

http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2019.5.4.379
JCCT 2019-11-47

도시철도 콘크리트궤도 목침목 분기기의 손상현황

Damage Status of Turnout System with Wooden Sleeper of Concrete Track on Urban Transit

최정열*, 한경성**, 봉재근***, 장철주****, 정지승*

Jung-Youl Choi*, Kyung-Sung Han**, Jae-Gun Bong***, Cheol-Ju Jang****, Jee-Seung Chung*

요약 본 연구는 도시철도 콘크리트궤도 목침목 분기기의 손상현황 및 손상유형별 원인을 분석하고자 현장조사를 수행하였다. 또한 약 24년간의 분기기 유지관리이력을 열차 통과톤수와 연계하여 운영 호선별로 구분하여 손상발생빈도와 연계분석하고 현재까지 수행되어온 손상항목별 궤도보수내용의 적정성을 비교 분석하였다. 도시철도 콘크리트 도상에 적용된 목침목 분기기의 특성상 목침목 하부에 삽입되어 있는 침목방진패드 성능유지가 중요하다. 현장조사결과 목침목 분기기 궤도구조의 적정탄성 수준 부족에 따른 손상 및 다양한 유형의 레일손상이 조사되었으며, 레일의 손상은 독립적인 손상이 아닌 다른 궤도구성품의 손상에서 기인되어 유발되는 경우도 다수 발견되었다. 분기기 궤도구성품별 손상빈도 분석결과, 손상발생빈도는 레일, 타이플레이트, 나사스파이크, 목침목 순으로 나타났으며 이를 바탕으로 목침목 분기기 궤도구조의 주요 손상유형은 목침목의 변형에 따른 나사스파이크와 타이플레이트의 고정상태 불량에서 기인된 손상이 주요 손상유형으로 분석되었다. 연구결과, 분기기에 적용된 목침목의 변형은 레일체결장치 구성품의 고정상태 불량을 초래하고 이로 인한 연계손상이 유발될 수 있음을 현장조사결과를 바탕으로 분석하였다. 또한 분기기의 점검 점검항목 및 현행 분기기 점검 시트의 보완점을 도출하여 개선 안을 제시하였다.

주요어 : 분기기, 콘크리트 도상, 목침목, 통과톤수, 궤도구성품

Abstract The purpose of this study is to investigate the damage status of wood sleepers on concrete track of urban transit at different locations and to analyze the causes of damages. In addition, the turnout maintenance history during the service period of about 24 years was analyzed in conjunction with the train passing tonnage and that was to compare the current repair history. The most frequent damage components were rail, tie plate, spike and wooden sleeper. And, the damage caused by the defect of the rail fastening system such as spike and tie plate according to the deformation of the wooden sleeper was analyzed as the main type of damage. As a result, the damage of track components of turnout system was on the increase because they are directly affected by the train passing tonnage. The supplementary points of the check sheet for current turnout maintenance were derived and the improvement proposal was suggested based on the research results.

Key words : Turnout system, Concrete track, Wooden sleeper, Train passing tonnage, Track components

1. 서 론

도시철도 콘크리트궤도에 적용된 분기기는 약 24년
의 공용기간동안 최근 텅레일 손상, 용접부 절손, 망간

*정회원, 동양대학교 철도건설안전공학과 교수

**정회원, 서울교통공사 궤도2사업소 팀장

***정회원, 서울교통공사 궤도2사업소 소장

****정회원, 롯데건설 부장

접수일: 2019년 9월 18일, 수정완료일자: 2019년 10월 2일

게재확정일자: 2019년 10월 8일

Received: September 18, 2019 / Revised: October 2, 2019

Accepted: October 8, 2019

**Corresponding Author: smrthjj@naver.com

Dept. of 2 Track Engineering office, Seoul Metro, Korea

크로싱 균열 등 분기기 궤도구성품의 손상이 증가되는 추세이다. 분기기의 손상 및 유지관리와 관련하여 최근에 진행되어온 연구는 분기기 궤도틀림, 분기기 위치별 충격 및 마모에 대한 연구가 대부분이며 김은영은 분기기 힐부, 이음매부에서는 궤간과 수평틀림이 지배적이었으며 그림 1과 같이 크로싱부의 경우 중량이 큰 열차일수록 처짐 및 끝 닳음이 유발되고 충격이 가중될 수 있음을 제시하였다[1]. 그림 1은 도시철도 본선 분기기에서 가장 많이 사용되는 60 kg #8번 분기기의 평면도를 나타낸다.

