

◆ 특집 ◆ 철도차량 구동장치의 모니터링

IC 센서를 이용한 고속철도차량 구동장치의 무선 온도 모니터링 시스템

Wireless Temperature Monitoring of Driving Gear Unit in High Speed Train Using IC Sensor

권석진^{1,✉}, 서정원¹, 이동형¹, 황지성²
Seok Jin Kwon^{1,✉}, Jung-Won Seo¹, Dong-Hyong Lee¹, and Ji Sung Hwang²

¹ 한국철도기술연구원 고속철도연구본부 (High-speed Railroad Systems Research Center, Korea Railroad Research Institute)

² 현대제철 (Hyundai Steel, Technical Research Center)

✉ Corresponding author: sjkwon@krri.re.kr, Tel: +82-31-460-5249

Manuscript received: 2013.4.5 / Revised: 2013.6.17 / Accepted: 2013.6.21

Driving gear units can be affected by various problems, including those associated with external or internal defects in the bearing, problems with the lubricant oil, high-loading of the railway, and frequent impacts generated by rail joints. Temperature monitoring is a basic method in diagnosing abnormal conditions in the reduction gear and other components. This paper describes a new wireless monitoring system for the temperature diagnosis of abnormal conditions of the reduction gear. Integrated circuit (IC)-type temperature sensors were installed in the reduction gear box of a high-speed railway car. The temperature data from the reduction gear were acquired and analyzed in situ during high-speed rail operation. Analysis of these data was used to alert the driver and/or maintenance personnel when problems occurred.

Key Words: High Speed Train (고속철도), Diving Gear Unit (구동장치), Temperature Monitoring (온도 모니터링), Real Time (실시간), Wireless (무선)

1. 서론

고속철도차량의 구동장치는 차량의 동력을 전달하는 주요 장치이며 기어와 베어링, 내부 윤활 시스템으로 구성되어 있다. 단일 차축당 단일 견인전동기로 구성된 동력 집중식 구동 시스템으로써 견인 전동기와 연결된 1차 감속기, 차축과 연결된 2차 감속기, 그리고 두 감속기를 연결하는 트리포드로 구성된다.¹ 고속철도 차량의 감속기 기어박스는 헬리컬 기어와 평기어 (스피어 기어)가 다단으로 배열된다. 이러한 구동장치의 이상상태

를 모니터링 할 수 있는 온도 모니터링은 일반적인 방법이다.²

구동장치의 온도가 기준치 이상 올라가는 경우, 산화율의 증가와 점도의 감소에 의해 기어와 베어링의 손상에 대한 저항성을 감소시킨다. 독일 뮌헨대학의 기어연구센터의 기어 손상시 온도의 영향에 대한 논문 보고에 따르면 오일 온도에 의해 영향 받는 기어손상은 마모(wear), 피팅(pitting), 스커핑(scuffing), 마이크로피팅(micropitting)이 있다.³

감속기내의 온도의 증가는 1차적으로 감속기내 윤활용 오일의 산화율 증가에 따른 수명의 감소와

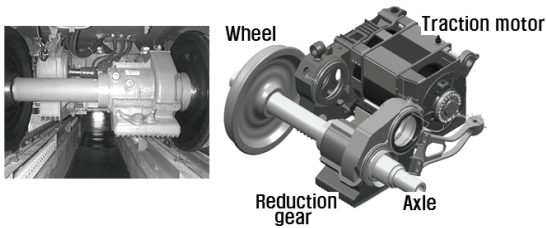


Fig. 1 Driving gear unit for High-speed train

윤활유의 점도의 감소를 가져오며 이에 의해서 2차적으로 점도의 감소에 의한 초기 설계시 고려한 점도를 확보하지 못해 기어와 베어링의 손상을 증가시켜서 주요 구동장치의 수명을 감소시키고 치명적 파괴의 원인된다.^{4,6} 이러한 영향에 기인하여 구동장치의 충격하중 및 반복적인 피로는 장기간에 걸쳐서 발생할 수 있는 이물질 혼입, 조립불량 등의 문제와 복합적으로 기어, 베어링, 기어박스 등과 같은 구동장치의 부품에 경년열화, 마모 및 미세균열 등의 원인이 된다.^{7,9}

철도차량 구동장치의 고장은 차량 운행 정지나 지연을 야기한다. 이와 같이 구동장치의 고장 문제로 야기된 사고는 차량 운행 안정성과 밀접한 관계를 갖기 때문에 구동장치의 온도 상태 모니터링은 중요하다.

