

고속철도 분기기 시스템 진단 시스템에 관한 연구(I)

A Study on a Diagnosis System for HSR Turnout Systems (I)

김영석 · 윤연주 · 백인철 · 류영태 · 한현수 · 황안규 · 강형석 · 이종우*

Youngseok Kim · Yeonjoo Yoon · Inchul Back · Youngtae Ryu · Hyunsu Han ·
Ankyu Hwang · Hyungseok Kang · Jongwoo Lee

Abstract Railway turnout systems play a key role in railway systems that change train directions. The turnout systems are one of the weakest systems in railway systems, and consecutive maintenance is required. A turnout diagnostic system can automatically measure the turnout status and its deterioration. To diagnose the turnout systems, we follow conventional maintenance procedures and need to identify their physical characteristics to coincide the procedures and the characteristics. According to the physical characteristics, we should choose and install adequate sensors on the turnout systems to measure their physical characteristics. We studied the phenomenon of the turnout system responses for point moving and train running on the turnout systems. We installed sensors on the turnout system in a revenue line to measure the identified physical quantities and to reveal the robustness of the sensors under the turnout system environment.

Keywords : Turnout, Diagnosis, Sensors, LVDT, Accelerometer

초 록 철도의 분기기 시스템은 철도에서 가장 중요한 시스템 중 하나로서, 차량의 진로를 설정한다. 분기기 시스템은 철도에서 가장 취약한 시스템 중 하나이며, 건전성을 유지하기 위해서 지속적인 관리가 필요하다. 분기기 진단 시스템은 분기기의 열화 상태를 자동적으로 측정할 수 있다. 분기기 시스템을 진단하기 위해서, 기존의 분기기 점검절차와 분기기에서 나타나는 물리적 특성을 규명하였다. 도출된 측정항목을 이용하여, 적절한 센서들을 선정하고, 영업노선에 설치하여, 데이터를 수집하였다. 본 논문에서는 분기기와 같이 열악한 환경에서 센서의 강건성과 데이터 획득에 대한 잡음 간섭 여부를 판단하였다.

주요어 : 분기기, 진단, 센서, LVDT, 가속도계

1. 서 론

분기기 시스템은 철도에서 진로를 설정하는 시스템으로서 철도시스템 중 가장 중요한 시스템 중 하나이다. 철도에서 분기기 시스템의 고장은 열차 운행에 치명적인 영향을 미친다. 중요노선의 철도 분기기는 건전한 상태로 항상 유지되어야 한다. 현재까지 분기기의 정상적인 상태를 유지하기 위해서는 정기적으로 철도 유지보수원에 의해서 점검이 수행되고 있다. 분기기의 점검은 각 철도 운용주체에 따라 주기가 달라지며, 자갈도상의 분기기 혹은 콘크리트 도상 분기기는 분기기의 종류 및 설치 장소에 따라 점검 항목 및 주기가 달라진다.

분기기 시스템은 분기기와 선로전환기 시스템으로 구성된다. 분기기 시스템의 주요 상태점검 내용은 분기기의 형상과 거동 특성이 포함된다. 분기기는 차량이 통과할 때 분기기 및 선로전환기에 지속적으로 외력을 받으며, 이 외력은 분기기 형상 변형과 포인트 가동에 관련된 선로전환기 시스템에 변형을 야기 시킨다. 이러한 분기기 시스템 변형은 분기기 선형변형과 선로전환기의 거동에 영향을 미치게 되며, 궁극적으로는 차량운행에 필요한 적정기준을 초과하게 되어 사고로 이어질 수 있다.

분기기의 관리기준은 고속철도, 간선철도 및 지하철 시스템에 따라 다르며, 최고 운행속도에 따라 다르다. 각 철도 시스템에 따라 최고 축중과 최고 운행 속도가 다르기 때문 각기 다른 분기기 형상을 갖는다. 일반철도와 도시철도는 1개의 선로전환기로 분기기 포인트가 동작되지만, 고속철도의 경우와 같이 1개의 선로전환기를 사용하여 여러 점에서 포인트를 동작시키기 위해서

동력전달 파이프를 이용하는 방법과 혹은 여러 개의 선로전환기를 사용하는 방법을 이용하여 해서 포인트를 이동시켜 설정된 선형이 유지되도록 한다. 각 철도의 분기기 관리는 점검주기, 형상관리 등 각 철도에 따라 기준이 다르다[1].

본 논문에서는 분기기 진단 시스템을 개발하여, 분기기를 진단을 자동화 시키는 것이다. 기존의 분기기의 진단 시스템의 개발은 밀착검지기 및 선로전환기의 전류 전압을 감시하는 것이 전부였다[2]. 이런 진단시스템은 선로전환기에 의해서 포인트부가 가동되어 기본레일에 밀착되었을 때, 밀착이 허용한도 내에서 벗어났을 경우 무엇에 의해서 발생되었는지 거의 알 수 없었다. 또한 선로전환기의 전압과 전류를 이용한 선로 전환기의 상태감시는 왜 전압과 전류가 이상 값이 나타나는지는 알 수 없었다.

본 논문에서는 분기기의 특성을 규명하기 위한 물리량 도출과 그에 관련된 센서 설치에 대한 연구를 진행하였다. 본 논문의 구성은 2장에서는 분기기 특성규명을 하였으며, 3장에서는 분기기 진단을 위한 parameters를 도출하였으며, 4장에서는 실제 노선에 설치한 센서 현황과 센서로부터 획득한 데이터를 나타냈으며, 5장에서는 결론을 도출하였다.

