

## 광폭침목 설계 및 정량적 효과 분석에 관한 연구

## Study on Design and Quantitative Effect for Wide Sleepers

박범호\*, 윤경민\*, 배영훈\*\*, 황성호\*\*\*, 정요운\*\*\*\*, 임남형†

Beom-Ho Park\*, Kyung-Min Yun\*, Young-Hoon Bae\*\*, Sung-Ho Hwang\*\*\*,

Yo-Un Jung\*\*\*\*, Nam-Hyoung Lim†

**Abstract** Introduction of sleeper to reduce progress rate of the track irregularities, as reflecting the current situation of maintenance status and track construction, is needed among that increase of speed and prevention of the frequent track irregularities which appear in the high-speed ballast track section are required. Accordingly, the wide sleepers which ensure stability of the track by increasing sleeper's area and rigidity is developed with applied existing maintenance. The characteristic of developed wide sleepers is greatly increased bottom area of the rail seat. In this study, we analyzed quantitatively improvements effect of the wide sleepers through a static finite element analysis(FEA) results. In addition, the design moments with UIC 713R[2] and prEN 13230-6[3] were compared and analyzed to FEA results.

**Keywords :** Wide sleeper, Design of sleeper, Ballast track, Finite element analysis

**초 록** 고속철도 자갈궤도 구간에서 나타나고 있는 빈번한 궤도틀림 방지 및 증속이 요구되는 가운데 현재의 유지관리 실정이나 궤도부설 현황을 반영하여 궤도 틀림 진전율을 저감할 수 있는 침목의 도입이 필요하다[1]. 이에 따라 기존의 유지보수 작업을 그대로 적용하면서, 침목 면적 및 강성 증대를 통해 궤도의 안정성을 확보하는 광폭침목이 개발되었다. 개발된 광폭침목은 레일 좌면부의 도상 자갈 접촉면적을 크게 증가시킨 것이 특징이다. 이에 본 연구에서는 개발된 광폭침목의 개선 효과를 정적 유한요소해석 결과를 통해 정량적으로 분석하였다. 추가적으로 UIC 713R[2]과 prEN 13230-6[3]의 설계모멘트 계산식에 의한 결과값과도 비교·분석하였다.

**주요어 :** 광폭침목, 침목 설계, 자갈궤도, 유한요소해석

## 1. 서 론

최근 고속철도 자갈궤도 구간에서 나타나고 있는 빈번한 궤도틀림과 이에 따른 승차감 저하, 안전 위협, 유지보수 증가 등의 문제에 대응하고자 연구 개발이 활발하게 이루어지고 있는 가

† 교신저자: 충남대학교 공과대학 토목공학과(nhrim@cnu.ac.kr)

\* 충남대학교 공과대학 토목공학과

\*\* 한국철도기술연구원 첨단인프라연구팀

\*\*\* 한국철도기술연구원 첨단고속철도연구실

\*\*\*\* 삼표이앤씨(주) 기술연구소 개발팀

운데 기존 침목에 비해 궤도 강성 및 유지보수 측면이 개선된 광폭침목을 개발하였다. 광폭침

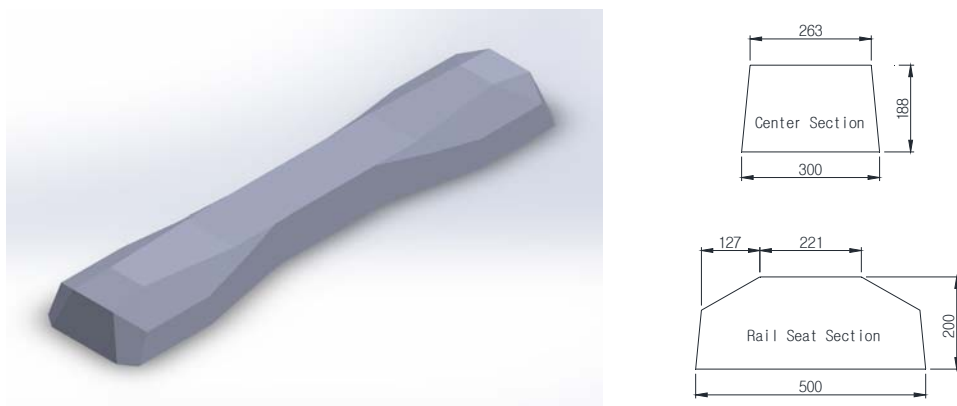
목은 도상에 가해지는 압력을 저감하기 위하여 레일 좌면부 하면과 도상 자갈과의 접촉면을 크게 증가시킨 것이 특징이라 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 개발된 광폭침목의 개선 효과를 정적 유한요소해석 결과를 통해 정량적으로 분석하였다. 추가적으로 UIC 713R[2]과 prEN 13230-6[3]의 설계모멘트 계산식에 의한 결과값과도 비교·분석하였다.