이동형^{4,5} 등은 고속차량 구동장치의 온도시험을 실시하였으며 고속철도 운행에 적합한 감속기 개발에 필요한 시험·성능평가 기술을 연구한 바 있다. 감속기어 장치의 무부하 조건에서 윤활유와 온도, 진동 및 소음 등의 측정을 통해 성능평가 하였으나 실제 차량 운행 시에는 감속기의 이상 여부를 확인할 수 있는 모니터링 시스템이나 관련 연구는 진행되고 있지 않다.

고속철도차량 구동장치의 이상상태 모니터링을 위하여 실시간으로 구동장치의 이상상태를 검출할 수 있으며, 검출 온도의 오차 범위를 고도화 할 수 있는 시스템의 개발이 강력히 요구되고 있다.

본 연구에서는 상술한 문제를 해결하기 위하여, 고속철도차량의 구동장치의 이상상태 진단을 위해 무선 방식의 온도 모니터링 시스템을 구성하여 평가하였다.

2. 구동장치의 온도 모니터링 시스템

2.1 온도센서

Table 1 Technical data of IC sensor

linear current output:	1 μ A/K
wide temperature range	-55 °C ~ +150°C
calibration accuracy	$\pm 0.5^\circ$ C
excellent linearity	$\pm 0.3^\circ$ C
wide power supply range	DC 4 V ~ 30 V

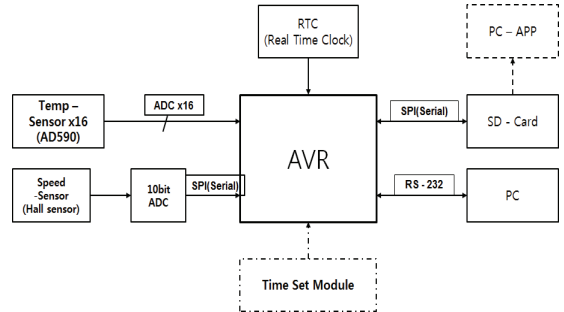


Fig. 2 Schematic of temperature monitoring system

온도 모니터링은 시스템의 이상상태를 평가하기 위해 가장 일반적으로 사용된다. 온도 센싱기술에는 RTD, 열전대, 서모미터(thermistor), IC센서 등의 다양한 센서가 사용된다. 온도 모니터링은 시스템의 설계를 변경하지 않아도 쉽게 설치가 가능하며, 시스템의 상태를 실시간으로 확인할 수 있다. 그러나 온도 모니터링 시스템은 센서의 특성과 부착 위치에 의해 응답성이 떨어질 수 있다. 그럼에도 불구하고 온도 모니터링은 시스템의 신뢰성을 높이는데 많은 도움을 주고 있다. 이들 중 실험에 사용된 온도 센서는 IC-type의 AD590 (Analog Device. 社)으로, 크기는 6.35×2.36 mm이며 Table 1과 같이 IC type의 소형 세라믹 온도 센서로써 절대온도에 비하여 1k(켈빈온도) 변화에 1 μ A의 전류를 출력한다.

2.2 온도 모니터링 시스템의 구성

Fig. 2는 온도센서의 출력단 이후 신호처리 장치의 개요도를 나타낸 것이다. 온도모니터링의 신호처리장치는 전류전압 변환기, AD 변환기(ADC: Analog to digital Converter), 마이크로프로세서(μ -processor), 송신부, 수신부, USB인터페이스장치, 디스플레이 장치로 구성된다.