2. 분기기 특성규명

2.1 분기기 시스템 진단장치

분기기 시스템의 열화는 2가지 요인에 의해서 발생된다. 첫 번째는 차량이 분기기를 통과하면서 차량에 의해 발생하는 외력과 두 번째는 가동부를 동작할 때 선로전환기에 의해서 분기기에 외력을 가해지는 힘이 있다. 차량에 의해서 발생하는 힘은 횡방향, 종방향 및 수직방향의 3가지 외력이 있으며, 선로전환기에 의해서 발생하는 힘은 횡방향이다.

차량에 의한 힘은 차량운행속도가 주요한 요소이며, 운행속도가 높으면 높을수록 분기기에 가해지는 외력은 증가하게 되어 있다. 선로전환기에서 발생하는 힘은 분기기가 변형되었을 때 과도한 힘이 작용할 수 있거나, 고장에 의해서 거동동정을 초과하는 경우 등이 발생 한다[3]. 분기기는 외력이 지속적으로 작용되어, 분기기의 탄성한도 내에서 외력이 작용하는 경우는 분기기가 원래 형태로 복원을 하게 된다. 분기기 변형이 외력에 의해 분기기의 탄성한도를 벗어날 경우에는 소성변형을 일으키게 된다. 소성변형은 외력이 한 부분에 집중적으로 작용하여 분기기의 변형을 가속화한다.

분기기에 외력이 작용하여 발생하는 변형은 대부분 횡방향과 수직방향이며, 분기기에 작용하는 축방향은 보통레일에 작용하는 것과 동일하며, 무시할 수 있다[4]. 분기기상태를 진단하기 위해서는 진단에 필요한 인자(parameters)를 도출이 필요하다. 분기기의 진단을 위한 인자 도출을 위해서는 분기기 기능과 서브시스템을 연결시키는 것이 필요하다.

2.2 분기기 시스템

2.2.1 분기기 시스템 구성

분기기의 구성은 분기기는 한쌍의 포인트와 크로싱으로 구성되어 있으며, 차량이 어려움 없이 한 트랙에서 다른 트랙으로 주행할 수 있도록 하는 장치이며, 분기기의 궤도부는 Fig. 1과 같은 구조를 가지고 있다. 포인트 부분은 레일이동이 발생하는 곳으로서, 텡레일, 쇄정장치, 위치검지기, 선로전환기, 구동장치 및 히터 등으로 구성되어 있다.

텡레일은 단면적이 연속적으로 변하며, 침단부에서 그 값이 매우 작으며, 힐 부분은 레일단면적과 동일한 단면적을 갖는다. 텡레일 침단에는 좌우 양쪽 레일을 유지하고, 전환장치를 취부하기 위한 전철간이 있고, 기본레일과 텡레일 밑에는 전환을 원

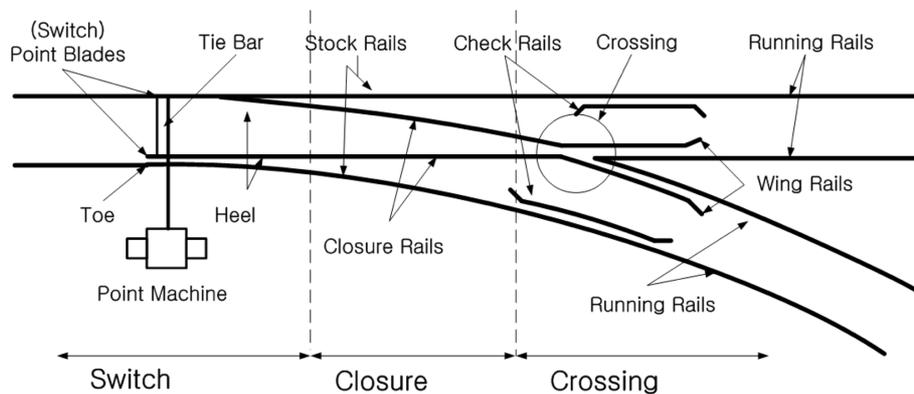


Fig. 1. Turnout system general structure.

활히 하기 위한 상판, 횡압에 의한 기본레일의 이동방지를 위한 버팀쇠, 또 기본 레일과 일정간격을 유지하기 위한 멈춤쇠(stud) 등이 사용된다. 쇄정장치는 차량이 통과할 때에 스위치를 한쪽 방향에 고정시켜 스위치 장치의 이동을 방지한다. 위치검지기는 스위치 위치를 검지하며, 신호 시스템에 연결되어 있다. 선로전환기는 양 끝점 사이에서 스위칭 운동을 하도록 하는 기계적인 장치이며, 구동 장치는 스위치 레일 이동을 원활히 하는 기계적 장치이다. 이 장치들은 가동바, 윤회판 및 롤러로 구성되어 있다. 히터는 스위치의 동결을 방지한다.

분기기의 형태는 차량이 분기할 때 최대 운행속도에 따라 포인트부, 리드부 및 크로싱 부의 길이가 달라지며, 분기속도가 높을수록 3개 부분의 길이가 길어진다. 분기기의 길이가 늘어남에 따라 필요한 선로전환기의 수도 증가한다.

분기기는 일정횟수 이상의 차량이 통과할 때 분기기 형태를 유지시킬 수 있도록 충분한 강성을 가져야 한다. 반복적인 차량 통과와 포인트의 전환에 의해서 분기기의 형상, 선로전환기 동적거동, 차량 통과 시 분기기의 반응 등이 달라진다.

2.2.2 분기기 시스템 기능

분기기의 기능을 유지하기 위해서는 기본레일, 텅레일, 크로싱, 간류, 체결장치, 쇄정장치 및 하부구조물 등이 각각의 고유기능을 담당한다. 분기기 시스템에서 각각의 서브시스템의 기능, 고장형태 및 발생현상을 Table 1에서 나타내었다.

