

## 철도차량 윤축 베어링 피로결함 모델기반 조기감지 기술 개발

**Put the English Title of Paper Here (Centered) by Using Boldface**

임종순<sup>†</sup>, 조용범, 김세용, 이태균, 임준식

Jongsoon Im<sup>†</sup>, Yongbum Choi, Seyong Kim, Taekyun Kim, Junsik Im

**Abstract** This thesis suggests algorithms consisted in an appropriate shape for commercializing by applying several vibration signal interpretation which can provide early detection of fatigue defecting of axle bearing of train vehicle. We developed reliable deflection detecting method excluding disturbance factors occurred by driving environment through frequency analysis methods especially envelopment analysis. Also we developed all-day monitoring system by programming the diagnosis method applicable for train vehicle. We verified effectiveness of the algorithm by performing vibration analysis for both normal bearing and defected bearing and applying developed monitoring system on test simulator.

**Keywords :** Model Base, Axle Bearing, Spalling, Envelope Analysis, Monitoring System

**초 록** 본 논문에서는 철도차량 윤축 베어링의 피로결함을 조기에 검출할 수 있도록 진동신호 해석방법을 활용하여 상용화에 적합한 형태로 구성한 알고리즘을 제안하였다. 베어링의 손상에 의해 발생하는 신호를 주파수 분석기법을 통해 주행환경에 의해 야기될 수 있는 외란요인을 배제하여 신뢰성 있는 결함 감지 방법을 개발하였다. 철도차량의 특성에 맞는 진단방법을 프로그램화고 이를 장착하여 상시 모니터링을 할 수 있는 상용모니터링 시스템을 개발하였다. 정상상태의 베어링과 결함이 발생된 베어링의 진동분석이 가능한 상사시험기를 제작하고 개발된 모니터링시스템을 적용하여 알고리즘의 유효성을 시험적으로 검증하였다.

**주요어 :** 모델기반, 액슬 베어링, 피로 박리, 포락 해석, 상태감시장치

### 1. 서 론

철도 차량 윤축 베어링은 바퀴가 장착된 회전축을 지지하는 부품으로 사용조건에 따라 많은 영향을 받는데 정상적으로 사용되어도 피로에 의한 결함이 발생하는 것은 불가피하다. 피로 결함은 베어링의 롤로, 내륜 또는 외륜에 흠집이 나타나는 박리(flaking) 손상이 발생하여 주행 중 소음·진동 및 열이 발생될 수 있다. 이러한 소음·진동은 승차감을 감소시키고, 장시간 고속으로 운행할 경우 윤축베어링 내부 온도가 크게 증가시켜 심한 경우 윤축 베어링이 소착되어 대형 사고를 일으킬 수 있다.

롤러 베어링은 핵심부품으로 이에 대한 이상검출 신호 처리 연구는 이미 오래 전부터 많은 연구가 진행되어 왔고 최근에도 보다 효과적인 방법을 찾기 위한 연구를 활발히 진행하고 있다. 먼저 롤러베어링 고장진단을 위해 MSB<sup>(2)</sup>(Modulation Signal Bispectrum)이용하여 넓은 주파수영역에서 고장진단을 쉽게 하는 방법을 비롯하여 여러가지 효율적인 방법이 제안<sup>3-5)</sup>되었다. PCA(Principal Component Analysis)방법을 이용하여 베어링의 고장 심각도 분류를 좀 더 정확히 하는 방법을

<sup>†</sup> 교신저자: (주)글로비즈 연구소 (jmames@globiz.kr) (11 pt)

제시<sup>4)</sup>하였으며, Shock filter 를 이용하여 베어링의 슬립과 중복손상진단을 Kurtosis, Crest Factor, RMS, Peak 방법등과 비교<sup>5)</sup>하였다.

롤러 베어링 이상 검출을 위한 많은 신호 처리 방법이 있지만 대부분 알고리즘 측면의 연구가 주류를 이루고 있으며 실제 주행하는 철도차량에서 윤축 베어링의 이상을 검출하는데 효과적으로 적용할 수 있는 구체적인 방법을 제시하고 있지 않다. 주행하는 차량은 다양한 자연환경 속에서 운행조건에 따른 교란이 발생하게 되는데 이러한 실제 주행환경을 고려하여 신뢰성이 높으면서 효과적으로 실시간 모니터링 및 진단을 할 수 있는 알고리즘 및 구체적인 적용 방안의 제시가 상용화를 위해서는 필수적이다.