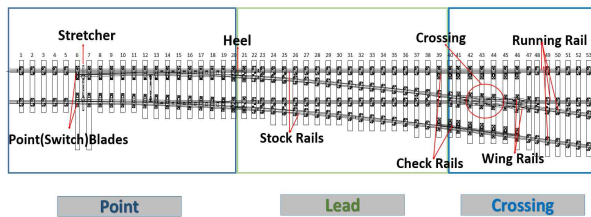


그림 1. 60 kg #8 분기기 개요도
Figure 1. 60 kg #8 Turnout System

오수진은 도시철도 분기기 망간크로싱의 손상수준을 평가하고 이를 바탕으로 크로싱 교체기준을 제시하였으며 크로싱부는 동적하중에 의해 궤도충격이 약 1.7배 증폭될 수 있음을 실험 및 해석적으로 입증하여 크로싱부가 분기기에서 궤도충격측면에서 가장 취약할 수 있음을 분석하였다[2]. 최희영은 분기기 레일의 직마모와 편마모 발생수준에 대한 분석결과를 바탕으로 차륜과의 상호작용력 및 레일의 손상을 비롯한 열차 탈선메커니즘과의 상관관계에 대한 연구를 수행하였다[3]. 연구 결과 분기기 기본레일의 직마모 및 편마모 한계치는 차륜의 플랜지와 텅레일의 접촉에 따른 손상수준 및 경사각에 영향을 미칠 수 있으며 마모한계치 도래 시 차륜 플랜지가 텅레일을 타오르는 탈선의 위험이 있을 수 있다고 분석하였다[3]. 약 24년간 분기기에서의 레일 손상에 따른 레일교환은 약 110건이 이루어 졌으며, 레일체결장치, 목침목 등 기타 구성품의 손상발생에 따른 유지관리 물량까지를 포함하면 손상에 의한 교체 및 보수 물량은 지속적으로 증가되고 있는 추세이다. 현행 분기기 궤도구성품의 손상 발생에 대한 대응은 대부분 정확한 원인분석에 따른 조치가 아닌 유지관리자의 주관적인 판단에 따라 이루어졌으며, 콘크리트궤도 목침목 분기기의 구조적 거동특성을 고려한 손상원인분석 및 조

치를 시행하기 위한 연구는 부족한 실정이다[4,5]. 또한 대부분의 분기기 점검 및 보수는 분기기 궤도구성품의 손상보다 분기기 궤도선형관리에 초점을 맞추어 시행하고 있는 실정이다.

II. 분기기 유지관리 현황

도시철도 분기기 유지관리는 대부분 분기별 인력 궤도검측을 시행하여 관리기준치를 초과하는 궤도틀림 발생 시 보수를 시행하고 측정치를 관리한다. 또한 공용 중 분기기 레일에서 중대한 결함 또는 절손이 발생되면 즉시 응급이음매관을 설치하고 해당레일을 교환한다. 현행 도시철도 분기기 유지관리는 대부분 레일에 초점이 맞추어져 있어 레일체결장치를 비롯한 기타 구성품에 대한 관리는 명확한 관리기준 없이 손상발생 시 후속 조치에 따른 보수, 교체만 이루어지는 실정이다. 레일이외의 레일체결장치, 목침목 등에 대한 보수방법은 할열의 경우 채널형 고정장치로 보수하여 갈라짐이 확대되는 것을 예방하며, 목침목과 타이플레이트를 고정시키기 위한 나사스파이크의 절손의 경우 목침목에 매입된 나사스파이크의 일부분을 제거하기 어려워 타이플레이트 외부에 일반스파이크로 보강하고, 헐거워진 스파이크 홀에는 보수용 수지로 채워 나사스파이크를 체결하여 보수하고 있는 실정이다.[7,8,9,10] 표 1과 같이 5~8호선 열차통과톤수 증가에 따른 분기기 레일의 사용 년 수는 단계별 개통 및 열차 통과톤수의 증가가 호선별 레일 손상 발생비율에 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