분기기는 각각의 철도 운용주체에 의해서 설정된 분기기 관리 기준에 따라 철도원들은 Table 1에서 나타난 것과 같이 각 서브시스템이 기능을 유지할 수 있도록 서브시스템들의 상태를 점검·유지하고 있다. 분기기의 점검기준은 철도운용 주체에 따라 다르지만 대부분 일정기준을 가지고 있다. 이 분기기 관리 기준은 차량이 설정된 최대 속도를 주행할 때 안정성이 확보되는 상태이다.

Table 1. Turnout systems and failure modes.

Subsystems and parts		Functionality	Functionality loss	Abnormal phenomenons
Stock rail	Stock	Vehicle guiding	Damaged, out of adjust	Out of gauge, non supportable against external forces
Switch rail	Switch tip	Vehicle guiding	Wear, damaged, out of adjust	Contact error, flange passage mismatching
	Slide baseplate	Tongue rail moving	Out of adjust	Switch moving force increasing
Roller				
Crossing	Crossing	Vehicle guiding	Wear, damaged, out of adjust	Gauge mismatching, flange passage mismatching
	Guide rail		Damaged, out of adjust	Wheel guiding error, flange passage mismatching
Rod	Tappet	Moving force transmission	Bending, damaged, loose, sticking	Moving force transmission error, tongue rail contact error
	Tappet bolt nut		Damaged, loose, loss	
	Stretch bar	Maintaining of switch rail	Bending, damaged, loose, sticking	Switch moving force transmission error, gauge mismatching
	Stretch bar bolt and nut		Damaged, loose, loss	
Fastening assembly	Fastener	Lateral and axial supporting	Damaged, loose, loss	Rail alignment deformation
	Soleplate		Damaged, loose, loss	
	Anchor	Lateral and axial supporting	Damaged, mis-installation, loss	
Locking	Locking assembly	Tongue rail locking	Damaged, loose, loss	Gauge loosing of switch tip
Subgrade structure	Basement	Lateral, vertical and axial forces	Subsidence	Misalignment
	Ballast		Subsidence	
	Sleeper		Condensed, oblique, seperation	Rail alignment deformation
	Base plate		Damaged, loose, loss	

2.3 분기기 시스템 진단항목 분석

분기기의 기능은 궤도와 같이 차량을 안내하는 기능을 가지고 있다. 분기기 서브시스템들의 고장형태는 서브시스템의 변형, 파손 및 이완 등이 있다. 서브시스템의 변형을 검지하는 것은 사람에 의해서 직접적인 검사방법과 변위 혹은 진동 센서 등을 분기기에 설치하여 간접적으로 측정하는 방법이 있다. 분기기를 검사하는 일반적인 검사항목은 Table 2와 같이 도출하였다[4,5]. 각 서브시스템의 고장유형을 공통적으로 찾아낼 수 있으나, 발생한 고장 유형이 같은 형태로 나타나지는 않는다. 기본레일과 텡레일에서 틀림과 파손이 발생하지만 틀림 및 파손의 형태가 다르게 발생한다. 기본레일에서 발생한 틀림은 차량에 가진요소(exciting element)가 되지만, 텡레일에서는 가진요소는 물론 전환력 증가, 밀착불량 등으로도 작용하게 된다.

Table 2. General checking points for railway turnout systems.

Items	Checking items	Decision	Failure mode	Phenomenon	Detection methods	Solution	Maintenance period
General checking	Does switch tip move normally?	Pass/fail		The movement doesn't work normally	Displacement measuring Monitoring of point machine	Measuring algorithm by S/W	Every time
	Does rail have same weight and section?	Pass/fail		Section decreang	Section measuring	Manual measuring	Long period
	Is there no obstruct in flange passage?	Pass/fail	Obstruct objects exist	Passage narrowing/widening	Manual measuring	Optical/manual measuring	Every time
	Have good alignment?	Pass/fail	Failure of fastener	Alignment deformation	Automatic measuring	Measuring car	Mid term period
	Does rail surface have good condition?	Pass/fail		Surface deformation	Automatic/manual measuring	Optical/manual measuring	Mid-term period
	Does 4 fastener at least exist?	Pass/fail		Damaged or loss	Manual measuring	Optical/manual measuring	Mid-term period

3. 분기기 진단 시스템 Parameters 도출

3.1 분기기 시스템 반응 특성

분기기 시스템 특성은 차량통과 및 포인트 가동에 의해서 나타난다. 포인트 가동은 선로전환기에 의해서 이루어지며, 대부분 일정한 속도로 움직이며, 좌우로 일정한 동정을 가지고 있다. 차량은 분기기의 정위 상태에서 주행하는 경우와 반위상태에서 주행하는 경우가 있다. 분기기가 반위상태인 경우는 주행선로가 곡선이므로, 차량이 분기기에 충격을 가하게 된다. 반위상태의 분기기를 차량이 주행할 때, 휠셋은 스위치 진입 시 바깥레일에 충격을 가한다. 이 충격은 휠셋이 궤도곡선에 따라 회전할 틈이 없기 때문에 발생하고, 모든 플랜지가 리드 레일에 접촉할 완료될 때까지 진행되며, 휠셋의 방향전환이 될 때까지 레일과 플랜지 접촉 역시 계속된다. 분기기에 진입하는 차량 혹은 대차의 횡적거동은 일반 궤도에서보다 훨씬 복잡하다. 공칭 기하형을 고려 시에도, 복잡하게 하는 부가적인 원인들이 다음과 같이 존재 한다[6].