## 2. 침목 설계

UIC 713R과 prEN 13230-6에 의한 설계모멘트를 도출하기 위해 설계하중을 결정해야 한다. 그러나 국내 침목 설계기준에서 하중 산정 시 동적 효과로 고려되는 KRC-14030[4]의 동적할증계수와 동설계지침 [부록1] PC침목설계절차[4]의 충격계수가 상이하다는 문제점 및 UIC 713R과 같이 패드 특성 및 침목 지지 상태 등을 고려할 수 없는 한계점에 따라 UIC 713R을 수정하여 설계하중을 산정하였다.

### 2.1 침목형상 및 선로조건

광폭침목은 Fig. 1과 같이 침목 길이방향 길이가 2,400mm로 다소 짧아졌고, 레일 좌면부 하면의 폭(레일길이 방향)은 500mm로 크게 증가하였으며, 중앙부는 상대적으로 가는 아령형태이다. 설계하중 산정 시의 열차 수직하중은 여객화물혼용선(KRL-2012하중)[5]로 고려하여 220kN으로 하였으며, 선로조건은 Table 1과 같다.



**Fig. 1** Shape and dimension of wide sleeper

**Table 1** Railway line conditions

Static axle load	$Q_0 = 220 \text{ kN}$
Corresponding speed	$V = 150 \text{ km/h}$
Sleeper spacing	$s = 0.60 \text{ m}$
Rail type	60E1
Rail fastening system	e-clip fastening system : hard pad

## 2.2 설계하중

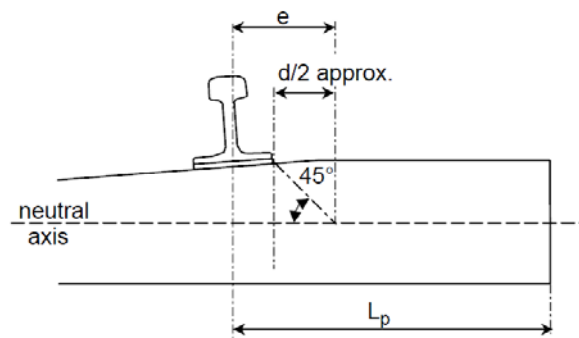
설계하중은 UIC 713R과 동일한 방법으로 산정하였으며, 속도 증가에 따른 계수( $k_v$ )만 KR C-14030의 동적하중계수를 적용하여 계산하였다. 다음 Table 2는 설계하중 영향계수 및 설계하중 결과값을 나타낸다.

**Table 2** Effect factors and design rail seat load

Effect factor	Determination	Values
Dynamic increment factor	$t \cdot \Phi [1.0 + 0.5 \times (V - 60)/80]$ - $t = 3$ (99.7%) ; for rail stress, sleeper - $\Phi = 0.15$ ; High speed line or Main line	$\gamma_v = 0.703$
Pad factor	Pads with low attenuation (< 15%)	$\gamma_p = 1.0$
Load distribution factor	Sleeper spacing $\leq 0.65\text{m}$ , Rail $\geq 46\text{kg/m}$	$\gamma_d = 0.5$
Longitudinal support fault factor	-	$\gamma_r = 1.35$
Design rail seat load	$0.5 \cdot Q_0 \cdot (1 + \gamma_p \cdot \gamma_v) \cdot \gamma_d \cdot \gamma_r$	$P_d = 126.46\text{kN}$

## 2.3 설계모멘트

UIC 713R과 동일한 방법으로 다음 Fig. 2와 같이 간략화한 설계 모델로 가정하여 레일 좌면부 휨모멘트( $M_{dr+}$ )를 식(1)~(2)과 같이 계산할 수 있다. 그리고 중앙부에 대한 휨모멘트는 식(3)과 같이 레일 좌면부와 중앙부의 단면2차모멘트비를 고려한 경험식을 이용하여 산정할 수 있다.



