

http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2019.5.1.389
JCCT 2019-2-49

무도상 강철도 교량상 목침목 유지관리체계 개선방안에 관한 연구

A Study on Improvement of Maintenance System for Timber Sleepers of Ballast-less track on Railway Bridge

최정열*, 신태형**, 김상진***, 정지승*

Jung-Youl Choi*, Tae-Hyoung Shin**, Sang-Jin Kim***, Jee-Seung Chung*

요약 : 본 연구에서는 무도상 궤도가 부설된 국내 도시철도의 철도 교량상 목침목에 대한 선로검사내규의 점검사항 및 불량판정 기준을 개선하여 목침목의 손상유형에 따른 상태등급체계를 분류하고 침목별 이력관리대장 시스템 도입을 통해 목침목의 유지관리체계를 개선하고자 하였다. 이를 위해 본 연구의 대상 철도교량에 부설되어 있는 목침목의 손상현황을 분석하여 손상별 코드를 구축하였으며, 침목별 손상 및 유지관리이력을 관리할 수 있는 유지관리시스템 도입을 통해 단면형상 및 침목 고정장치가 다양하고 유지관리가 복잡한 무도상 철도교량상 목침목의 체계적인 유지관리가 가능할 것으로 판단되었다.

주요어 : 무도상 궤도, 철도교량, 목침목, 손상코드, 유지관리체계

Abstract : In case of damaged timber sleepers, maintenance is carried out according to the track inspection standard. However, it is difficult to detect the extent of damage on the bridge, and maintenance is depended on inspector's judgment. In this study, we propose to improve the evaluation criterion of timber sleepers for the ballast-less tracks on serviced urban railway bridge. The timber sleepers on railway bridge was classified according to degree of damage, and damage scores were calculated for each damage grade. Also we have improved the maintenance system of the timber sleepers through the history management system of the individual timber sleepers on railway bridge. As a results, it was judged that systematic management of timber sleepers could be possible during maintenance.

Key words : Ballast-less track, Timber sleeper, Railway bridge, damage code, Maintenance system

1. 서 론

철도 궤도를 구성하는 주요부재중 하나인 침목은 레일로부터 전달되는 열차하중을 궤도를 지지하는 하부 구조물(Substructure)로 전달되는 것을 침목의 넓은 면적으로 분산시키고 자갈궤도의 경우 침목하부의 도상

(Ballast), 노반(Subgrade) 등의 부담력을 경감시키는 중요한 역할을 수행한다[1]. 국내, 외적으로 철도 침목과 이를 지지하는 도상구조에 대한 상호작용에 대한 연구 및 동적거동에 대한 연구가 수행되어 왔으며 다양한 형식의 궤도구조에 대한 침목의 기능과 거동특성에 대한 실험 및 해석적 연구가 수행된바 있다[1,2]. 현재까

*정회원, 동양대학교 철도건설안전공학과 (제1저자)
**정회원, 서울교통공사 궤도1사업소 (교신저자)
***정회원, 서울교통공사 궤도1사업소
접수일: 2018년 9월 22일, 수정완료일: 2018년 10월 27일
게재확정일: 2018년 12월 28일

Received: September 22, 2018/ Revised: October 27, 2018
Accepted: December 28, 2018
**Corresponding Author: sss2486@naver.com
Dept. of Track Engineering office 1, Seoul Metro, Korea