- 완회곡선이 없는 경우, 분기기 시점과 크로싱에서의 충격현상
- 분기기 전체에서 블레이드와 레일 단면이 변경됨
- 차량에서 갑자기 변하면서 접촉이 발생

진입 충격 각을 쉽게 예측할 수 있는 곳의 선두 휠셋에 의해서 발생하는 충격량은 다음과 같은 식에 의해서 구할 수 있다 [7,8].

$$P = \alpha v \sqrt{km_w} \quad (1)$$

단, P : 바깥레일에 작용하는 최대 충격력

α : 플랜지와 리드레일이 만나는 점에서의 진입각도이며, 진입각도는 스위치 진입각도보다 큼

v : 차량진입속도, k : 충격점에서 궤도의 횡방향 강성, m_w : 차량의 하질량(Unsprung mass)

α/l 의 변수의 곱은 승차감을 나타내는 값으로 BR 스위치에서 0.1로 거의 일정하다.

차량이 정위상태에서 주행하는 경우는 일반궤도를 주행하는 상태와 동일하다. 차량이 분기기를 주행할 때는 일반궤도와 같은 횡방향, 수직방향 및 축방향 힘이 작용하여, 횡변위 및 수직변위가 발생하며, 축 변위는 무시할 수 있다. 분기기에서 발생하는 외력은 차량의 속도, 축중과 궤도형태에 의해서 결정된다. 차량에 의해서 궤도에 가해진 힘으로 인해 발생하는 현상을 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Phenomena taking place for train running in turnout systems.

No.	Part	force exerted	Phenomenon	Physical quantities
1	Rail alignment	Lateral, vertical	Displacement, deformation	Acceleration, vibration
2	Rail	Lateral, vertical and axial	Displacement, deformation, wear	Acceleration, vibration
3	Switch tip	Lateral, vertical and axial	Deformation, wear	Acceleration, vibration
4	Crossing	Lateral, vertical and axial	Displacement, deformation, wear	Acceleration, vibration
5	Guard rail	Lateral	Displacement	Vibration

분기기에는 Table 3에 나타난 것과 같이 가속도, 진동, 변위, 변형 및 마모가 발생한다.

3.2 분기기 시스템 진단 센서 선정

분기기의 차량 통과와 포인트부의 가동은 Table 3과 같이 외력이 작용되어 분기기 시스템의 성능을 저하 시킨다. 분기기 서브시스템들의 성능저하 혹은 고장모드에 의해서 Table 4에서 나타난 것과 같은 기능에 영향을 미친다[9].

Table 4. Detection methods for failure modes of turnout systems.

Subsystem	Functionality	Measuring factors	Measuring Value	Failure modes	Phenomenon arising	Results	Measuring methods
Switch tip	Wheel guiding	Switch tip	Contact clearance	Contact error	Contact clearance enlarging	Derailment	Clearance measuring by detector
				Over contact	Rail gauge enlarging		Flange passage width measuring by detector
			Impact force	High speed entering Alignment deformation	Over impact		Measuring impact force by accelerometer
			Rail gauge	Rail gauge deformation	Rail gauge enlarging/ decreasing		Rail gauge measuring by detector
			Flange passing width	Narrowing width	Narrowing passage width		
			Moving force	Contact error	Contact error /over contact		Point moving force measuring by detector
			Deformation of switch tip	Over displacement/ deformation	Displacement arising Stress arising	Derailment	Measuring by detector
Lead tip	Wheel guiding	Curved rail	Gauge	Gauge deformation	Rail gauge enlarging/ decreasing	Derailment	Measuring by detector

Table 4. Continued

Subsystem	Functionality	Measuring factors	Measuring Value	Failure modes	Phenomenon arising	Results	Measuring methods
Crossing	Entering of wrong track	Rail gauge of switch tip	Gauge	Gauge deformation	Rail gauge enlarging/ decreasing	Derailment caused from wheel jumping	Measuring by detector
		Flange passing width	Width	Wrong of flange passing channel	Narrow of flange passing channel		Measuring by detector
		Flange passing depth	Depth				
		Crossing stress	Residual stress	Overstress	Rail deformation		Rail stress measuring by strain gauge
		Switch tip	Wear state	Damaged	Error of wheel guiding		Manual measuring
		Surface	Wear state	Over worn	Over worn	Derailment	Manual measuring
Stock rail	Wheel guiding	Rail gauge	Clearance	Gauge deformation	Abnormal excitation to RS loosening of guard rail		Measuring by detector
		Soleplate					
		Fastner					
		Anchor	States			Manual measuring	

Table 5. Causes for failure modes of turnout systems and measuring elements.

No.	Functionalities	Causes	Direct sensing	Indirect sensing	Related items
1	Tongue rail defects			Position detection	①③⑤⑥⑦⑨⑩
		Out of adjust of rod	Displacement		
		Over impact force	Accelerometer		
		Insufficient switch moving force	Pressure sensor		
		Sliding plate deformation	Manual measuring		
2	Tongue rail gauge changing			Position detection	①②③④⑦⑩
		Over impact force	Accelerometer		
		Over switch moving force	Pressure sensor		
		Basement fault	Manual measuring		
3	Lead part gauge changing				②④⑨⑩
		Residual stress	Stress sensor		
		Fastener	Manual measuring		
		Anchor	Manual measuring		
4	Basic rail gauge changing				②④⑨⑩
		Rail gauge		Position detector	
		Soleplate	Manual measuring		
		Fastener	Manual measuring		
	Anchor	Manual measuring			

차량이 분기기 상을 주행하면서 발생하는 가속도, 진동, 변위, 변형 및 마모 등을 측정하기 위해서는 각 분기기 상태 검지에 필요한 항목을 아래와 같이 도출할 수 있다.