**Fig. 2** Assumed load distribution and lever arm derivation for rail-seat bending

$$\lambda = \frac{L_p - e}{2} = 0.138\text{m} \quad (1)$$

여기서,  $\lambda$  = 유효 팔길이

$L_p$  = 침목 단부에서 레일 좌면부(rail seat) 중심까지 수평거리(0.45m)

$d$  = 레일 좌면부(rail seat)에서의 침목 깊이(0.20m)

$e$  = 레일 좌면부 폭으로부터 유도된 하중 분포 폭

( $e = 0.15/2 + d/2$ , 0.15m : 60E1 레일 폭)

$$M_{dr+} = \gamma_i \cdot P_d \cdot \frac{\lambda}{2} = 13.96 kN \cdot m \quad (2)$$

여기서,  $\gamma_i$  = 침목 지지 불균형으로 발생하는 모멘트의 동적 증가 계수(1.6)

$$M_{dc-} = 1.2 \times M_{dr+} \times \frac{I_c}{I_r} = 10.0 kN \cdot m \quad (3)$$

여기서,  $I_c$  : 침목 중앙부 단면2차모멘트( $1.556E+08 mm^4$ )

$I_r$  : 레일 좌면부 단면2차모멘트( $2.606E+08 mm^4$ )

### 3. 유한요소해석

#### 3.1 침목 모델링

광폭침목 적용 시 침목 모멘트, 도상 압력에 대한 효과를 분석하기 위하여 기존 침목 및 광폭 침목에 대한 유한요소해석[6]을 수행하였으며, 해석 모델링 전경은 Fig. 3과 같다. 하중의 크기는 침목설계 시 적용한 정적축중을 그대로 적용하였다. 하중 재하 위치는 KTX 측간 거리 3.0m를 기준으로 하여, 침목 직상부에 재하하는 경우(case-1)와 침목 사이에 재하하는 경우(case-2)를 고려하였다. 그리고 동적할증계수 계산 시 표준편차 가중치(t)는 침목 해석 시는 t=3, 도상 해석 시는 t=2를 적용하였다. 해석 모델에 적용된 물성치는 Table 3과 같으며, 체결장치 및 도상과 관련한 물성치는 Bae[7]에 제시된 값을 적용하였다.

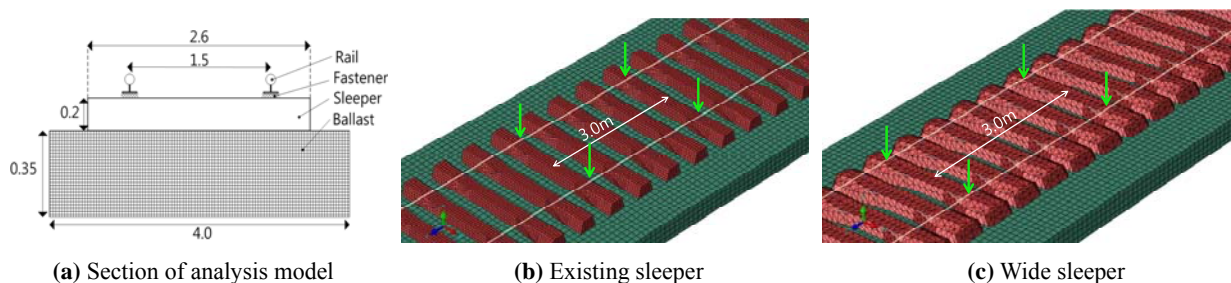


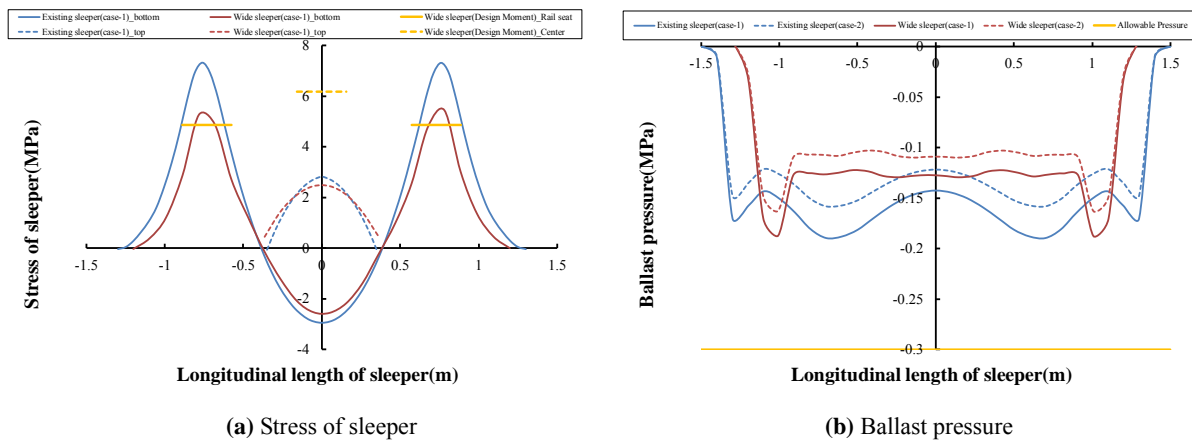
Fig. 3 Section and complete view of analysis model