표 1. 분기기 레일손상 현황(2019. 6월 현재)

Table 1. Turnout system damage status(until June 2019)

Line	Point		Crossing	1)
	Tongue rail	Stock rail		
Line5 (6.2MGT)	14	2	22	38
Line6 (3.4MGT)	4	-	5, 1	10
Line7 (5.2MGT)	27	5	24, 1	57
Line8 (3.1MGT)	2	-	2, 1	5
2)	47	7	53, 3	110
3)	42.8	6.3	48.2, 2.7	100

1) Total A : Total damage by line

2) Total B : Total damage per rail type on turnout

3) D.R(%) : Damage ratio(Ratio of damaged rail to total turnouts)

사용 년 수에 따른 누적통과톤수와 손상물량의 상관 관계 및 가장 많은 빈도의 손상이 발생된 레일은 텅레일과 크로싱부로 나타났다. 5, 7호선의 공용기간은 약 24년으로 동일하였으며 열차 통과톤수는 5호선 6.2억톤, 7호선은 5.2억톤으로 5호선이 약 1억톤 더 높게 나타났으나 레일결함은 7호선에서 보다 더 많이 발생된 것으로 조사되었다. 이는 5호선의 경우 일일 수송인원이 약 89만명이나, 7호선은 약 103만명으로서 일일 수송인원의 밀도가 5호선 대비 약 14% 높은 수준으로 나타나 레일이 부담하는 실질적인 통과톤수에 따른 피로수준이 더욱 가중되어 단순 열차 운행 빈도만을 바탕으로 산출되는 통과톤수 만이 아닌 실제 레일이 부담하는 피로도를 과소평가 할 수 없는 것으로 나타났다.

이에 따라 7호선의 누적 통과톤수는 비록 5호선 보다 적지만 분기기 레일에 발생하는 손상 발생비율은 약 6% 높게 나타났다. 5~8호선에서 분기기 위치별 손상 빈도가 높은 개소는 크로싱(48.2%), 텅레일(42.8%)순으로 나타나 선행연구에서 분석한 바와 같이 열차주행로의 불연속점을 갖는 크로싱과 단면강성이 비교적 작은 텅레일에서 궤도충격 및 동적 처짐이 증가하여 손상빈도에 영향을 준 것으로 분석되었다.

III. 분기기 손상현황 조사

침목방진패드를 사용하는 도시철도 콘크리트도상 목침목 분기기 궤도구조의 경우, 장기간 사용에 따라 침목방진패드의 재료적 성능이 저하되어 궤도의 충격을 흡수하지 못함으로 레일과 침목에 충격이 전달되어 손상을 야기할 수 있으며[11], 궤도지지강성의 불균형 현상을 초래할 수 있다. 또한 크로싱부 외에도 레일이음매부의 유간 및 표면결함, 레일이음매부의 단차가 발생되어 승차감 저하 및 궤도충격 등이 발생되고 이로 인해 분기기 궤도구성품의 손상이 급속히 진행되고 있는 실정이다. 분기내 리드부 레일손상은 레일게이지코너 쪽떨어짐(Flake, Spalling), 헤드체크(Headcheck), 파상마모(Corrugation)를 확인 할 수 있다[4]. 도시철도에서 운행되는 본선 분기기의 고장 발생 현황 조사결과 포인트부는 그림 2와 같이 텅레일 이빠짐 및 레일이음매부의 단차를 비롯하여 구름접촉피로손상에서 기인한 미세박리현상 등의 손상이 조사되었다.

리드부에서는 그림 3(b)와 같이 리드레일에 발생된

구름접촉피로손상인 헤드체크가 진전되어 미세박리가 발생하는 개소가 조사되었으며, 그림 2(b)와 같이 레일이음매부의 볼트 탈락, 타이플레이트의 나사스파이크 이완 및 부러짐, 타이플레이트 받침 간격 벌어짐 등이 조사되었다. 포인트 부의 경우 그림 2(c)와 같이 레일이음매부의 유간상태나 레일프로파일의 불일치 현상이 조사되었다. 그림 2(c)와 같이 절손된 레일을 신폼레일로 교체하면서 일정부분 마모가 발생한 기존 레일과의 단면형상의 차이로 인한 단차가 발생하여 충격이 유발됨으로써 추가적인 레일 및 궤도구성품의 손상이 발생하고 있다.