- ① 기본레일과 텅레일 밀착 상태
- ② 기본레일과 기본레일 간 궤간

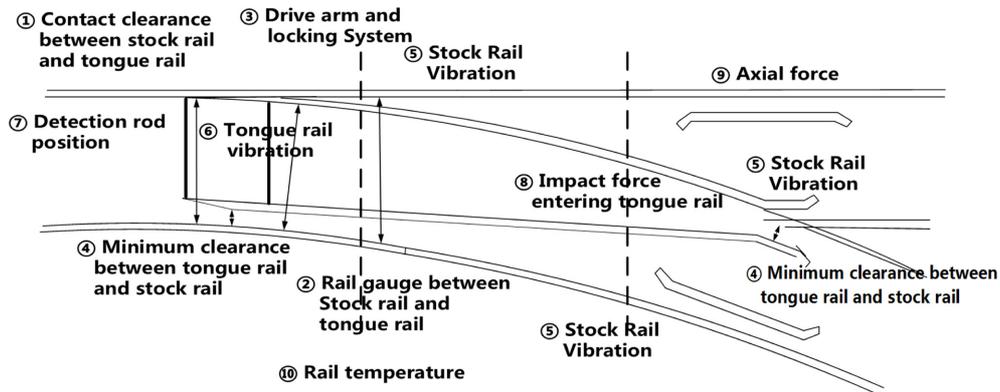


Fig. 2. Measuring items of turnout systems.

- ③ 구동간 및 스위치 쇄정 시스템
- ④ 텡레일과 기본레일간의 최소 간격
- ⑤ 기본레일 진동
- ⑥ 텡레일 진동
- ⑦ 검지간의 위치
- ⑧ 텡레일 진입 시 충격량
- ⑨ 레일 축력
- ⑩ 레일온도

위의 항목들은 검지하기 위한 방법을 Table 5와 같이 제안할 수 있다.

분기기 시스템의 상태를 직접적으로 진단하는 것은 각 부품에 대해서 고장모드를 진단할 수 있도록 센서를 설치하는 것은 현실적으로 매우 어렵다. 따라서 전체적인 분기기 성능을 평가하는 간접적인 방법이 필요하다. 간접적인 방법으로는 변위계와 가속도계를 이용하여 분기기를 간접적으로 진단하는 방법이 있다.

3.3 분기기 시스템 진단 측정점 및 센서 선정

차량이 분기기 상을 주행하면서 발생하는 가속도, 진동, 변위, 변형 및 마모 등을 측정하기 위해서는 각 물리량을 측정할 수 있는 센서를 선정해야 한다. 가속도와 진동은 accelerometer를 이용하여 측정할 수 있으며, 변위 및 변형은 LVDT(Linear Variable Differential Transformer)등과 같은 거리계와 각도계를 이용하여 측정할 수 있다. 각각의 물리량 및 측정 센서는 Table 6에 나타내었다.

Table 6. Physical quantities influenced on turnout systems.

No.	Physical quantity	Unit	Measuring methods	Sensors
1	Acceleration	m/sec^2	Accelerometer	Piezoelectric Accelerometer
2	Vibration	rad/sec	Displacement meter	LVDT
3	Displacement	m	Displacement meter	LVDT
4	Deformation	m, θ	Displacement meter angle meter	LVDT, goniometer
5	Wear	mm	Displacement meter angle meter	scale, goniometer

분기기에 발생하는 마모량은 LVDT를 이용하여 직접적으로 측정하기가 어렵다. 마모는 차량의 휠이 직접적으로 접촉하는 부분으로 접촉식 측정 장치를 설치하는 것은 실제적으로 불가능하다. 마모를 측정하기 위해서는 비접촉식 측정방법 혹은 직접접 검에 의해서 가능하다.

분기기에 상태를 진단하기 위해서 Table 7과 같은 방법으로 변위와 가속도계를 설치하였다.

Table 7. Measuring item for phenomena.

No.	Phenomenon	Sensing items	Sensing methods	Dimensions (mm)
1	Tongue rail contact defect	①③⑤⑥⑦⑨⑩	Displacement, vibration, accelerometer, residual stress	1mm
2	Tongue rail gauge changing	①②③④⑦⑩	Displacement, accelerometer, vibration, axial force	1mm
3	Lead part gauge changing	②⑨⑩	Rail stress, temperature	1mm
4	Basic rail gauge changing	②④⑨⑩	Displacement meter	1mm

4. 분기기 센서 설치 및 데이터 획득

4.1 황간역 설치

황간역의 분기기는 일반선 자갈도상에 설치된 분기기로서, 크로스 가동형 분기기이다. 이 분기기는 고속철도에서 운용되고 있는 분기기와 동일한 구조를 가지고 있다. 고속철도 노선에 설치하기 전에 센서에 대한 설치 시행착오를 줄이기 위해서 설치되었다.

4.1.1 황간역 센서 설치

황간역의 분기기 특징은 크로싱 가동분기기이며, 선로전환기에 의해서 포인트와 크로싱이 가동된다. 황간역 분기기에 센서 설치하는 밀착검지, 포인트거동 관찰, 궤간, 수직변위, 레일의 윤중 및 횡압, 레일응력, 레일 진동, 선로전환기 좌대 진동 등에 대한 물리량을 측정하였다.

