

고속열차 주행 안전성 시험을 위해 시뮬레이터로 구현한 대차 불안정 센서

Bogie instability sensor using simulator for movement safety of the high speed train

최권희*
Choi, Kwon-Hee

김국진**
Kim, Kuk-Jin

이병원***
Lee, Byung-Won

이종우****
Lee, Jong-Woo

ABSTRACT

The bogie of Rolling Stock is the basic rolling component. It operates the train body, guides the body considering various tracks and offers comfort to passengers.

We can verify the safety level of bogie about all factors through the first -grade scenario of Preliminary Hazard Analysis, but especially the horizontal acceleration sensor, equipped in each power bogie and trailer bogie, is the device, which makes it possible to test bogie instability and uncomfortable body movements by the method, similar to actual train driving, and in this context the necessity of this device becomes important. This paper would classify the main functions of driving sub system and examine the reliability, availability, maintainability and safety, which are main factors of RAMS. Especially, we would realize the bogie instability sensor with a simulator and offer the content in analyzing the data by the statistical method, which are obtained through the connected test with OBCS.

1. 서론

철도차량의 대차는 기본적인 회전부이다. 차체를 움직이며, 다양한 궤도 조건에서 차체를 인도하고 승객에게 안락감을 제공한다. 대차의 안전 수준은 액슬박스 과열감지, 대차 불안정 감지, 트리포드 절손감지, 차축 잠김 감지 등 주행 안전에 영향을 미칠 수 있는 모든 기능을 전기적으로 획득하여, 차상 컴퓨터제어장치(On-board Computer System, OBCS)에서 판단한다. 즉, OBCS는 이들 신호를 영구적으로 감시하여 기관사가 조작절차를 적용할 수 있도록 관련 정보를 제공하는 역할을 담당한다.

대차의 안전 수준은 예비 위험 분석(Preliminary Hazard Analysis) I등급 시나리오를 통하여 모든 항목에 대하여 확인할 수 있지만, 특히 각 동력대차와 객차대차에 설치되어 있는 횡가속도 센서는 대차 불안정(bogie instability) 또는 불안정한 차량 움직임(uncomfortable body movements)을 실제 차량의 주행과 거의 유사한 방법으로 시험할 수 있는 장치의 필요성이 대두되었다[2].

본 논문은 주행 서브시스템의 주요 기능을 분류하고, RAMS의 기본 항목인 신뢰성과 안전성에 영향을 미치는 차축과열감지, 트리포드 절손, 대차 불안정 감지 기능을 살펴보고자 한다. 특히 대차 불안정 센서를 시뮬레이터로 구현하여 OBCS와의 연계시험을 수행하는 방법을 제공하고자 한다.

* (주)로템, 기술연구소, 기술사/선임연구원, 정회원

E-mail : khchoi@rotem.co.kr

TEL : (031)460-1205 FAX : (031)460-1787

** (주)로템, 기술연구소, 공학박사/수석연구원

*** 한국철도공사, 수도권차량관리단, 차장

**** 서울산업대학교, 철도전문대학원 철도전기신호공학과, 교수

2. KTX 차량의 주행 서브시스템

2.1. 주행 서브시스템의 기능

그림 1은 KTX 열차의 주행(movement) 서브시스템의 기능 블록 다이어그램을 보인 것이며, 주요 기능은 다음과 같이 분류된다[1].

- F1 : Body에서 레일로 가해지는 수직, 종방향 및 횡방향 하중 전달
- F2 : 전기 견인/제동력 (구동 대차에만 해당)
- F3 : 차륜/레일간의 접촉 제공
- F4 : 승객의 안락함 보장
- F5 : 기계적 제동력 전달

