

## 침목형 선로전환기의 고장 예측 시스템 개발 연구

### Failure predict system development research of sleeper-integrated point machine

유성훈\*, 이형준\*\*, 김상현\*\*\*, 창윤우\*\*\*\*, 김재문\*†

Sung Hun Yu\*, Hyoung Jun Lee\*\*, Sang Hyeon Kim\*\*\*, Yoon Woo Chang\*\*\*\*, Jae Moon Kim\*†

**초 록** 용인 경량전철에 적용된 침목형 선로전환기는 봄바르디어사에서 제작된 EBI switch 2000 모델이다. NS형 선로전환기와는 다르게 침목기능을 할 수 있고 위치 인식기능이 포함되어 있고, 전세계 63개 국가에서 운영하고 있다. 국내에서는 유일하게 경전철시스템에 적용된 편개 분기기 구조에서 포인트 및 크로싱 부분에 선로전환기를 적용 되어있고 설치부터 현재 10년을 사용하고 있으면서 고장률이 증가하고 있다. 이에 본논문에서는 용인 경량전철에 적용된 EBI Switch 2000 모델에 대하여 소개하고 고장을 예측하는 시스템 개발하여 운영 중인 사례를 연구하고자 한다.

**주요어** : 경전철, 침목형 선로전환기, 고장예측 시스템, 실시간 계측 시스템, 철도기술

### 1. 서 론

용인 경전철과 부산교통공사의 2호선에 설치된 침목형 선로전환기는 봄바르디어사에서 제작한 EBI switch 2000 모델이다. 전세계 63개 운영기관에서 사용하고 기온이 낮은 러시아의 시베리아철도에서 기온이 높은 말레이시아에서도 사용하고 있다. 1994년에 개발되어 스위스에 처음 적용하였고 고속철도에서 경전철까지 광범위하게 사용하고 있다.

침목형 선로전환기는 침목의 기능을 하면서 선로의 분기기기능을 할 수 있으며 위치를 인식하기 위하여 근접센서가 설치되어 있고 위치 인식으로 해정, 동정, 쇄정기능을 단계적으로 수행한다.

용인 경전철에서는 본선에서는 침목형 선로전환기를 차량기지에서는 NS형 선로전환기를 사용하고 있다.

본 논문에서는 본선에 적용된 침목형 선로전환기에 대한 소개와 고장 발생을 효과적으로 예측하기 위한 고장예측 시스템 개발에 대해 연구하여 고장 발생을 사전에 억제하고 유지보수의 신뢰성을 향상하고자 한다.



Fig. 1 용인 경전철 선로전환기

\* 네오트랜스(주) 용인경전철 본부

\*\* 네오트랜스(주) PM본부

\*\*\* 네오트랜스(주) PM본부

\*\*\*\* 한국교통대학교 교통시스템공학과

† 교신저자: 한국교통대학교 교통시스템공학과

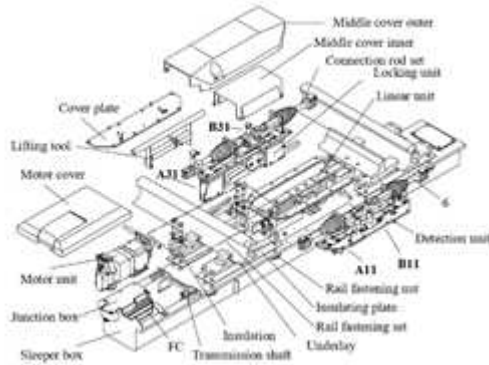


Fig. 2 EBI Switch 2000 JEA 93

## 2. 본 론

### 2.1 EBI Switch 2000 모델에 대한 소개

용인 경량 전철에 적용된 침목형 선로 전환기는 선로의 침목 기능을 위하여 본체는 침목이 받는 힘(F)보다 30% 높은 하중에도 변형이 없게 설계되어 있다. 설치는 침목처럼 매립 방식으로 되어있고 레일궤도와 전기적으로 절연이 되어있다. Table1은 EBI switch 2000의 사양을 나타내었다.

Table 1. EBI Switch 2000 Mechanical data

Item	Swing Nose/ MovableFrog
Sleeper Size	4,450 x 300 mm
Cover Size	200 x 400 mm
Weight	~900kg
Locking Force	100kN
Switch Rail pressure against stock rail	2.5kN
Track Gauge	1,435 mm
Max Train Axle load	32,000kg
Tolerance of rail movement	+/- 34 mm
Rail Insulation	2.5 kVac

#### 2.1.1 구조 및 기능

EBI Switch 2000의 구조는 Sleeper Box, Transmission Shaft, Linear unit, Locking

unit, Detection unit, Motor unit, FC(frequency converter), Connection rod, Cover로 구성되어 있다.