분기기내 레일이음매의 관리는 궤도충격을 유발시킬 수 있는 주요 요인이므로 레일 이음매 부를 통과하는 열차하중의 충격중폭으로 인해 레일의 균열 및 체결장치 이완 및 부러짐 발생의 원인으로 작용할 수 있다.

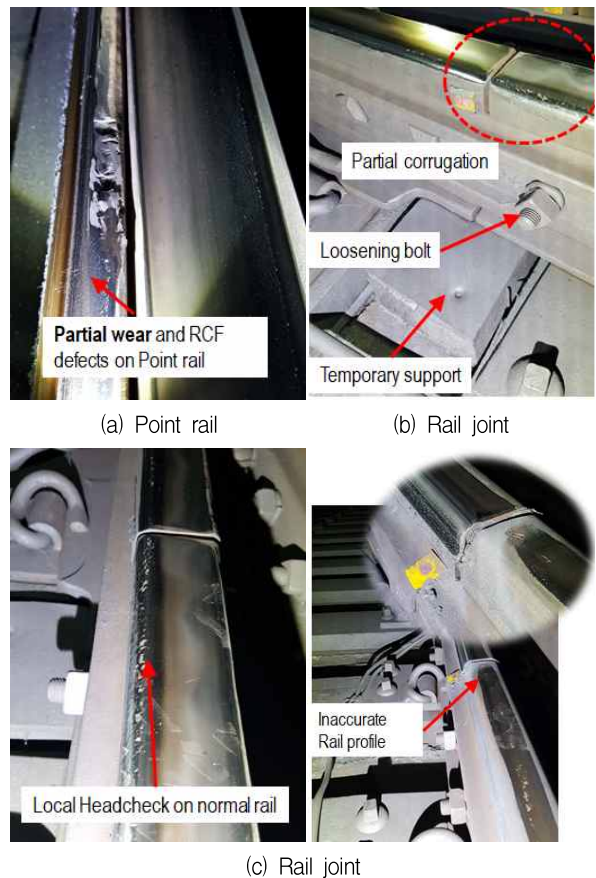
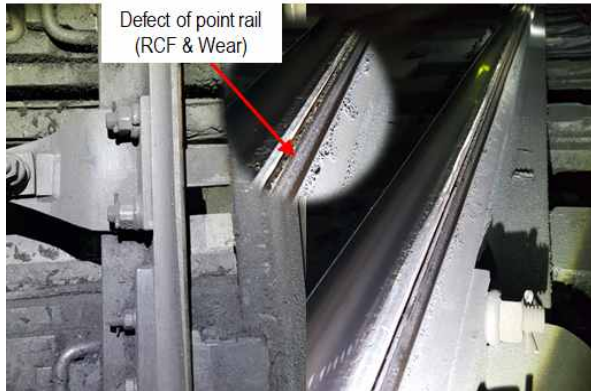


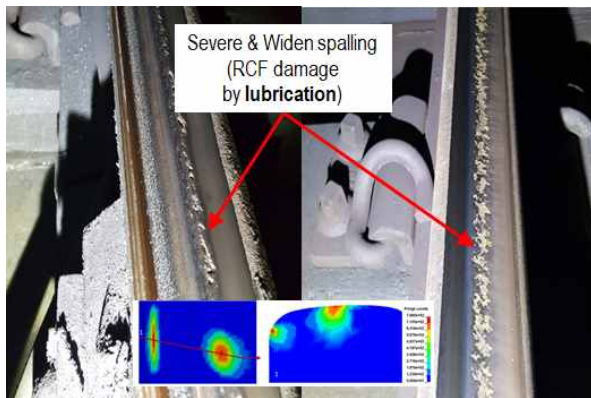
그림 2. 분기기 레일이음매부 손상현황
 Figure 2. Damaged rail joints of turnout system

그림 3과 같이 주행열차의 방향을 결정하는 포인트

부에서 텡레일의 건전성확보는 매우 중요하며, 텡레일의 단면형상, 밀착상태, 마모 등을 중점 관리 해야 한다.