지 수행된 철도 침목 관련 연구는 일반적으로 자갈궤도에서 사용되는 PSC침목(Prestressed concrete sleeper)을 대상으로 수행된 손상현황 분석, 손상검출 및 콘크리트침목에 발생된 균열에 대한 보수효과 분석 등이 대부분이며, 목침목(Timber sleeper)의 손상현황, 손상유형 및 특성분석, 유지관리 등 목침목과 관련된 연구는 부족한 실정이다[3-5]. 일반적으로 철도 궤도는 도상자갈의 유무에 따라 무도상(Ballast-less track)과 유도상궤도(Ballasted track)로 구분되며 일반적으로 콘크리트궤도를 무도상 궤도로 구분하기도 하지만 별도의 도상층 없이 강철도 교량 상부플랜지에 목침목이 바로 설치되는 무도상 궤도형식도 다수 존재한다[6]. 또한 무도상 강철도 교량상 목침목의 구조적 문제점을 개선하고 강철도 교량의 동적안정성을 향상시키고자 기존의 무도상 궤도를 새로운 형식으로 개량하거나, 목침목의 재료 및 구조적 단점을 개선시킬 수 있는 목침목 대체 재료에 대한 연구도 수행된 바 있다[6,7]. 이와 같이 강철도 교량상 목침목은 강재 거더와의 직접적인 접촉이 불가피하여 도상자갈 상부에 놓이는 일반적인 자갈궤도의 목침목 보다 손상에 취약하고 이에 따라 상대적으로 손상발생빈도가 높고 유지관리를 위한 교체작업도 어려운 실정이다.

본 연구의 대상 철도 교량의 형식은 12경간 아치교이며 교량 상부 플랜지에 소정의 고정장치를 이용하여 목침목을 직접 결속하고 상부에 레일을 부설하는 무도상 궤도로 운영 중에 있다. 현재 교량상 목침목에는 유지관리를 위해 침목별 고유번호가 부여되어 있으나, 손상유형분류 및 손상판정 등에 대한 코드화가 되어 있지 않아 효율적인 유지관리이력관리가 어려운 실정이며 이러한 이력관리의 부재로 인해 침목교환 작업 시 부가적인 사전점검이 필요하여 현장에서의 침목 유지관리에 대한 작업능률이 떨어지는 실정이다. 또한 손상된 목침목의 경우 현행 선로검사내규에 의해 보수 및 교체 등의 유지관리작업이 수행되고 있으나, 현행 규정은 손상유형에 대한 분류가 명확하지 않으며 손상수준에 따른 보수 및 교체물량 판정기준이 모호하여 점검자의 주관적인 판단에 의해 보수 및 교체를 실시하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 무도상 강철도 교량상 목침목의 유지관리를 위한 현행 선로검사내규의 점검사항 및 불량판정 기준을 개선하고, 목침목의 손상유형에 따른 상태등급체계 및 이력관리대장 시스템을 도입

하여 향후 목침목 손상에 따른 유지관리체계를 개선하고자 하였다.

II. 현행 교량상 목침목 유지관리현황

1. 도시철도 교량상 목침목 유지관리 현황

본 연구의 대상 교량은 국내 도시철도 구간에서 운영 중인 무도상 철도교량(아치교량 형식(12@80m))이며 궤도형식은 60kg 장대레일에 목침목이 부설된 무도상 궤도이다. 그림 1과 같이 상, 하선 각각 2,491정의 목침목이 부설되어 있으며, 목침목의 단면 중 높이는 경간 위치별로 상이하어 230~250mm(H:높이)이며 침목의 폭과 길이는 각각 230mm와 3,000mm이다. 현재까지 최근 7년간(2011년~2017년) 약 1,439정의 목침목을 교체하였으며, 이는 대상구간에 부설된 전체 목침목의 약 29%에 해당한다.