Sleeper Box는 침목의 기능을 수행할 수 있는 구조로 되어있다.

Transmission Shaft는 동력원인 Motor unit과 구동부인 Linear unit의 중간에 논문내용에 대한 책임은 저자에게 있으며 설치되고 동력을 전달하는 기능을 한다.

Linear unit은 회전 운동을 직선 운동으로 변환하는 기능을 하고 Locking unit을 움직이게 한다.

Detection unit은 레일의 밀착을 감시하고 내부 리미트 스위치로 밀착상태를 출력한다. 다음은 선로전환기의 각부분에 대한 도식이다.

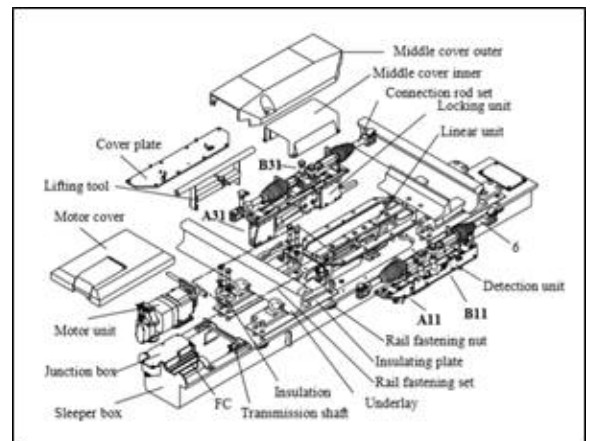


Fig. 3 선로 전환기 구성도

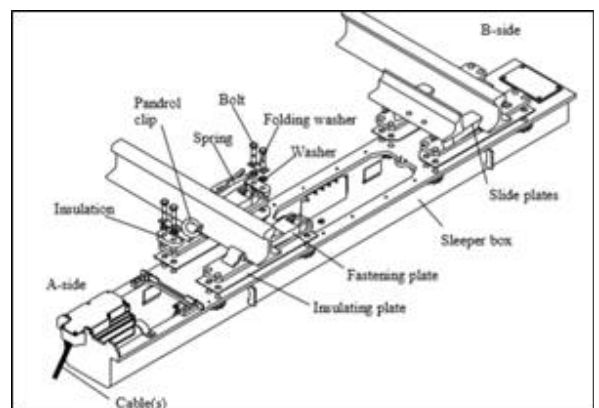


Fig. 4 Sleeper Box

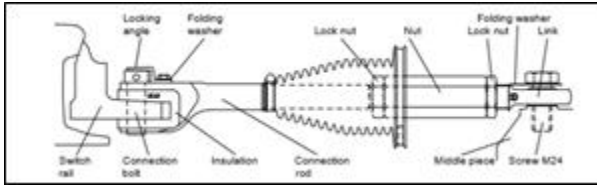


Fig. 5 Connection Rod

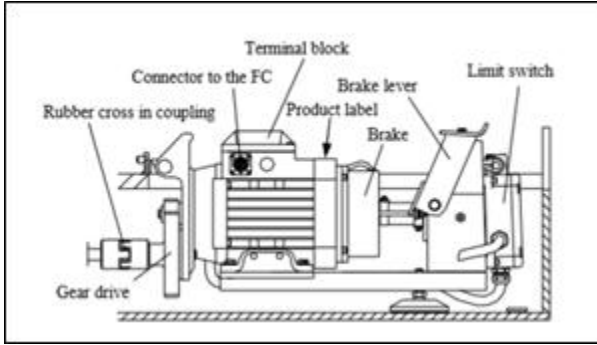


Fig. 6 Motor Unit

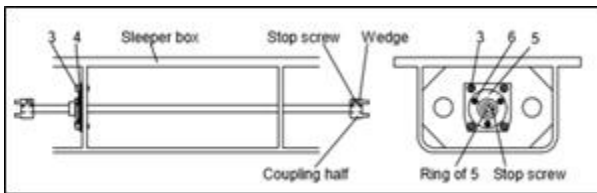


Fig. 7 Transmission Shaft

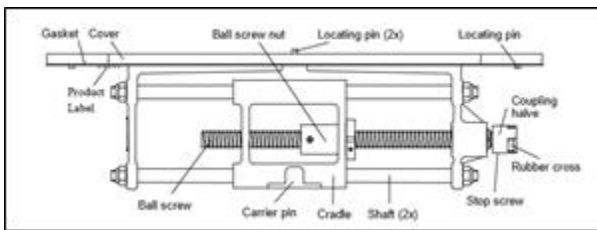


Fig. 8 Linear unit

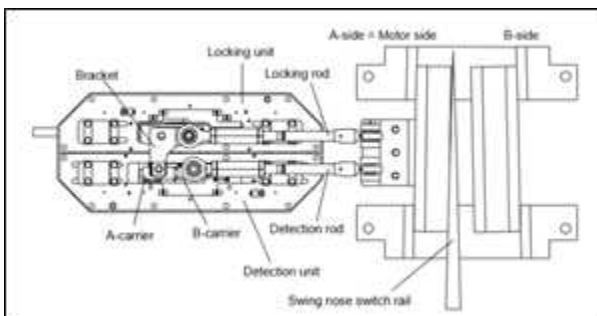


Fig. 9 크로스부 선로전환기 구성

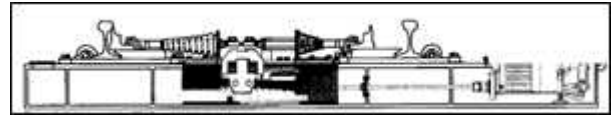


Fig. 10 포인트부 선로전환기 단면

