레일빔의 위치(Case I, Case II)에 따른 직선부 영향을 검토한 결과 레일의 전체 침하량이 7.36mm로 동일한 결과를 나타냈다. 곡선부 영향을 검토한 결과 좌측 레일의 침하량이 7.49mm로 Case III과 Case IV가 동일한 침하를 보였으며 우측 레일의 경우 Case



(a) Settlement of rail (b) Stress of rail

Fig. 8. Result of rail combination



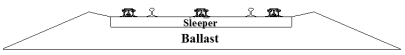
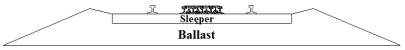
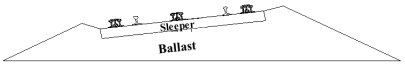
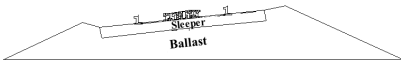
(a) Outside reinforcement (b) Inside reinforcement

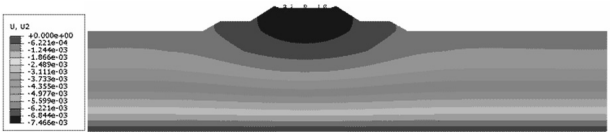
Fig. 9. Installation for railbeam site

Table 1. Parameter by analysis application

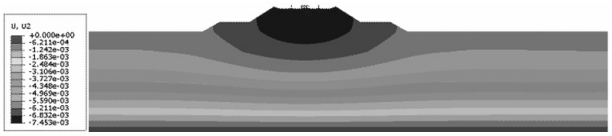
Classification	Unit weight (kN/m^3)	Elastic modulus (MPa)	Friction angle (°)	Cohesion (kPa)	Poisson's ratio (ν)
Rail	76	210,000	-	-	0.30
Sleeper	24	30,000	-	-	0.18
Ballast	15	40	40	5	-
Roadbed	24	60	32	10	0.32

Table 2. Numerical analysis cases

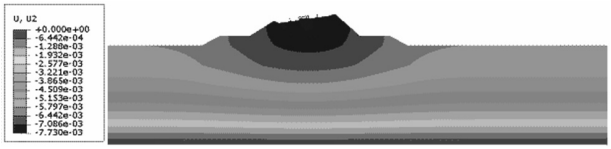
Classification	Location	
Case I	Line section Outside reinforcement	
Case II	Line section Inside reinforcement	
Case III	Curve section Outside reinforcement	
Case IV	Curve section Inside reinforcement	



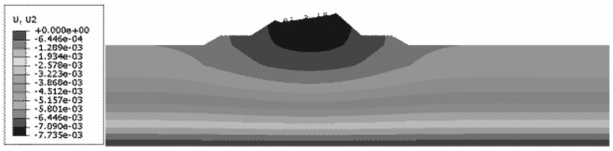
(a) Case I



(b) Case II



(c) Case III



(d) Case IV

Fig. 10. Result of settlement for railbeam location

Table 3. Result of settlement for railbeam location

Classification		Settlement	
		Left rail	Right rail
Line section	Case I	7.36 mm	7.36 mm
	Case II	7.36 mm	7.36 mm
Curve section	Case III	7.49 mm	7.58 mm
	Case IV	7.49 mm	7.59 mm

III은 7.58mm, Case IV는 7.59mm로서 거의 동일한 침하량을 보였다. 곡선부에 최대 캔트량을 적용하여 좌·우측 레일의 침하량을 상호 비교해 본 결과 Case III은 0.09mm, Case IV는 0.1mm로 부등침하량의 크기가 작은 것으로 나타나 곡선부의 경우 레일빔의 위치에 따른 영향은 없는 것으로 분석되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 철도지하횡단공사에서 가설기간 중에 부등침하 방지 목적으로 설치하는 레일빔의 길이 산정에 관해서 연구하였다. 레일빔 길이 산정 방식에 있어서 토사지반과 암반지반으로 분류하여 Flow chart를 제시하였으며 레일 조합과 위치에 대한 Case study를 실시하여 효과적인 레일의 조합과 위치에 확보할 수 있었으며 결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

(1) 레일빔의 정의 부분에 있어서 과거의 사용된 의미와 현재 사용하고 있는 의미가 서로 달라 재정의하였으며 현재의 레일빔은 철도지하횡단공사에서 가설기간 중에 부등침하 방지 목적으로 레일의 내측과 외측에 설치하는 보강레일로 정의할 수 있다.

(2) 현행 레일빔의 설계는 지반의 파괴면 시작점이 횡단구조물의 상단에 위치하고 있어 레일빔의 길이가 부족함을 알 수 있었으며 일부는 레일빔의 길이를 일률적으로 20m로 설계하는 경우도 있어 현재 레일빔의 설계기준 부재에 따른 문제점이 많은 것으로 조사되었다.

(3) 제안하는 레일빔 설계에서 토사지반의 경우 Rankine의 활동면을 파악하여 산정하고 암반지반의 경우 Terzaghi의 이완영역을 통해 레일빔의 길이를 산정할 수 있도록 하였고 활동영역과 정착영역을 구분하여 산정할 수 있도록 흐름도를 제안하였다.

(4) 레일빔의 조합별 설계법에서는 레일빔을 1개 이상 구성해야 허용응력을 확보하는 것으로 나타났고 5개 조합에서 침하량이 증가 추세를 보여 레일 5개 조합이 최적 조합으로 분석되었다.

(5) 레일빔의 위치별 설계법에서는 직선부와 곡선부의 침하

량이 최대 0.1mm로 부등침하량이 발생하여 곡선부에서 레일빔의 위치에 따른 영향은 없는 것으로 분석되었다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 동양대학교 학술연구비의 지원으로 수행되었습니다.

References

1. Abaqus (2004), Abaqus Analysis User's Manual, ver.6.5.
2. Jung, H. S., Park, S. E., Cho, M. J., Min, H. K., Lee, S. D. and Kim, K. S. (2014), A study on the determination of the lengths of rail beams, Proceedings of 2014 Spring Conference of the Korean Society for Railway, pp. 793~799 (in Korean).
3. Korea rail network authority (2013), Railwaydesign standards, pp. 6~40 (in Korean).
4. Ministry of land, infrastructure and transport (2013), Railroad accident report, K676 electric train Cheonan station derailment pp. 1~50 (in Korean).
5. Rankine, W. M. J. (1857), On stability on loose earth, Philosophic Transactions of Royal Society, London, Part I, pp. 9~27.
6. SAP2000 (1997), SAP2000 Tutorial Manual, ver.11.0.4.
7. Terzaghi, K. (1946), Rock defects and loads on tunnel support, Rock Tunneling with Steel Supports, eds.R. V. Proctor and T. White, Commercial Shearing Co., Youngstown, Ohio, USA, pp. 15~99.