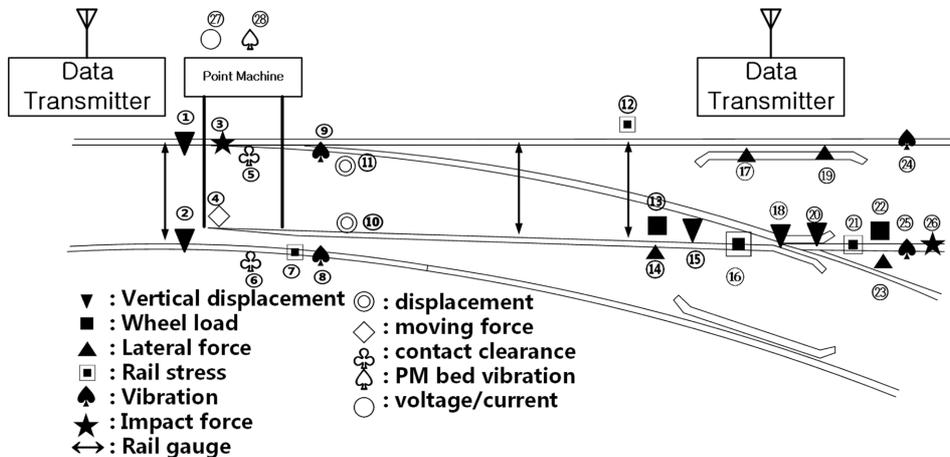


Fig. 3. Measuring items of turnout systems.

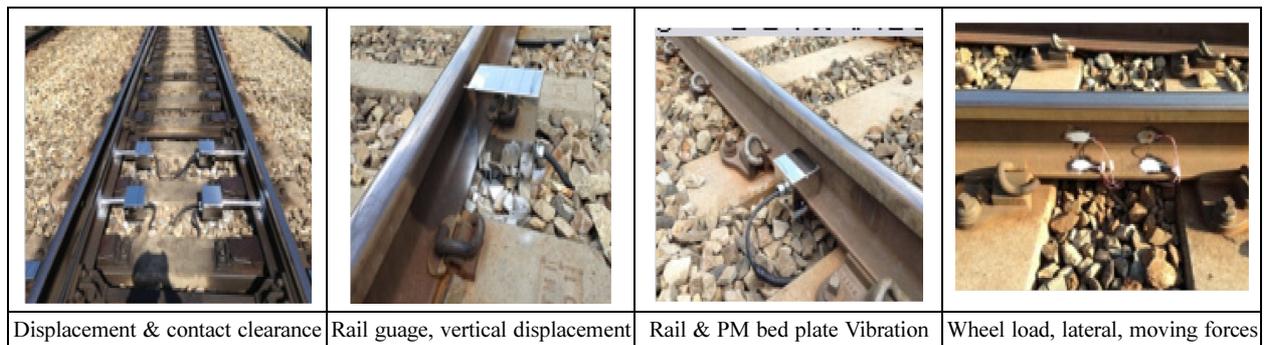


Fig. 4. Sensors installed in ballast turnout.

Fig. 3과 같이 센서들을 황간역에 설치하였다. 설치된 상태는 Fig. 4와 같이 나타내었다. 자갈도상에서 센서들에서 정보를 획득하기 위해서 선로변에 RTU와 데이터 수집장치를 설치하였으며, 데이터 수집장치는 인터넷으로 중앙센터에 전송되도록 하였다[9].

4.1.2 센서운용결과

자갈도상 분기기에 센서를 운용한 결과 다음과 같은 센서고장이 발생하였다. 센서의 고장은 Strain gauge와 wire type LVDT에서 고장이 발생하였다. Strain gauge는 단기간만 사용할 수 있는 시스템이며, wire type LVDT의 고장은 자갈도상에 설치하여, 자갈비산 등에 의해서 고장이 발생된 것으로 추측된다.

4.1.3 데이터 획득결과

자갈도상 분기기에 데이터 수집은 치공구 설치와 센서 자체의 건전성에 따라 결정된다. Table 9에서 나타난 것처럼 비교적 깨끗하게 얻은 것은 센서 설치 작업을 한 후에 얻은 데이터 이다. 분기기에 센서 설치 후에는 외부 환경요인에 의해서 데이터가 변질되는 경우가 발생하였다. 자갈도상 분기기의 경우 자갈다짐 작업에 의해서 장기간 센서를 설치할 수가 없었다.

Table 8. Sensors failure occurrence frequency installed in turnout on ballast track.

Systems	Measuring items	Sensor types	Installed location	Quantity	Failure		Failure quantities
					Yes	No	
Turnout	Wheel load, lateral load	Strain gauge	Crossing	6		◎	-
	Rail vertical displacement	LVDT	Stock rail	3		◎	-
	Rail stress	Strain gauge	Stock rail	3		◎	-
	Rail vibration	Accelerometer	Stock rail	4		◎	-
	Impact	Strain gauge	Crossing	2	◎		2
	Gauge	LVDT	Point, lead	6		◎	-
Point machine	Displacement	Wire type LVDT	Stock rail	2	◎		1
	Moving force	Strain gauge	Point machine	1		◎	-
	Clearance	Wire type LVDT	Tongue rail	2	◎		1
	PM vibration	Accelerometer	Point machin	1		◎	-
Sum				30	-	-	4

Table 9. The acquired data from two representative sensors from ballast track turnout of Whanggan station.

Sensor type	Acquired data	Remark
LVDT		This graph represents a trains set which consists of one locomotive and 8 couches.
Accelerometer		The accelerometer shows the wheels of a train set provokes impulse response.

4.2 울산역 설치

울산역은 고속철도 노선으로 콘크리트 도상에 분기기가 설치되어 있다. 황간역에서 설치된 경험을 이용하여 센서를 설치하였다.

4.2.1 울산역 센서 설치

울산역 분기기 특징은 선로전환기 대신에 유압 실린더에 의해서 분기기가 가동된다. 울산역 분기기에 센서설치는 밀착검지, 포인트거동 관찰, 궤간, 레일수직변위, 레일의 운중 및 횡압, 레일응력, 레일 진동, 유압실린더의 진동 등에 대한 물리량을 측정하였다. 센서설치 위치는 Fig. 5와 같이 가동이 되는 부분에 설치를 하였으며, 진동은 분기기 전후와 실린더에 설치하였다. 센서의 설치방법은 Fig. 6에 나타내었다.