## 2. 본 론

### 2.1 축 베어링 피로결함 메카니즘 분석 및 감지기술 개발

#### 2.1.1 철도차량 액슬베어링의 구성 및 피로하중작용 조건

Fig. 1은 철도차량 대차에 장착된 일반적인 윤축베어링의 형상을 나타내고 있다. 피로손상의 대표적인 형태는 내·외륜 및 롤러의 표면에 박리가 발생하는 현상이다.

#### 2.1.2 손상진단을 위한 모델기반 특성함수

주행환경에서는 여러가지 환경요인에 의해 진동에 영향을 줄 수 있다. 주행속도, 주행 위치, 날씨 및 계절 등에 의한 동일한 베어링 상태에 대해 광대역 특성함수가 크게 변화할 수 있다. 따라서 베어링의 역학적 메커니즘을 반영할 수 있는 모델기반의 진동 특성함수를 이용하는 것이 가장 효과적인 방법이다. 주파수분석에 기초한 포락해석에 의한 진동특성 함수를 활용하는 것이 외부교란에 크게 영향을 받지 않는 효과적인 방법이다. 그림2는 포락해석의 과정을 도식적으로 나타낸다.

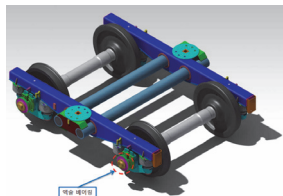


Fig. 1 Axle bearing of a railway vehicle

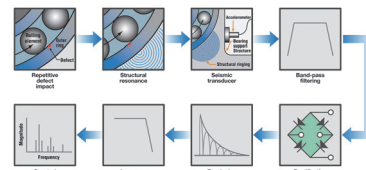
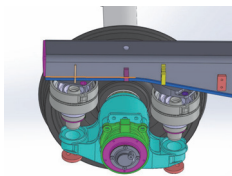


Fig. 2 Envelope analysis scheme

### 2.2 결함 감지 알고리즘

#### 2.2.1 피로손상 결함주파수[1]

포락해석을 통해 구해진 스펙트럼에서 결함주파수의 특성함수 값의 변화를 분석하면 차량운행 조건에 의한 외란에 영향을 받지 않고 피로결함에 의한 손상만을 감지할 수 있다. 다음은 주요 결함주파수를 계산하는 식이다.

$$f_{outer} = \mathcal{N} \cdot \frac{z}{2} \left( 1 - \frac{d}{D} \cos \alpha \right) f \quad (1)$$

$$f_{inner} = \mathcal{N} \cdot \frac{z}{2} \left( 1 + \frac{d}{D} \cos \alpha \right) f \quad (2)$$

여기서,  $f_{outer}$ : outer race fault frequency,  $f_{inner}$ : inner race fault frequency,  $\mathcal{N}$ : fault number,  $z$ :

ball number,  $\alpha$ : ball diameter,  $L$ : ball pitch diameter,  $\alpha$ : contact angle,  $f_r$ : revolution frequency 를 각각 나타낸다[1].

### 2.2.2 알고리즘 흐름도

광대역 특성함수와 포락함수를 이용한 철도차량 액슬베어링 진단 알고리즘은 그림3과 같다. 일차적으로 광대역함수로 결함발생 여부를 검사하는 동시에 3개 주파수 대역에 대해 포락해석을 실시하여 결함주파수의 특성함수를 기준치와 비교하고 적절한 반복이 지속되는 경우 최종적인 결함으로 판단한다. 초기주행에서 학습모드를 통해 주행 속도별로 기준치를 확보하고 경향분석을 위한 데이터베이스 구축이 필요하다.

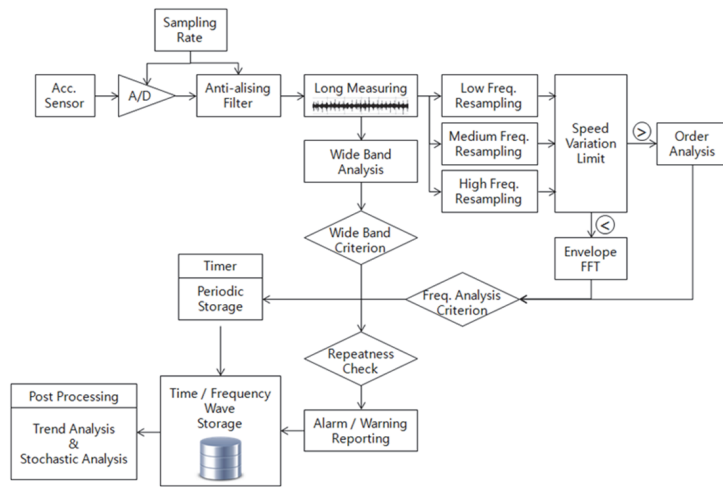


Fig. 3 Algorithm flow chart

## 2.3 모니터링시스템 개발 및 검증시험

### 2.3.1 H/W 및 S/W 개발

Fig. 4는 개발된 글로비즈의 모니터링 시스템 시작품을 나타낸다. DSP 보드를 기반으로 하여 A/D 모듈, 해석모듈 및 통신모듈로 구성되어 있으며 펌웨어는 기본 BIOS 모듈, 임베디드 OS, 및 진단알고리즘 등 전체 H/W의 설계와 펌웨어를 완전 독자개발하였다.