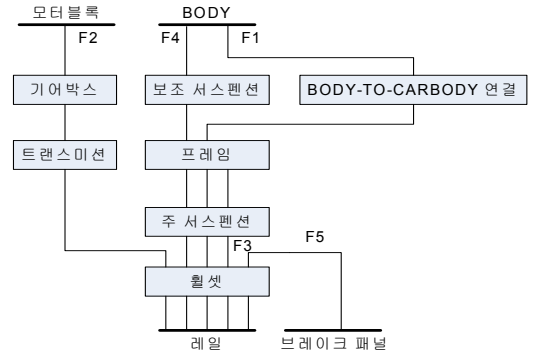


그림 1 주행 서브시스템 기능

주행 서브시스템의 기능 중에서 차축과열감지(지상장비로 감지)는 열차의 제어안전장치로써 열차 운행중 차축에 압입되어 있는 차축 베어링이 손상되면, 과도한 마찰로 인하여 베어링부의 온도가 상승하고, 차축 변형 및 파손으로 인하여 탈선사고가 일어날 수 있다. 이를 미연에 방지하기 위하여 선로변에 약 50km 간격으로 차축발열 감지기가 설치되어 있으며, 검지온도가 70℃에 이르면 단순경보(Simple Alarm)을 CTC로 전송하고, 90℃ 이상이면 위험경보(Danger Alarm)을 차량으로 전송하여 운전실에 고장 램프를 점등시키고 신호사령실(CTC)로 이를 경보한다[3].

또한, 견인전동기와 대차 사이의 전동기 토오크의 전달은 트리포드 동력전달장치를 통하여 이루어진다. 이 동력전달장치는 양 단에 유니버설 조인트와 대차의 중심부에 대한 차체의 편향성을 흡수하는데 이용되는 슬라이딩 요소로 구성되어 있다. 기어감속기 출력기어와 동력차축 입력기어 사이의 모터 토크 연속성의 결핍(절손)을 지속적으로 감지하는 전자 보호장치와 손상된 동력전달장치(전동축)가 회전하는 동안 발생된 불균형을 주어진 시간경과 후에 감지하는 기계 보호장치 그리고 대차축 비회전이 감지되거나 비회전 고장수리 비트가 활성화되어있고 속도가 일정 속도 이상이면 운전실 데스크의 램프가 점등될 수 있도록 차장컴퓨터제어장치를 통하여 정보를 제공한다. 이외에도 대차 불안정감지, 속도 측정용 타코센서 등 대차의 작동상태를 모니터링 하는 신호가 있으며, 본 논문에서는 대차 불안정 감지 센서를 시뮬레이터로 구현하는 방법에 대해서 제안 한다.

2.2. 신뢰성 블록 다이어그램

주행 서브시스템의 신뢰성은 대차가 선로에서 이탈하면 미션이 상실되고, 하나 이상의 보조 서스펜션이 고장나면 승객의 안락성이 상실된다. 이 경우에는 열차의 속도를 줄이는 것이 모든 기술문서에서 권장되고 있다. 또한, 보조 서스펜션이 고장나면 미션이 상실된다고 보수적인 가정에 기초하고 있다. 이와 같은 전제 조건으로 주행 서브시스템의 신뢰성 블록 다이어그램을 도시하면 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

신뢰성 블록 다이어그램에서는 대차를 하나의 유닛으로 간주하고, '휠셋(wheel set)' 블록은 각각 2개의 휠셋으로 이루어진 23개의 유닛으로, 그리고 '트랜스미션(transmission)' 블록은 2개의 트랜스미션으로 이루어진 6개의 유닛으로 간주한다. 이와 같은 신뢰성 블록 다이어그램에서 성능 예상치는 직렬 구성 공식으로 평가되며, 이에 따른 예상 MKBSF는 970,000km이다[1].

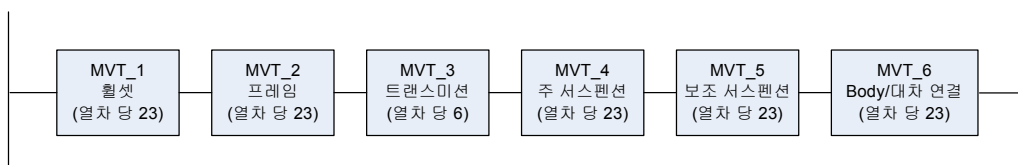


그림 2 주행 서브시스템의 신뢰성 블록 다이어그램

3. KTX 대차 불안정 감지 방법

3.1. 대차 불안정 센서 설치위치 및 기능

그림 2는 대차 불안정 센서의 인터페이스 다이어그램을 보인 것이다. 동력대차와 객차대차에 각 1개씩 대차 불안정 센서가 설치되어 있으며, 센서 모듈 출력은 잡음(noise)에 대해 신호 전송이 용이하도록 주파수로 변환되어 차상컴퓨터제어장치(MPU 또는 TPU)로 연결되며, 모든 MPU 장치는 대차 불안정 신호가 고장으로 판단된다든지 불안정한 차량 움직임(uncomfortable body movement)이 발생할 때 차량컴퓨터네트워크를 통해 진행방향의 동력차 MPU로 고장신호를 전송한다.