**Table 3** Properties used in FEA

Item	Values	
	Elasticity modulus (N/mm <sup>2</sup> )	Poisson Ratio
UIC 60E1 (B31)	2.10E+05	0.30
Sleeper (C3D8R)	3.50E+04	0.22
Ballast (C3D8R)	2.10E+02	0.27
Subgrade (spring 1)	Ev2(N/mm <sup>2</sup> ) : 100, K30(N/mm3) : 0.111	
Fastener (CONN3D2)	X, Y, Z translation : 2.0E+05 N/mm X, Y, Z rotation : 6.0E+07 N·mm/rad	

### 3.2 정량적 분석

침목의 응력이 큰 경우의 하중재하 위치는 case-1이며, 해석 결과는 침목의 상면 및 하면의 응력 분포, 침목 설계에 도출된 설계모멘트를 응력으로 환산한 값을 각각 도시하였다 (Fig. 4(a)). 해석 결과, 레일 좌면부의 침목 응력은 광폭침목이 기존 침목에 비해 약 26%의 감소효과가 있으며, 앞서 도출한 좌면부 설계모멘트와 비교(약 10%)를 통해 UIC 713R을 수정한 침목 설계방법의 타당성을 입증하였다. 그러나 침목 중앙부에서의 설계 결과와 해석 결과의 검토 시 차이가 크므로 중앙부 모멘트 계산은 경험식을 사용하기 보다는 침목의 도상반력 분포를 가정하여 모멘트를 산정하는 방법[8] 등이 필요할 것으로 판단된다.



**Fig. 4** Analysis results

그리고 광폭침목 적용에 따른 도상 압력 분포를 다음 Fig. 4(b)에 나타냈으며, 광폭침목 적용 시 기존 침목에 비해 도상 압력의 최대값에서는 차이는 없지만 전체적으로 침목 길이 방향의 도상 압력 감소 효과가 있는 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

광폭침목 적용 시의 설계방법 효율성과 침목 응력이나 도상 압력의 정량적 분석을 통한 개선효과를 정적 유한요소해석을 통해 분석하였다. 침목 좌면부의 모멘트는 UIC 713R을 수정한 설계 방법으로 계산할 수 있으며, 광폭침목은 기존 침목에 비해 침목 응력 및 도상 압력 감소에 효과가 있는 것으로 나타났다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(15RTRP-B065581-03)에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- [1] B.H. Park, K.M. Yun, Y.U. Jung, S.H. Hwang, N.H. Lim (2015) Applicability analysis of Limit State Design for Wide Sleepers, *2015 Autumn Conference of the Korean Society for Railway*, pp. 1570-1575
- [2] UIC (2004) UIC 713R : *Design of monoblock concrete sleeper*, Paris , France, 26 pp
- [3] CEN (2014) Draft prEN 13230-6 : *Railway applications - Track - Concrete sleepers and bearers - Part 6: Design*, Belgium, 48 pp
- [4] KR (2014) KR C-14030 : *Ballast track structure*, Korea, 47 pp
- [5] KR (2014) KR C-08080 : *Track-bridge longitudinal interaction analysis*, Korea, 17 pp
- [6] Dassault Systemes (2015) ABAQUS/Standard User's Manual – Version 6.15
- [7] Y.H. Bae (2014) Analysis of ultimate and serviceability limit state for PSC sleepers in ballasted track, *2014 Autumn Conference of the Korean Society for Railway*, pp. 1381-1604
- [8] Y.H. Bae (2015) Proposition of Negative Moment Equation for PSC Sleeper Center in Ballast Track, *2015 Autumn Conference of the Korean Society for Railway*, pp. 1576-1581