Fig. 4 Prototype of GLOBBIZ monitoring system



Fig. 5 Graphic user interface

### 2.3.2 상사시험 및 시험결과 분석

액슬베어링 진단알고리즘의 유효성을 검증하기 위한 시험을 위해 Fig. 5와 같은 상사시험기를 제작하고 정상상태의 베어링과 외륜에 박리가 발생한 베어링의 진동해석을 수행하였다

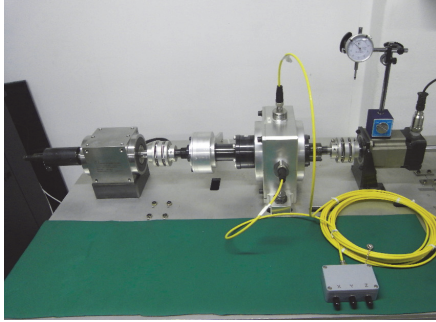


Fig. 5 Graphic user interface

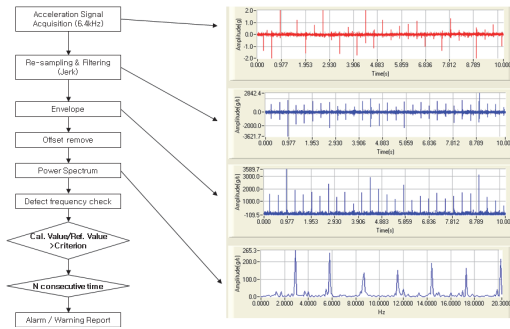


Fig. 6 Test and analysis results

시험결과 Fig. 6과 같이 제안한 알고리즘에 의해 피로결함을 정확하게 감지할 수 있는 것을 입증할 수 있었고 개발된 (주)글로비스 모니터링시스템은 이러한 연구결과를 바탕으로 한 진단로직을 펌웨어로 장착하였다.

### 3. 결론

본 연구에서는 철도차량의 액슬박스 베어링의 피로손상을 실차에서 검증할 수 있는 알고리즘을 제시하고 상사시험기를 이용하여 시험적으로 유효성을 검증하였다. 실제 적용을 위해서 진단 신뢰성을 높일 수 있는 모델기반 진단 알고리즘을 적용하였으며, 다양한 운행환경을 고려할 수 있는 데이터베이스 구축방안을 제시하여 향후 실시할 실차 적용을 위한 방안을 구축하였다.

### 후 기

본 논문은 국토교통과학기술진흥원에서 시행하는 상태기반 스마트 유지보수 핵심기술 개발 연구(과제번호 : 13RTRP-C068243-01) 의 일환으로 수행되었습니다

### 참고문헌

- [1] Tedric Harris (2001), Rolling bearing Analysis, 4<sup>th</sup> Edition, Wiley-Interscience
- [2] Ahmed Alwordai, Tie Wang, Zhi Chen, Fenshou Gu, Robert Cattley and Anndrew ball (2103) A Study of Motor Bearing Fault Diagnosis using Modulation Signal Bispectrum Analysis of Motor Current Signals, *Journal of Signal and Information Processing*, 4, pp.72-79
- [3] Muhammet Unal, Mustfa DEMetgul, Mustafa Onat and Haluk Kucuk (2013) Fault Diagnosis of Rolling Bearing Based on Feature Extration and Neural Network Algorithm, *Recent Advances in Telecommunications, Signals and Systems*, pp.179-185
- [4] Amaz Malhi and Robert X. Gao (2004) PCA-Based Feature Selection Scheme for Machine Defect Classification, *IEEE TRANSACTION ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT*, VOL.53, NO.6, pp.1517-1525
- [5] Bechir Badri, Marc Thomas and Sadok Sassi (2011) A shock filter for bearing slipping detection and multiple damage diagnosis, *INTERNATIONAL JOURNAL OF MECHANICS*, Issu4, Volume 5, pp.318-326