운전실에 표시되는 대차 불안정 표시램프는 진행중인 열차방향의 운전실에 제공되고, 열차가 270km/h 미만으로 운행하는 동안 표시램프는 활성화되지 않는다. 서비스 유지상태인 열차에서는 대차 불안정 감지 기능이 활성화되고, 표시램프 기능은 활성화되지 않는다. 만일 동력차가 단독으로 운전을 한다면, 대차 불안정 감지 신호와 표시램프 기능은 활성화 된다.

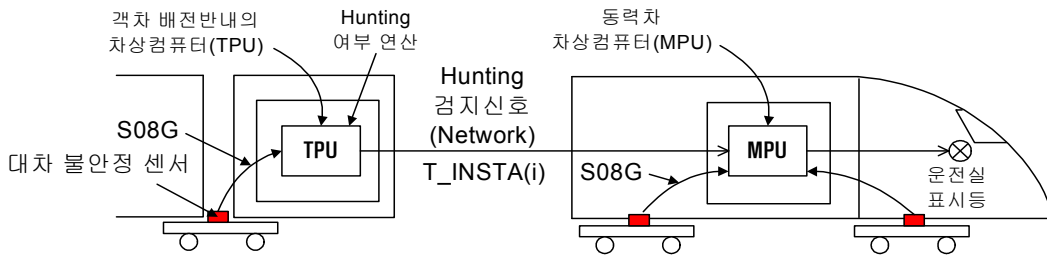
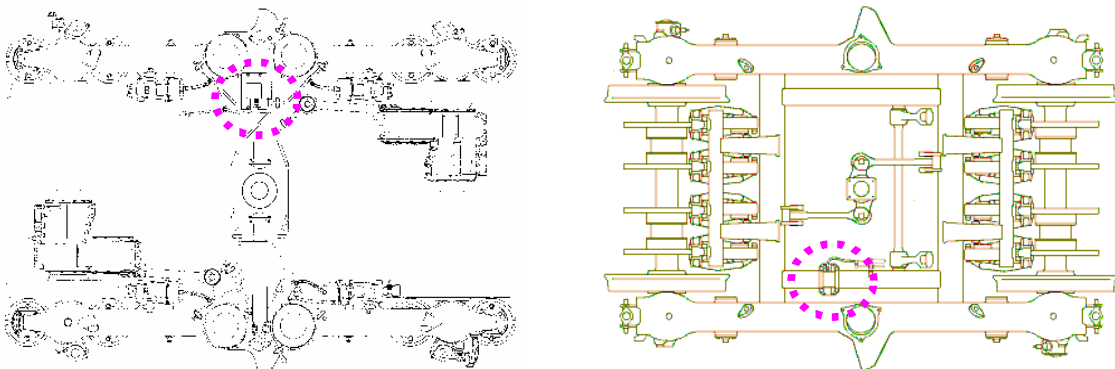


그림 2 대차 불안정 센서 인터페이스 다이어그램

그림 3은 동력대차와 객차대차의 대차 불안정 감지 센서의 설치 위치를 각각 보인 것이다. 각 동력대차 및 객차대차에는 1개의 불안정 감지센서(Instability Sensor)가 설치되어있으며, 대차의 안정성을 감시하고, 안전을 위하여 횡 방향 가속도에 이상이 있을 경우 이것을 감지하여 차상컴퓨터제어장치로 신호를 전송한다. 이 센서는 차량의 속도가 270km/h 이상 일 경우에만 작동하며, 대차의 횡 방향 가속도가 0.8G 이상인 상태로 3.5초 이상 지속될 때 차상컴퓨터제어장치에 의해 고장신호가 발생한다. 이 신호에 의해 운전실에는 대차 불안정 표시등이 점등되며, 차상컴퓨터제어장치에 고장코드가 기록된다. 이때 기관사는 차량의 속도를 270km/h 이하로 감속하여야 한다.



(a) 동력대차

(b) 객차 대차

그림 3 대차 불안정 감지 센서 설치 위치

3.2. 대차 불안정 감지 센서 특성

대차 불안정 감지 센서는 정상상태에서 45kHz~55kHz의 구형파가 출력되며 횡가속도가 0.8G 이상을 초과하면 주파수가 이 범위를 벗어나도록 설계되어 있다.