선로전환기는 신호기계실에서 정위와 반위 신호를 220Vac의 전원으로 각각 분리된 전선으로 입력된다. 선로 전환기의 동작이 끝나면 전원도 상실된다.

입력된 전원은 FC(주파수변환기)로 가압되고 제어 전원과 모터를 구동하기 위한 구동 전원으로 사용된다. 전기적 구성은 Fig. 11과 같다.

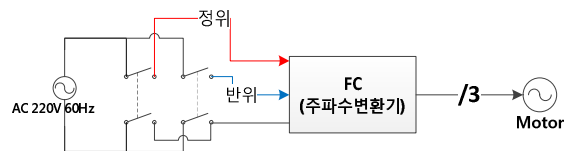


Fig. 11 전기적 구성

선로전환기의 동작은 FC(주파수변환기)의 내부 프로그램에 의하여 잠김 해제(해정), 동정(선로 분기), 쇄정(잠김)으로 3단계로 구성되고 동작은 Fig. 12와 같다.

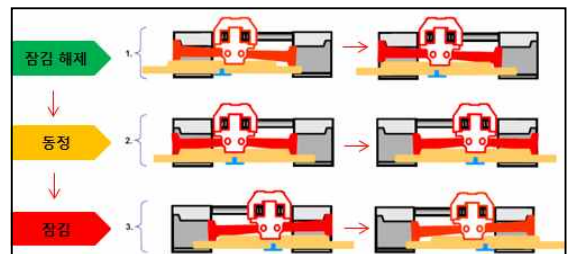


Fig. 12 동작 구성

선로전환기의 시작과 끝은 내부 위치 인식 센서에 의하여 FC(주파수변환기)로 입력되어 판단된다.

### 2.1.2 신뢰성 및 가용성

선로전환기의 신뢰성 및 가용성 사항은 다음과 같다.

- 신뢰성

\* Fault Intensity:  $6.35 \times 10^{-6}$   
(failures/houre)

\* MTBF: 18 years

- 가용성

\* MTBM(Mean Time Between Maintenance):  
346 Day

\* MTTR(Mean Time To Repair): 1.4 Hour

\* 가용성(Availability) : 0.9998

## 2.2 용인 경량전철 운영 현황

용인 경량전철에서는 침목형 선로전환기는 회차구간인 전대-에버랜드역과 기흥역에 16대(8세트)와 중간역인 삼가역과 고진역에 20대(10세트)가 설치되어 있다.