(a) Ab-Normal profile of Point rail



(b) RCF damage on lead rail

그림 3. 분기기 레일손상 현황
Figure 3. Damaged rails of turnout system

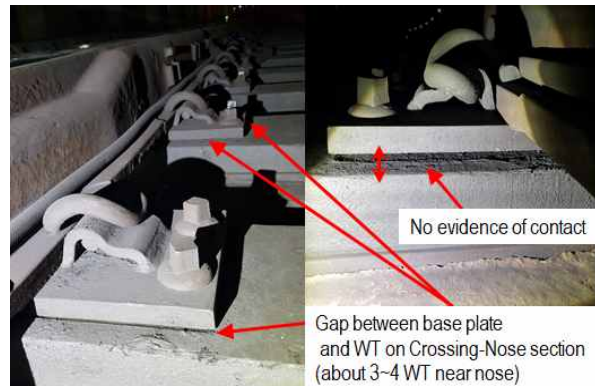
크로싱부 하단 고정부의 하부 뒤틀림으로 인한 손상으로 그림 4와 같은 현상으로 나타나며, 대표적으로 크로싱부의 타이플레이트 들뜸현상과 나사스파이크 탈락 및 부러짐 현상이 조사되었다. 또한 크로싱부 및 다른 부위에서의 타이플레이트 하부공간을 채우기 위해 삽입하고 있는 다양한 형태 및 재료의 높이조정플레이트는 그 소재적 특성이 서로 상이하여 동적인 열차하중 조건에서 서로 상이한 거동을 보일 것으로 예상되는바, 높이조정 플레이트로 사용하고자 하는 적정 소재의 선정 및 적용 개선이 필요할 것으로 판단된다.

도시철도의 본선 분기기 침목의 유지관리는 침목의 고정위치를 변경하여 정비하고 있으며, 반복적인 스파이크 보수작업에 의해 목침목의 손상이 야기되고 더 이상 스파이크를 고정시킬 위치를 확보하기 어렵게 되어 비정상적인 체결위치가 형성되게 된다.[7,9] 뿐만 아니

라 그림 5와 같이 목침목의 활열을 보수하기 위한 방법은 구조적 기능을 확보하거나 근본적인 대안이 되기 어려울 것으로 사료되어 일정 수준이상의 목침목 변형 발생시 교체를 할 수 있는 방법을 보완 강구하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.



(a) Hard type pad supporting (b) Soft type pad supporting



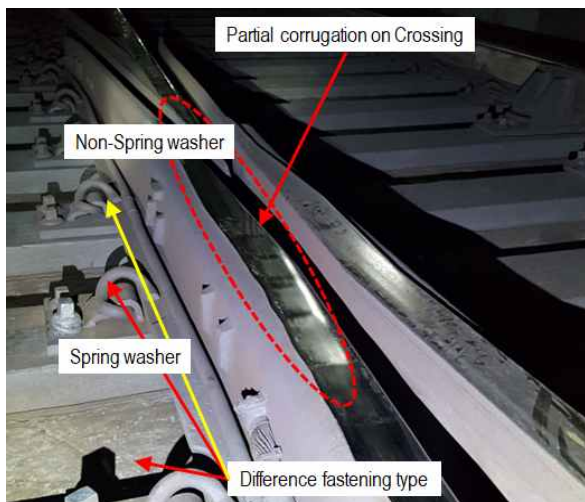
(c) Gap between base plate and wooden sleeper