콘크리트 도상에 센서를 설치하는 작업은 콘크리트에 기초를 부설할 수 있어 자갈도상에 비해 상대적으로 쉽다. 데이터 획득을 위해서는 선로변에 RTU와데이터 수집장치를 부설하였다. 수집된 데이터는 데이터 수집장치를 통하여 인터넷으로 중앙센터에 전송되도록 하였다[9].

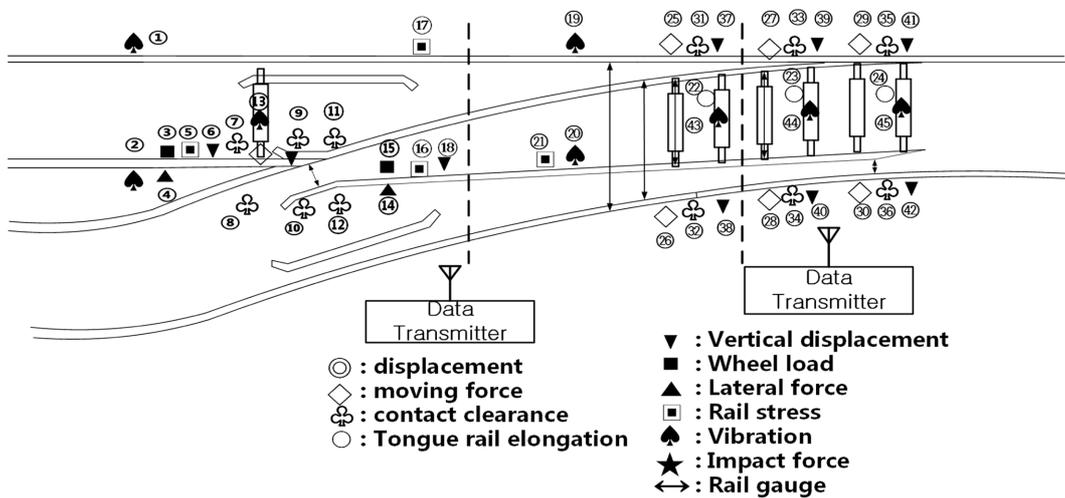


Fig. 5. Measuring items in concrete turnout systems.

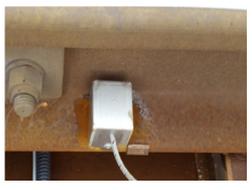
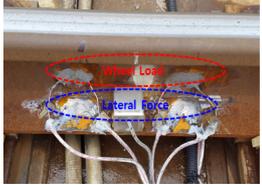
			
Displacement & Rail gauge	Vertical displacement	Cylinder vibration	Rail vibration
			
Rail stress	Contact clearance	Cylinder vibration	Wheel load, lateral force

Fig. 6. Sensors installed in concrete turnout system.

4.2.2 센서운용결과

자갈도상 분기기에 센서를 운용한 결과 다음과 같은 센서고장이 발생하였다. 센서의 고장은 Strain gauge와 Accelerometer에서 발생하였다. Strain gauge는 특성 상 단기간 동작하는 센서로서 장기간 사용할 수 없으며, accelerometer는 레일 상에 설치된 것에서 고장이 발생하였다. Accelerometer의 용량 100g로서 용량이 500g로 변경을 할 필요가 있다.

	Measuring items	Sensor type	Installed location	Quantities	Failure		Failure quantities
					YES	NO	
Lead	Tongue rail elongation	LVDT	Lead/tongue rail	6		⊙	-
	Moving/clearance	LVDT	Lead/tongue rail	8		⊙	-
	Gauge	LVDT	Stock rail	8		⊙	-
	Rail vertical displacement	LVDT	Stock rail	1		⊙	-
	Rail vibration	Accelerometer	Stock rail	2	⊙		1
	Cylinder vibration	Accelerometer	Cylinder	2		⊙	-
	Moving force	Strain gauge	Cylinder	6	⊙		6
Rail stress	Strain gauge	Stock rail	1	⊙		1	
Crossing	Moving/clearance	LVDT	Crossing	6		⊙	-
	Rail vibration	Accelerometer	Stock rail	2	⊙		1
	Cylinder vibration	Accelerometer	Cylinder	1		⊙	-
	Moving force	Strain gauge	Cylinder	2	⊙		2
	Wheel load	Strain gauge	Stock rail	2	⊙		2
	Lateral force	Strain gauge	Stock rail	2	⊙		2
Sum				49	-	-	15

Fig. 7. Sensors failure occurrence frequency installed in turnout on ballast track.

4.2.3 데이터 획득결과

콘크리트 궤도에 센서설치는 자갈도상에 비해 상당히 용이하다. 콘크리트 노반에 치공구를 설치할 경우에 거의 영구적으로 사용할 수 있다. Fig. 8에서 나타난 것과 같이 비교적 안정된 신호정보를 획득하였다. LVDT의 경우에 레일과 접촉점에 의해서

Sensor type	Acquired data	Remark
LVDT		This graph represents TGV trains set which consists of two locomotives and 18 couches.
Accelerometer		The accelerometer shows the wheels of a train set provokes impulse response.

Fig. 8. The acquired data from two representative sensors from ballast track turnout of Ulsan stations.

probe의 침단부가 굽어지는 현상이 발생하였으나, 볼 베어링 침단부를 설치한 후 probe 침단부가 굽어지는 현상은 더 이상 발생하지 않았으며, 최근 6개월 동안 고장 없이 사용하고 있다.