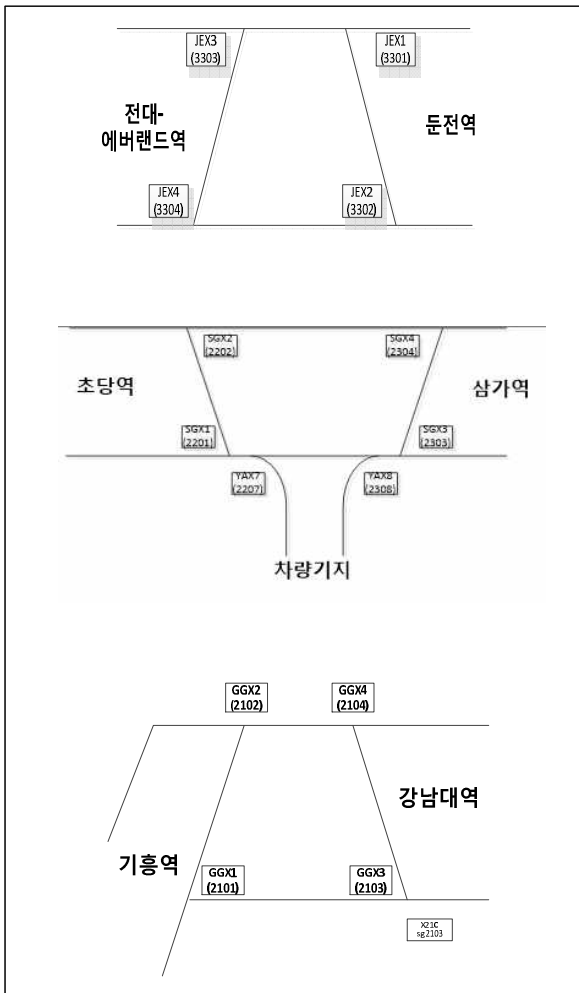


Fig. 13 용인 경량전철 선로전환기 설치 구성

## 2.3 선로 전환기 고장 예측 시스템 개발

용인 경량전철 및 부산 교통공사 2호선에 설치된 침목형 선로전환기의 고장발생에 대한 주요 고장은 초기 선로전환시 불일치 되고 수번 반복시 일치되는 현상을 보이고 있다. 영업운전이 종료된 후 점검을 수행시 정상적인 현상이 반복되어 고장분석에 어려움이 있었다. 점검을 위하여 침목형 선로전환기 EBI Switch 2000 모델의 특성을 파악하기 위하여 전기적 특성을 측정된 결과 다음과 같은 부하 패턴을 보이는 것을 발견하였다.

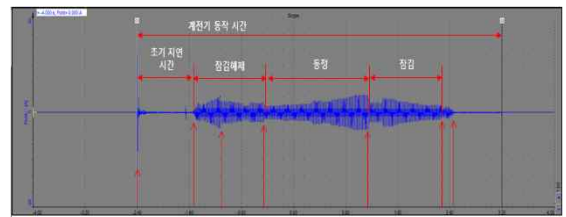


Fig. 14 FC(주파수변환기)의 입력 전류량 측정 파형

Fig. 14는 FC(주파수변환기)의 입력의 전류량을 측정된 파형을 나타낸다. 선로전환기의 구간별 동작에 특정한 패턴이 존재하는 것을 파악하여 기계적인 특성과 융합하여 전류량 및 패턴에 대한 기준값을 정의하고 정상 범위를 선정하여 측정값을 실시간으로 분석하고 유지 보수자에게 보고되어 특별 예방정비를 수행하도록 한다.

### 2.3.1 계측 시스템 개발

계측시스템은 전류센서와 계측기를 이용하여 개발하였고 계측된 자료는 분석을 자동화하기 위하여 PC 기반으로 구성하였다.

계측기로 계측된 자료는 분석하기 위하여 다음과 같이 데이터 변환을 하여 표본화하고 자료를 저장 후 분석 및 진단하여 오류 발생시 계측 원본자료를 확인할 수 있게 하였다.

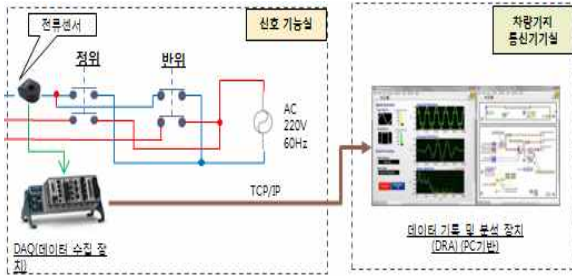


Fig. 15 계측데이터 실효치 변환 표본추출

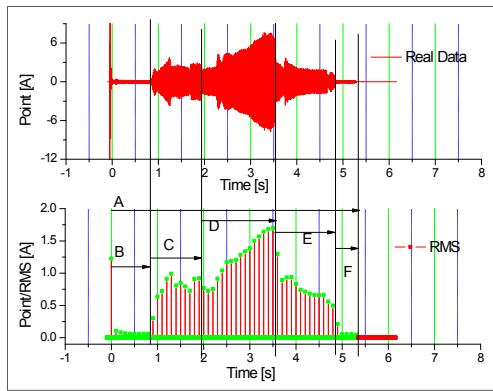


Fig. 16 계측 자료 변환

### 2.3.2 고장 진단 및 예측

구간별로 수집된 자료는 전류량, 패턴, 레일의 밀착 검지 정보의 4가지 정보를 분석하여 고장의 종류를 예측한다.