그림 4. 베이스플레이트 단차 조정현황
Figure 4. Level adjustment of between WT and baseplate

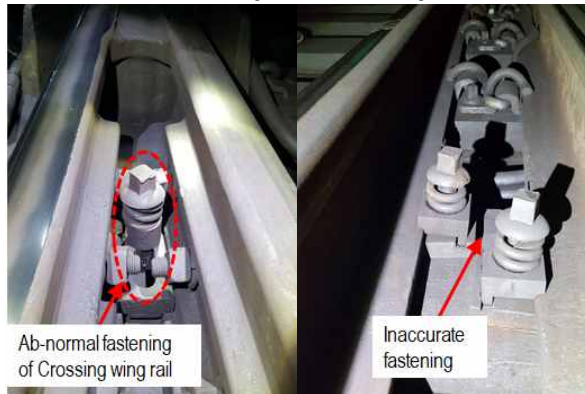


그림 5. 목침목 보수현황
Figure 5. Repaired wooden sleeper

주기 또는 불규칙한 주기패턴으로 레일표면에 나타나는 형태를 파상마모라 하며, 이는 그림 6(a)와 같이 본선레일 뿐 아니라 분기기 크로싱에서도 나타나고 있다[6]. 크로싱부의 고정상태도 크로싱부 궤도구성품의 손상에 영향을 미칠 수 있으며, 그림 6(b)와 같이 체결 장치의 위치적 특성상 정상체결이 어려운 개소가 상당수 존재하여 이에 대한 별도의 개선방안 수립이 필요할 것으로 판단되었다.



(a) Corrugation on crossing



(b) Inaccurate fastening

그림 6. 크로싱 고정시스템 현황
 Figure 6. Abnormal fixation system of crossing

본선의 분기기는 리드레일을 열차가 통과할 경우 일반적인 곡선부에 설정된 캔트와 슬랙 등이 적용되지 않아 열차 운행속도가 본선 일반구간 보다 낮은 수준임에도 불구하고 약 25km/h 이상으로 운행하고 있고 분기기 번수에 따라 약 200~400m의 곡선반경을 갖는 곡선이 분기기에 있는 특징이 있다. 따라서 일반적인 곡선부에서 발생하는 레일손상들이 분기기 리드레일에서

도 나타나고, 특히 캔트가 없이 곡선을 전향하는 과정에서 그림 7과 같이 크로싱부의 가드레일 및 반대편의 기본레일까지 이상마모가 발생되고 있는 개소도 현장에서 조사되었다. 도시철도 본선 분기기 내의 가드레일 설치 등은 분기기 통과 시 열차 주행관련 열차안전에 가장 중요하다. 열차 횡압으로 인해 가드레일에 마모가 발생되고, 상판 이격 및 고정 볼트 탈락 등 체결구 파손의 원인이 된다[5].

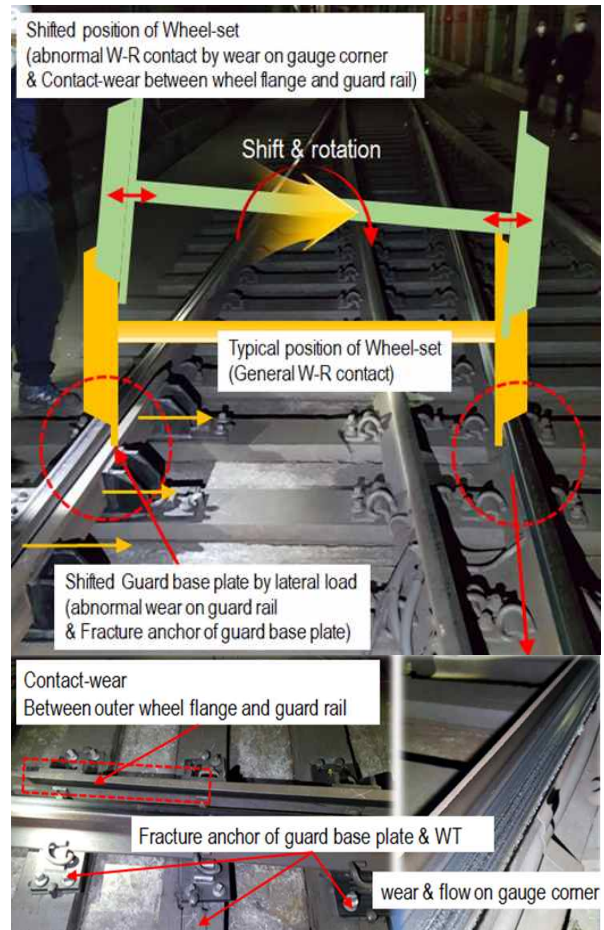


그림 7. 크로싱부 가드레일부 손상 메커니즘
 Figure 7. Damage mechanism of guard rail of crossing section