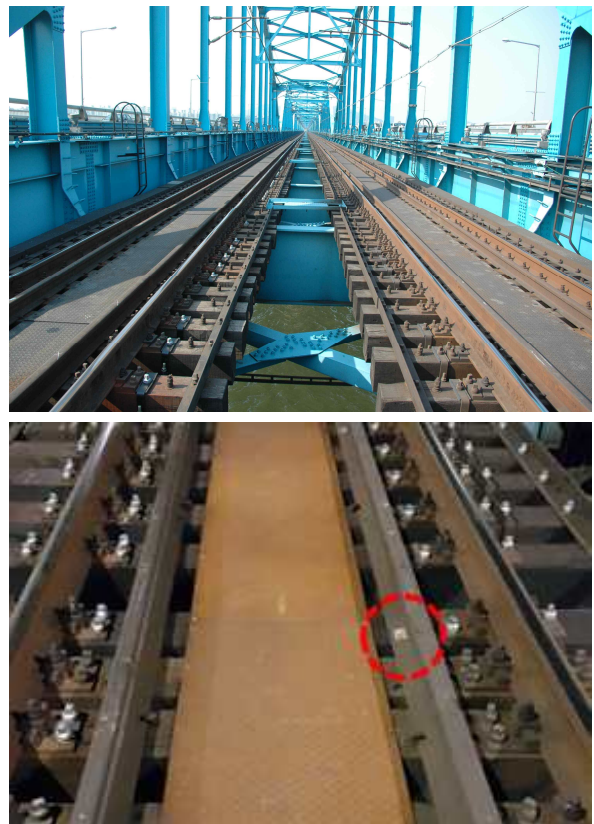


그림 1. 철도 교량상 목침목 부설 전경
Figure 1. Photographs of timber sleepers on railway bridge

교량상 목침목은 거더의 장기처짐 및 캠버량을 고려하여 아치 경간 내 교량 거더와 침목 상면까지의 높이

가 구간별로 상이하며, 이에 따라 고정장치가 다양하고 유지관리가 복잡하다. 따라서 경간구간별로 교량의 캠버량과 레일 면고(Rail level, R.L)의 위치 차이를 고려하여 그림 2와 같이 3가지(A, B, C Type) 유형의 목침목을 부설하여 관리하고 있다. 그림 2(a)와 같이 경간 중앙부(A Type)의 경우 침목 하면의 여유공간 부족으로 별도의 목침목 하단부 가공이 필요하며, 그림 2(b) 경간 1/4지점(B Type) 및 그림 2(c) 지점부(C Type)와 같이 침목 하면에 여유공간을 갖는 경우에는 고저정정패드(가변패드)를 침목과 거더 사이에 삽입하여 레일 면고를 유지하고 있다. 또한 무도상 교량의 침목과 거더를 고정시켜주는 앵글 역시 위치에 따라 3가지(A, B, C Type) 유형으로 관리하고 있으며, 유형별 침목부설도 및 제원은 그림 2와 같다.

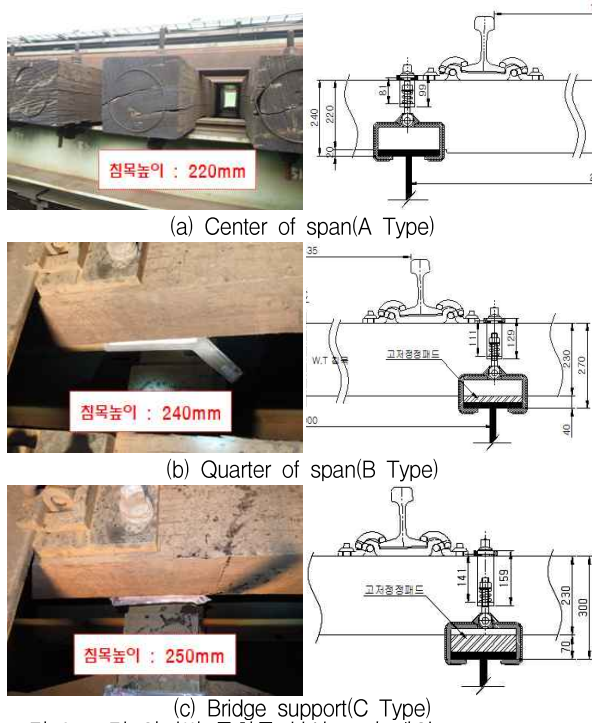


그림 2. 교량 위치별 목침목 부설도 및 제원
 Figure 2. Types of timber sleepers for each bridge section

2. 교량상 목침목 관리기준(선로검사내규)

현행 국내 도시철도에서 시행하는 선로검사의 종류는 궤도보수검사, 궤도재료검사, 선로순회점검이 있으며, 목침목의 경우 궤도재료검사 규정에 의해 점검을 수행하고 있다. 목침목의 경우 점검 시 육안조사를 기본으로 하고 있으며 본선에 부설한 목침목은 연 1회 이상, 측선에 부설한 목침목은 2년에 1회 이상 점검시행을 하도록 규정

하고 있다. 점검 시 적용하는 검사사항 및 불량판정 기준은 표 1과 같다.