3.3. 대차 불안정 감지 신호 처리 알고리즘

차상컴퓨터제어장치의 변수명이 TRAINSP(열차속도), SP270(270km/h 속도한계), S08_Bg(j)(대차 불안정 보드에 의해 제공되는 램프점등 요구 신호), T_INSTA(j)(대차 불안정 인지 네트워크 신호)라 할 때 대차 불안정 상태전이 다이어그램은 그림 5(a)와 같고, 대차 불안정 인지 속도 영역은 그림 5(b)와 같다. 그림 5(a)의 상태전이 다이어그램은 그라프셋(Grafcet) 또는 패트리넬(Petri Net) 등을 사용하여 동적 특성으로 나타낼 수 있지만, 본 논문에서는 간단하게 의사코드만을 아래와 같이 기술하였다.

대차 불안정 미발생 상태

T1 전이:

속도가 270km/h 이상이고 대차 불안정이 채널 j에서 존재하면: [SP270] and [S08Gj]

대차 불안정 존재 상태로 전환된다.

대차 불안정 존재 상태

T2 전이:

속도가 270km/h보다 작거나 채널 j에서 대차 불안정이 존재하지 않으면:[not SP270] or [not S08Gj]

대차 불안정 미발생 상태로 전환된다.

T3 전이:

3.5초 후에 [T01_D041],

속도가 270km/h 이상이고 대차 불안정이 채널 j에서 존재하면: [SP270] and [S08Gj]

TRANS_INSTAB 상태로 전환된다.

TRANS_INSTAB 상태

초기 상태:

대차 불안정 채널 j M(T_INSTAj)

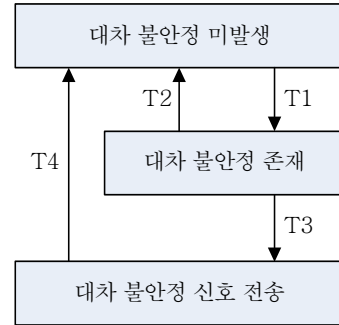
T4 전이:

속도가 270km/h보다 작으면: [not SP270]:

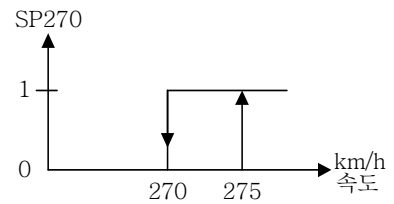
NO_INSTABILITY1 상태로 전환된다.

최종 상태:

대차 불안정 채널 j 종료 D(T_INSTAj)



(a) 상태전이 다이어그램



(b) 대차 불안정 인지 속도 영역

그림 5 대차 불안정 신호 상태도

3.4. 시험 시나리오 구현

대차 불안정 감시 센서의 시험 시나리오는 2004년 KTX 개통시 발생되었던 문제점을 해결하기 위해서 측정한 실제 차량의 데이터를 기준 자료로 사용한다. 주로 280~300km/h 속도영역에서 대차 불안정 센서가 동작하였고, 이때 차량은 270km/h 이하로 감속운행 하였다.

그림 6은 천안아산-광역역 구간(상행선)을 운행 하는 KTX 19편성 열차를 시험대상으로 6번 대차와 7번 대차에 횡가속도를 설치하여 측정한 파형을 보인 것이다[2].

그림 6에서 알 수 있듯이 일정한 구간에서 6번 대차에서 불안정 신호가 감지되고 있으며 이때 열차속도는 270km/h이하로 감속운행하고 있음을 알 수 있다.

따라서 시험 시나리오는 서울기점(KP)으로 부터의 열차속도 패턴을 데이터베이스로 구축하고 임의의 구간에서 강제적으로 대차 불안정 신호를 인가하여 차상컴퓨터제어장치가 주어진 시간내에 반응하는지를 확인하는 방법과 다수의 대차 불안정 신호가 동시 다발적으로 발생하였을 경우, 차상컴퓨터제어장치가 어떠한 반응을 일으키는지 등에 대하여 확인할 수 있다.