평면선형조건상 곡선부에 해당하는 크로싱부의 경우 결선부 통과시 안전확보를 위해 설치한 가드레일과 반대편 레일의 궤간유지가 중요하다. 본 연구에서는 크로싱부의 곡선레일에 발생된 편마모로 인해 크로싱부 가드레일의 이상마모가 발생되고 열차하중의 편기현상으로 인해 가드레일 상판 및 고정앵커의 절손이 발생되고 있는 현장상황을 바탕으로 그림 7과 같이 크로싱부 가드레일의 이상마모 및 가드레일 상판 손상의 메커니즘

을 정리하여 나타내었다.

콘크리트궤도 목침목 분기기는 자갈궤도 보다 궤도 틀림 및 도상 관리가 주기적으로 필요하지 않지만, 오랜 공용기간 동안 진행되어온 목침목의 활열, 변형 등의 열화로 인해 레일과 침목의 체결상태가 불안정해지고, 이로 인해 목침목의 손상이 더욱 가중되거나 타이 플레이트의 변형, 균열 및 나사스파이크의 인발, 절손 등과 같은 연계손상유형이 발생하는 특징이 있는 것으로 분석되었다[5]. 또한 목침목 하부에 설치된 침목방진 패드의 노후에 따라 분기기 궤도구조 전반의 궤도지지 강성의 불균형 현상이 초래되어 분기기 위치별 레일의 동적 처짐의 변동수준이 증가하고 이로 인해 궤도충격 효과가 증폭된 것에서 기인한 현상으로 분석되었다[5].

IV. 분기기 점검점검항목 도출

본 연구에서는 현장조사를 바탕으로 수집한 다양한 분기기 궤도손상의 유형별 특성을 분석하여 현행 분기기 위치별 선형점검 중심으로 설정되어있는 분기기 점검항목을 노후 분기기의 손상수준 및 구조적 건전성을 파악할 수 있도록 하는 분기기 궤도상태평가를 위한 분기기 점검항목을 도출하여 표 2와 같이 제시하였다.

표 2. 분기기 점검표
Table 2. Proposed check list for turnout inspection

Items	Contents
Rail joint	A. Gap of rail joint
	B. Condition of rail head
	C. Rail joint bolt
	D. Required reinforcement
Guard rail	A. Wear condition
	B. Fastening condition
Crossing	A. Tie plate(Base plate)
	B. Partial abnormal wear
	C. Required reinforcement
	D. other fastening device
Wooden sleeper	A. Fastening condition
	B. Deformation or crack
	C. Void between WT and tie plate
Point rail	A. Tongue rail damage(flow)
	B. Tongue rail damage(flake, wear)
Extra inspection items	A. Turnout transition zone
	B. Guard rail wear
	C. Lead rail wear
	D. Vertical profile
	E. Repair history of track components

IV. 결 론

본 연구에서는 도시철도에서 운영중인 콘크리트궤도 목침목 분기기를 대상으로 유지관리이력을 조사하고 현장조사를 수행하여 분기기를 구성하는 각각의 구성품 및 위치별 손상현황을 조사하고 손상유형별 원인을 분석하였으며, 그 결과 개선 안은 다음과 같다.

1) 분기기 레일이음매부의 단차 및 레일단면형상의 차이에서 기인한 궤도충격은 레일 및 궤도구성품의 손상을 유발하여 레일 이음매부 궤도구성품의 손상 빈도가 높은 것으로 조사되었다. 따라서 레일 용접부요철을 비롯한 레일이음매부의 단차를 최소화하고 신폼레일과 노후레일 이음매부에서의 레일단면형상 차이를 최소화하는 방안이 필요한 것으로 분석되었다.