표 1. 선로검사내규(목침목)
 Table 1. Track inspection standard(Timber sleeper)

	Evaluation criteria
Inspection items	1. Corrosion or fracture of sleeper
	2. Cracks of sleeper(Split level)
	3. Loosening of hook bolt
Failure determination	1. Critically reduced pullout resistance of spike
	2. Corroded section $\geq 30\%$ (in and out section)
	3. Difficult to post-repair for repaired section of cracked sleeper with progressive crack (Crack width $\geq 5\text{mm}$)
	4. Spike loses bearing capacity
	5. Fracture

III. 교량상 목침목의 손상평가

현행 목침목 점검 시 시행하고 있는 선로검사내규의 점검항목은 목침목의 부패, 절손 및 갈라진 상태와 정도로 구분되어 불량여부를 판정하고 있다. 만약 목침목이 절손된 경우에는 열차하중의 정상적인 분산 또는 분배가 불가능하여 궤도 및 교량구조에 구조적인 문제를 야기할 수 있으며 절손된 목침목은 궤도재료로서의 기능을 수행하지 못한다. 따라서 목침목에 발생하는 손상의 징후가 절손까지 진행되기 이전에 시기적절한 점검을 통해 관리되어야 한다. 또한 현행 목침목 점검 시 시행하고 있는 선로검사내규의 경우 표 1과 같이 불량판정 기준이 모호하여 점검자의 주관적인(정성적) 판단에 의존할 수 밖에 없으며, 보수 및 교체를 위한 객관적인 판정 근거 역시 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 목침목의 사전적 예방보수를 위한 손상 매커니즘 및 발생유형을 분석하여 표 2와 같이 목침목의 주요 손상별 항목을 선정하고, 항목에 따른 발생유형을 세분화하여 각각의 손상코드에 대해 가중치를 고려한 점수를 부여하였다. 목침목의 대표적인 손상유형은 그림 3과 같이 크게 3가지로 구분하여 균열(할열, Crack)과 목침목의 전기절연성 저하로 인해 발생하는 부식(Corrosion) 및 상부 플랜지와 목침목의 재료적 강성차이로 인해 발생하는 압좌(Compression)로 선정하였다. 또한 표 2와 같이 목침목의 손상정도를 정량화하기 위해 항목별 손상유형을 세분화하여 손상코드에 따른 점수를 부여하고 합산점수에 따라 손상등급을 구분하였다. 항목별 손상정도에 따른 점수 분류는 균열 0~5점, 부식 0~2점, 압좌 0~2점으로 정의하였다.

표 2. 목침목의 손상 코드 및 점수체계
Table 2. Damage code and score of timber sleepers

Damage	Damage code	Score
Crack	A. None	0
	B. Light crack	1
	C. Widen crack	2
	D. Cracks on tie plate and hook bolt	3
	E. Penetration crack on sleeper axial	4
	F. Difficult to post-repair for repaired section of cracked sleeper with progressive crack (Crack width \geq 5mm)	5
Corrosion	A. None	0
	B. Light corrosion	1
	C. Corrosion on tie plate and hook bolt	2
Compression	A. None	0
	B. Pressed depth \leq 7mm	1
	C. Pressed depth $>$ 7mm	2

목침목의 손상정도에 따라 각각의 부여된 항목별 점수를 합산하여 표 3과 같이 상태등급에 따른 유지보수 여부를 판정하였다. 합산점수에 따라 A등급(상태양호), B등급(보수필요), C등급(교체요망)으로 구분하여 손상된 목침목의 유지보수를 위한 판정 근거를 마련하였다.

표 3. 목침목 등급에 따른 판정기준

Grade	Total score	Activity(Evaluation)
A	0~3	None(Good)
B	4~6	Required repair
C	7~9	Required replacement

목침목 손상평가를 통한 목침목 등급 산정의 예로써 그림 4(a)의 경우, 후크볼트 주변으로 침목 축방향 관통 균열만 발생하여 균열(D)항목에서 3점을 부여할 수 있으며, 부식(A)과 압좌(A)는 발생하지 않아 각각 0점 처리됨으로써 총 합산점수는 3점으로 산정되어 목침목의 손상등급은 A등급(상태양호)으로 평가될 수 있다.