5. 결 론

분기기 특성을 규명하기 위해서 센서를 자갈도상 분기기와 콘크리트 도상 분기기에 센서를 설치하였다. 횡간역 자갈도상 분기기에 센서를 설치하기 위해서 고정점(fixed point)을 찾는 것이 상당한 작업량이 요구되었으며, 노반에 기초를 설치하고 LVDT를 설치하였다. 자갈도상에서 센서 설치 운용은 자갈의 비산, 자갈다지기과 같은 유지보수 작업 등으로 장기간 설치하여 분기기를 관찰하는 것이 불가능하다. 자갈도상 센서 시스템의 운용 주기는 자갈다지기 작업 후부터 작업 전까지를 한 주기만을 사용할 수 있다. LVDT와 같은 센서를 장기간을 설치하기 위해서는 자갈도상에 부동의 고정점을 설치해야 하며, 한 가지 방법으로 노반에 센서 전용 콘크리트로 고정점 부설하는 것이 필요하다.

울산역은 콘크리트 도상으로 센서를 설치하는 것이 자갈도상에 비해 상대적으로 용이하며, 일정한 분기기특성을 획득할 수 있었다. 울산역에 설치된 센서들은 LVDT의 경우 가동부를 고장이 발생하지 않도록 ball bearing 형태로 변경하여 6개월이상 고장이 발생하지 않고 있고, 레일에 설치된 Accelerometer의 경우는 6개월 정도 시간이 지난 후 고장이 발생하였으며, 실린더에 설치된 accelerometer에서는 고장이 관찰되지 않아, 레일에 설치된 accelerometer는 용량이 부족해서 발생한 것으로 추정된다.

자갈도상은 차량이 운행에 따라 연속적 열화되어 특성이 변한다. 따라서 센서에 획득하는 데이터도 자갈도상의 특성변화와 궤도의 변형에 따라 달라진다. 따라서 자갈도상 분기기의 정확한 특성을 규명하기 위해서는 노반에 콘크리트 기초와 같은 부동의 기초가 필요하며, 자갈다지기와 같은 작업에 무관하도록 침묵부분을 활용하여 구조적으로 센서를 설치하는 것이 필요하다.

콘크리트 도상 분기기의 특성 규명은 고정점을 쉽게 확보할 수 있어 자갈도상 분기기에 비해서 상대적으로 용이하다. 콘크리트 도상에서 LVDT 및 Accelerometer센서를 설치하여 관찰을 하면 분기기의 열화특성을 규명할 수 있다.

후 기

본 연구는 국토교통부에서 지원하는 철도기술연구사업인 “고속철도용 분기기 국산화 및 성능개량 기술개발”과제의 일부인 “고속철도용 분기기 관리 운영시스템 개발”과제의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Korea Railroad Corporation (2008) Maintenance Manual for High Speed Line track.
- [2] Point Diagnostic System SIDIS W (Siemens) <https://w3.usa.siemens.com/mobility/us/Documents/en/rail-solutions/rail-automation/signaling-components/sidis-w-en.pdf> (Accessed 15 January 2017)
- [3] Australian Government Publishing Service (1980) Railway Track Design - A Review Research Laboratories.
- [4] D3.1.1-Definition of Key parameters (Innotrack) http://cordis.europa.eu/result/rcn/47369_en.html (Accessed 15 January 2017)
- [5] W.J. Jung, W.-J. Chung, D.-W. Koo, S.-C. Yang (2005) Verification of the validity for the speed-limit regulation on the turnout system, *Journal of the Korea Society for Railway*, 8(1), pp. 93-100.
- [6] D3.3.1- List of key parameters for switch and crossing monitoring (Innotrack), cordis.europa.eu/docs/publications (Accessed 15 January 2017)
- [7] G.A. Hunt (1986) Train Dynamics at Turnouts, <https://dspace.lboro.ac.uk/-dspace-jspui/bitstream/2134/7492/.../> (Accessed 17 January 2017)
- [8] R.V. Licciadello, M. Bruner, G.R. Corazza, E. Cosciotti *et al.* (2008) Some experience on the dynamic of turnouts due to passing trains, http://www.uic.org/cdrom/2008/11_werr2008/pdf/S.3.1.2.2.pdf (Accessed 26 January 2017)
- [9] N. Wright (2014) D3.3.2-Available Sensors for Railway Environment for Condition Monitoring, Innotrack, <https://dspace.lboro.ac.uk> (Accessed 3 March 2017)
- [10] J.W. Lee E.-S. Choo, M.-S. Kim, H.-Y. Yoo, C.-S. Mo, E.-S. Son, S.G. Park (2015) A study on a monitoring system for railway turnout systems, *Journal of the Korea Society for Railway*, 18(5), pp. 439-446.

(Received 17 April 2017; Accepted 20 April 2017)

Yeonjoo Yoon : soran@vitzrosys.com

Vitzrosys, Vitzro building, 233-3 Seongsu 2-ga 1-dong, Seongdong-gu, Seoul, Korea

Inchul Back : inback@korail.com

Korea Railroad corp., 240 Jungangno, Dong-gu, Daejeon 346198, Korea

Youngtae Ryu : youngtee@korail.com

Korea Railroad corp., 240 Jungangno, Dong-gu, Daejeon 346198, Korea

Hyunsu Han : menipul@jvg.co.kr

JVG co.LTD, 11, Neungwon-ro 10beon-gil, Neungwon-ri, Mohyeon-myeon, Cheoin-gu, Greonggi-do Korea

Ankyu Hwang : askwand@jvg.co.kr

JVG co.LTD, 11, Neungwon-ro 10beon-gil, Neungwon-ri, Mohyeon-myeon, Cheoin-gu, Greonggi-do Korea

Hyungseok Kang : xzxz1116@daum.net

Seoul National University of Science&Technology, 232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul, 139-743, Korea

Jongwoo Lee : saganlee@seoultech.ac.kr

Seoul National University of Science&Technology, 232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul, 139-743, Korea