2) 포인트부의 텅레일은 일반적인 레일보다 단면강성이 작아 레일의 처짐 및 구름접촉피로손상에 취약한 것으로 분석되었다. 따라서 텅레일의 부담력을 최소화하기 위해 분기기 접속부 처리방안에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

3) 크로싱 후단의 가드레일은 횡압에 의한 리드레일의 편마모 발생에 따라 차륜 플랜지 배면과 가드레일이 접촉되어 가드레일에 지지된 상태로 크로싱부를 통과하게 됨으로써 가드레일 상판 및 앵커볼트의 손상이 야기되고 차량의 좌우동범위가 확대되어 승차감 저하에도 영향을 미칠 수 있을 것으로 분석되었다. 따라서 크로싱부 곡선레일의 편마모 관리 기준치는 일반 곡선부의 경우보다 보수적인 수준으로 관리 개선하는 것이 적정할 것으로 판단된다.

4) 도시철도 콘크리트궤도 목침목 분기기의 손상 현황 분석결과, 레일을 지지하는 궤도 구성품들의 구조적 건전성이 전체 시스템의 손상방지를 위해 중요한 요소인 것으로 분석되었으며 반복적인 손상이 발생되어 빈번한 보수 및 교체가 투입되는 분기기 궤도구성품 및 특정위치의 경우, 손상 원인에 대한 명확한 분석을 통해 근본적인 대책을 수립하여 손상재발을 방지하는 방안 수립이 필요한 것으로 판단된다. 따라서 반복손상개소의 경우 분기기 손상이력 및 유지관리이력 데이터를 체계적으로 관리하고 이를 바탕으로 구조적인 개선사항을 도출함으로써 손상부재에 대한 형상 및 재료 등을 개선함으로써 손상재발을 예방하고 선제적인 예방보수가 가능한 분기기 궤도유지관리체계 도입이 필요할 것으로 판단되었다.

References

- [1] E.Y. Kim, "A study on the Influence Turnout Track Twist from Train Operation", Ajou University, Master's thesis, 2016
- [2] S.J. Oh, "A study Damage Evaluation & Replacement Criteria for Manganese Crossing of Turnout on Urban Railway", Ph.D. thesis, Seoul National University of Science and Technology, p.55, 2017
- [3] H.Y. Choi, S.Y. Lee, "Base Study on Management Standard of Switch Rail in Conventional Railway", Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 21, pp. 269-276, 2018(DOI : 10.7782/JKSR.2018.21.3.269)
- [4] H.W. Ji, S.G. Kwon, B.H. Yun, J.M. Seo, "Evaluation on fatigue durability of tongue rail according to speed-up", Journal of The Korean Society For Urban Railway, Vol. 5, No. 3, pp. 967-973, 2017
(doi : 10.24284/JKOSUR.2017.09.5.3.967)
- [5] Y.G. Park, J.Y. Choi, K.Y. Eum, "A Study of Fatigue Damage Factor Evaluation for Railway Turnout Crossing using Qualitative Analysis & Field Test", Journal of The Korean Society of Civil Engineers, Vol. 28, pp. 881-893, 2008
- [6] J.Y. Choi, H.S. Gong, J.H. Kim, H.S. Kim, J.S. Chung, "An Experimental Study on Causes Evaluation of Rail corrugation for concrete track(STEDEF) in Urban Transit", The Journal of the Convergence on Culture Technology(JCCT), Vol. 4, No. 4, pp. 413-448, 2018
(doi <http://dx.doi.org/10.1703/JCCT.2018.4.4.413>)
- [7] K.S. Lee, "Dynamic Behavior of the STEDEF System on Concrete Ballast", Kyunggi University, A Doctor's degree, 1996
- [8] S.M. Kim, "An Improvement Study for Existed Quality Controls of Concrete Sleepers", Hanyang University, Master's thesis, 2005
- [9] J.Y. Song, "Condition Assessment and Damage Control for Concrete Sleeper", Hanyang University, Master's thesis, 2012
- [10] S.C. Kim, "An Analysis on the Mechanical Behavior of Resilient Sleeper in Concrete bed", Kyunggi University, Master's thesis, 1997
- [11] J.I. Kim, "An Analysis on the Mechanical Damage Behavior of Resilient Sleeper on Concrete Ballast", Dongguk University, Master's thesis, 2002