그림 4(b)의 경우, 침목 중앙부에 축방향 관통균열이 발생하여 균열(E)항목에서 4점을 부여받고, 부식(A)과 압좌(A)는 발생하지 않아 각각 0점 처리됨으로써 총 합산점수는 4점이며 손상등급은 B등급(보수필요) 상태로 평가됨으로써 즉시 보수가 필요하다고 판정되었다.

또한 그림 4(c)의 경우, 침목 상부에 균열, 부식 및 압좌 등 복합적인 손상이 심각한 수준으로 발생한 사례로써 해당개소의 경우 균열(F) 5점, 타이플레이트 및 후크볼트 주변 부식(C) 2점 및 타이플레이트 주변 눌림(C) 2점을 부여받아 총 합산점수 9점으로 손상등급은 C등급(교체요망)으로 분류하였다.



(a) 균열(Crack)



(b) 부식(Corrosion)

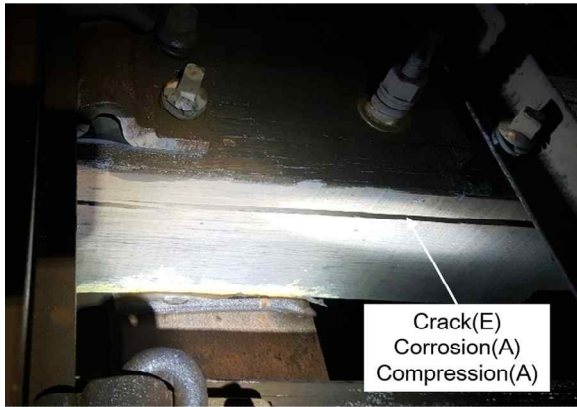


(c) 압좌(Compression)

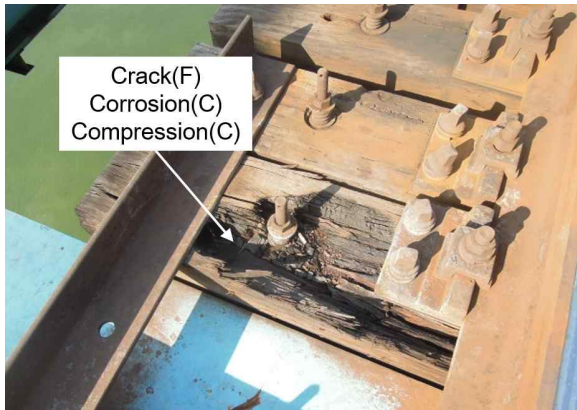
그림 3. 교량상 목침목의 손상 유형
Figure 3. Damage type of timber sleepers on railway bridge



(a) None(Good)



(b) Required repair



(c) Required replacement

그림 4. 목침목 손상에 따른 상태등급 판정
 Figure 4. Evaluation of damage grade for timber sleepers

IV. 목침목 유지관리체계 개선방안

본 연구에서는 무도상 교량상 목침목의 유지관리체계 개선방안으로써 목침목 유지관리이력시트를 제시하였다. 작성 항목으로는 개별적인 침목관리를 위해 침목별 고유번호를 부여하였으며, 입력사항으로 침목교환시기, 침목높이, 체결구 유형, 가변패드 설치여부, 침목 손상에 따른 등급 및 주요 손상, 향후 보수 계획 및 조치 결과 내용으로 구분하였다. 본 연구에서 정의한 손상평가방법을 적용한 대상 교량상 목침목의 유지관리 분석예를 표 4와 같이 작성하여 예시로 나타내었다.

예로써 표 4의 경우 목침목 관리대상 1번 목침목의 경우 최근에 수행한 침목교환 작업은 2011년도이며, 침목높이는 250mm이고 C Type의 앵글을 적용한 목침목으로서 가변패드를 설치하여 레일 면고를 맞춘 것을 침목관리대장을 바탕으로 파악할 수 있도록 하였다. 또한 침목등급은 보수요망에 해당하는 B등급이고 주요 손상

으로는 손상코드 균열(E)에 해당하여 침목 축방향 관통 균열인 것을 알 수 있으며 아직 보수를 시행하지 않아 보수 요망으로 분류하였다.