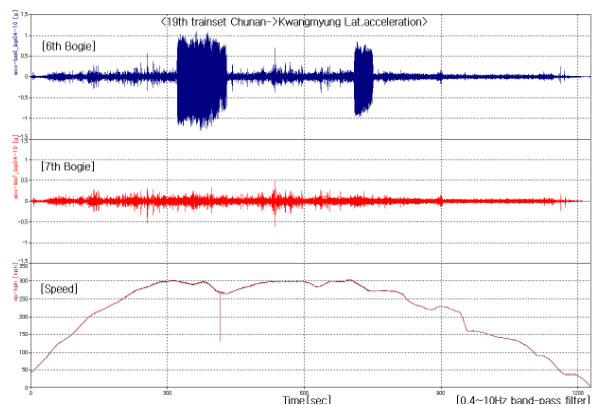


그림 6 KTX 19편성 대차 불안정 측정 시험

4. 시뮬레이터로 구현된 대차 불안정 감지 센서

그림 7은 대차 불안정 감지 센서를 시뮬레이터로 구현한 그림을 보인 것이다. 대차 불안정 감지 센서는 정상상태에서 45kHz~55kHz의 구형파가 일정하게 출력되도록 센서모듈이 구성되어 있다. 시뮬레이터는 대차 불안정 신호를 생성하기 위해 구형파 발진기와 위상동기 루프(Phase Locked Loop, PLL)를 사용하여 45kHz~55kHz의 구형파를 만들고, 이 신호를 Line Driver를 통하여 차상 컴퓨터 제어장치와 연결한다.

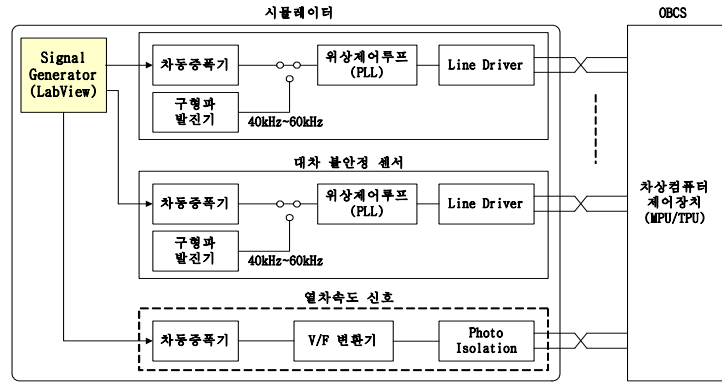


그림 7 시뮬레이터로 구현한 대차 불안정 감지 센서

또는 LabView 소프트웨어로 구성된 신호발생기(signal generator)를 사용하여 구형파 주파수를 선형적으로 가변할 수 있도록 하였다. LabView 소프트웨어를 사용함으로써 신호를 임의적으로 생성할 수 있을 뿐만 아니라 실제 차량에서 측정된 대차의 횡가속도 신호를 데이터베이스화하여 실제 센서 모듈과 유사하게 신호를 재현할 수 있다는 것이 특징이다.

5. 시험 및 검증

대차 불안정 신호를 발생하기 위해 열차속도 입력을 270km/h 이상(약 3000Hz), 대차 불안정 신호를 40kHz~50kHz 범위로 인가했을 경우, 차상컴퓨터제어장치 전면부 LED가 점등되고, 하이퍼터미널을 사용하여 고장코드를 확인(C1-28-01)한 결과 3.5초 후 고장코드가 정상적으로 기록되었고, 운전실 표시램프 구동용 디지털 출력신호(OM_IBBO01, OM_LSIBBO01)가 정상적으로 동작하고 있음을 확인하였다. 다수의 대차 불안정 신호를 독립적으로 발생하였을 경우에도 3.3절의 신호 처리 알고리즘에 따라 차상컴퓨터제어장치가 실제 차량에서와 같이 신호를 오류 없이 판독함을 확인하였다.

6. 결론

시뮬레이터에 의해 구현된 대차 불안정 감지 센서는 정상상태에서 45kHz~55kHz의 구형파 신호를 실제 차량의 조건과 같이 신호를 발생하고 있었으며, 횡가속도가 0.8G 이상을 초과하는 주파수에 대해서도 이상 없이 동작하고 있었음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] 철도시스템 RAM 관리체계 구축을 위한 기반연구 참고자료, 한국철도기술연구원, 2005.12
- [2] K.W.Lee(2004), The final report on KTX bogie lateral acceleration test, Rotem Company
- [3] 고속철도차량 고장코드 설명서, KTX 고양고속철도관리단, 2005.8
- [4] Control System Specification, "Monitoring Bogie Hunting", K611-1-E1222-RL+ T-041/D
- [5] Software Specification, "Monitoring Bogie Hunting", K611-1-E1301-RL+ T-009/D
- [6] Cab Software Specification, "Monitoring Bogie Hunting", K611-111415-E1200-RE-00+ T-041/E
- [7] Trailer Software Specification, "Monitoring Bogie Hunting", K611-13X2AB-E1200-RE-00+ T-041