전류량에 대한 진단은 예를 들어, Fig. 18에서 B구간은 FC(주파수변환기)의 자가진단 구간이다.

구간에서 시간은 300ms로 정의하고 범위는  $\pm 20\text{ms}$ 이다. 자가진단 구간동안 전류값은 0.2A 이하가 정상 범위이나, 전류값이 초과를 한다면 FC (주파수변환기)의 제어회로에 문제가 발생한 것으로 판단하고 교체를 권고하게 된다.

패턴에 대한 진단은 구간에서 측정된 표본값이 이전 표본보다 높거나 낮은 패턴을 정의하게 된다.

이는 모터의 구동부분의 기계적 결함(잠김 해제 및 잠김 구간일 경우)이 발생하거나 동정 시 레일 이동에 대한 기계적 결함을 진단하게 된다. 다수의 구간에서 패턴의 불일치가 발생된다면 모터의 특성이 변화됨을 진단하고 진단결과에 따라 점검한다.

레일의 밀착 검지 정보는 Detection unit의 리미트 스위치의 검지의 상태변화 시점의 시간과 동정구간의 시작 시점과 종료 시점과 비교하여 시간이 짧게 되면, 리미트 스위치의 유격이 작아 열차 통과 시 진동에 의하여 검지 상태가 변화되어 열차 운행에 영향을 받을 수 있어서 유격 조정을 권고하게 된다.

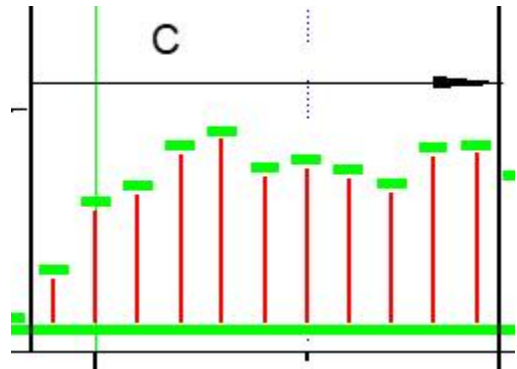


Fig. 17 표본화된 패턴

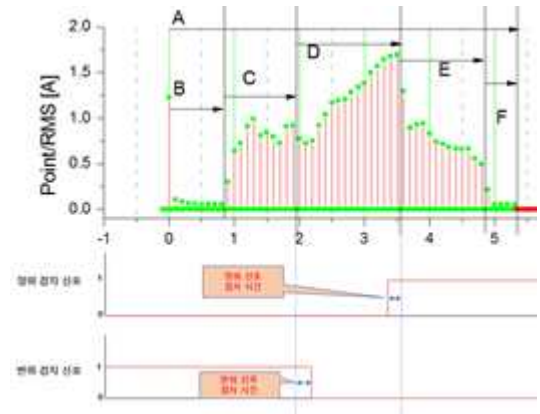


Fig. 18 표본화된 패턴의 동작신호검출

레일의 밀착 검지 정보는 Detection unit의 리미트 스위치의 검지의 상태변화 시점의 시간과 동정구간의 시작 시점과 종료 시점과 비교하여 시간이 짧게 되면, 리미트 스위치의 유격이 작아 열차 통과시 진동에 의하여 검지상태가 변화되어 열차 운행에 영향을 받을 수 있어서 유격 조정을 권고하게 된다.

### 2.3.3 유지보수에 대한 신뢰성 확보

이와 같이 실시간으로 계측을 하면, 점검 전 파형과 점검 후 향상된 파형을 확인할 수



있다. 점검 후 점검에 대한 신뢰성을 확인하여 점검자의 실수를 계측된 자료를 통하여 방지할 수 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 침목형 선로전환기에 대한 부하 전류 파형이 동작별로 정형화된 패턴을 발견하여 이를 고장 분석과 고장 원인에 대한 진단을 수행하는 개발을 진행하였다. 기계적 특성이 선로전환기 개소마다 차이점이 있으나 개소별로 정의 값을 설정하게 된다면 해결될 것으로 보인다.

선로전환기의 고장은 열차운행에 심각한 영향을 미치는 장치이다. 실시간으로 계측된 자료를 활용하여 예방정비에 활용한다면 고장률 감소에 효과가 있을 것으로 판단되며, 현재 용인 경량전철 1개소에 설치하여 활용한 결과 고장률 감소에 효과가 있는 것으로 나타났다. 향후 설치 개소를 확대하여 실시간 계측 자료 및 고장률 감소 데이터를 수집하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

[1] 용인 경량전철 선로전환기 유지보수 지침서

(한국철도학회 정기학술대회 Full Paper  
-Template 작성일: 2018.6.28)