표 4. 목침목 유지관리이력시트

Table 4. Maintenance history sheet for timber sleepers

1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)
1	2011	250	C	O	B(6)	Crack (E)	Repair	None
2	2011	250	C	O	B(6)	Crack (E)	Repair	None
3	2011	250	C	O	C(7)	Crack (F)	Replacement	Done

- 1) Sleeper numbers
- 2) Date of sleeper replacement (year)
- 3) Height of sleeper (mm)
- 4) Rail fastening system
- 5) Applied of adjustment pad (O or X)
- 6) Sleeper grade(Total score)
- 7) Dominant damage(Critical damage code)
- 8) Planned maintenance (Repair or Replacement)
- 9) Action result (None or Done)

V. 결론

본 연구에서는 국내 도시철도에 부설된 무도상 강철도 교량상 목침목의 손상현황을 분석하고 이를 바탕으로 손상유형별 코드 및 점수체계를 제시하여 목침목 유지관리체계를 개선하기 위한 연구를 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1) 현행 국내 도시철도에서 시행하고 있는 선로검사 내규를 개선하기 위해 현장조사를 바탕으로 목침목의 손상유형별 코드를 구축하고 세부항목에 따른 점수를 각각 부여함으로써 손상수준을 정량화하였다. 또한 손상유형별 점수를 합산하여 목침목의 전체적인 상태등급을 산정하고 이를 바탕으로 보수 또는 교체 등과 같은 유지보수방법을 판정할 수 있도록 체계화하였다.

본 연구에서 도출한 목침목 손상평가체계를 선로 점검자에게 정량적으로 손상의 수준을 평가할 수 있도록 하는 점검표로서 활용이 가능하며, 또한 평가 등급 및 점수에 따라 결정되는 객관적이고 표준화된 판정 근거로서 활용이 가능할 것으로 판단된다.

2) 또한 본 연구에서 제시한 목침목 유지관리이력시트는 점검 수량이 많고 각기 다른 형식과 특성을 가져 유지관리이력 데이터의 체계적인 관리가 어려웠던 중

래의 유지관리측면의 현장애로사항을 개선시킴으로써 향후 무도상 철도교량상 목침목의 체계적인 유지관리 및 이력데이터의 데이터베이스화가 가능할 것으로 판단되었다.

References

- [1] Remennikov. A, Kaewunruen. S, “Experimental Investigation on Dynamic Railway Sleeper/Ballast Interaction”, *Experimental Mechanics*, Vol. 46(1). p57-66, February, 2006
- [2] J.Y. Choi, P.S. Kim, J.S. Chung, “A Study on Optimum Spacing of Rail Joint for Personal Rapid Transit(PRT) Track System,” *The Journal of the Convergence on Culture Technology(JCCT)*, Vol. 4, No. 3, p.213-220, August 31, 2018
- [3] Y.C. Kim, J.H. Lim, S.B. Park, S.G. Kwon, I.C. Back, “A Investigation Study for Status Damage of PSC Sleeper on Ballast Track”, 2016 Autumn Conference of the Korean Society for Railway, 2016.10, p.515-520, 2016
- [4] Y.C. Kim, S.G. Kwon, I.C. Back, K.S. Kim, “Analysis of Crack Growth and Crack Repair Effect for PSC Sleeper on Ballast Track”, 2017 Autumn Conference of the Korean Society for Railway, 2017.10, p.327-328, 2017
- [5] K. Matsuoka, T. Watanabe, M. Sogabe, “Damage detection method for sleepers based on vibration properties”, *MATEC Web of Conferences*, 24, 05005, 2015
- [6] J.Y. Choi, Y.G. Park, E.S. Choi, J.H. Choi, “Applying precast slab panel track to replace timber track in an existing steel plate girder railway bridge” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, Vol. 224, issue. 3, p.159-167, March 19, 2010
- [7] A. Manalo, T. Aravinthan, W. Karunasena, A. Ticoalu, “A review of alternative materials for replacing existing timber sleepers”, *Composite Structures*, Vol. 92, p.603 - 611, 2010