온도센서(16채널)에서 전류신호 출력 후 증폭기(amplifier)에서 전압 값으로 변환 증폭한 다음 속도 센서에서의 속도신호를 ADC(10 bit)로 변환 후 직렬(serial)통신으로 PC로 전송한다. AVR



Fig. 3 Temperature monitoring system for field test

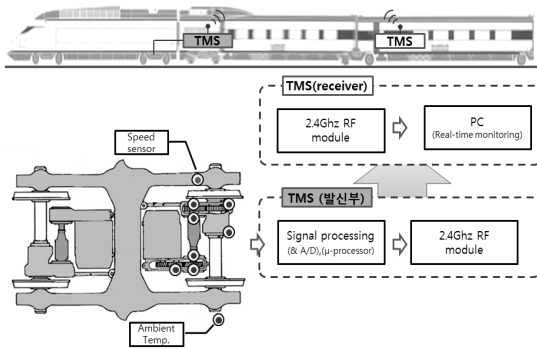


Fig. 4 Locations of temperature sensors in field test

(Automatic Voltage Regulator)에서 전압값(0~5V)을 ADC(10 bit)로 입력 받고, 전압 값을 온도 값으로 변환 연산하여 연산된 온도값 (현재시각, 속도, 온도)은 직렬통신을 통해 SD 카드에 저장하고 연산된 온도값은 RS-232를 통해 PC로 전송후 실시간으로 모니터링 하게 되는 시스템이다.

Fig. 3은 구성된 온도모니터링 시스템이며 온도 센서는 구동장치의 감속기 베어링과 감속기 7곳에 설치하고 1곳의 외기온도를 측정하였으며 무선모듈을 설치하여 Fig. 4와 같이 실차(field test)에 장착하여 온도 모니터링 시스템(TMS: Temperature Monitoring System)의 성능 시험을 실시하였다.

3. 시험방법 및 절차

3.1 측정방법

선형적 온도 특성을 갖는 반도체 온도센서 및 마이크로프로세서를 적용한 신호처리 장치를 이용하여 구동장치의 이상 상태의 감지를 위한 각 부분별 온도 변화를 검토하고, 실제 구동장치에 배치된 센서들을 통해 차량 운행 시 발생할 수 있는 구동장치의 이상 여부를 운전실에 보고할 수 있는

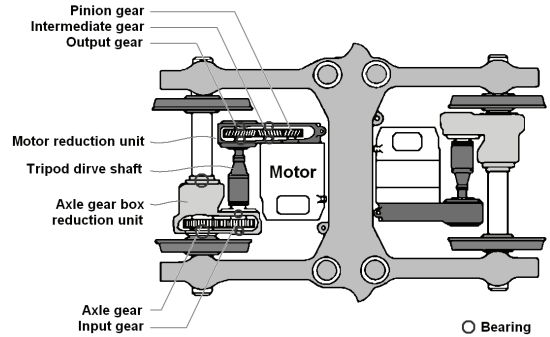


Fig. 5 Installation locations of sensor

이상 검출 기법을 구성하였다.

본 연구에서는 상술한 시스템으로부터 출력되는 온도 신호에 의해 구동장치의 이상 상태를 실시간으로 출력하고, 실제 운행되고 있는 각 노선별로 고속철도 차량에 상술한 시스템을 적용하여 그 유용성을 확인하고자 하였다.

감속기의 베어링 커버에 설치된 온도 센서는 일정 시간(1 sec)마다 구동장치의 온도변화에 따라 선형적으로 전류신호를 출력한다. 이 아날로그 신호는 전류 전압 변환기에 의해 전압신호로 변환 증폭된다. 증폭된 신호는 마이크로프로세서에 내장된 AD변환기에 의해 10 bit의 디지털 신호로 변환되고, 마이크로프로세서는 식(1)에 의해 디지털 신호를 온도 데이터로 변환 계산한다.

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32) \text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15 \quad (1)$$

여기서, T: 섭씨온도(°C), F: 화씨 온도(°F), K: 켈빈 온도를 나타낸다.

3.2 측정위치 및 신호처리

변환된 온도 데이터는 2.4Ghz 수신기 RF모듈을 통해 차량 하부에서 무선으로 차량 내부의 수신부로 송신된다. 수신된 온도 데이터는 USB 통신을 통해 PC로 전송된다. Fig. 3과 같은 컴퓨터에 설치된 온도감시 프로그램에 의해 실시간으로 구동장치의 이상상태를 진단하고 결과 데이터를 저장한다. 온도센서는 Fig. 5와 같이 고속철도차량의 1, 2차 감속기의 베어링 커버 주변에 온도 센서의 부착 위치를 선정하였다.

1차 감속장치의 중간 기어(intermediate gear), 출력 기어(output gear)와 2차 감속장치의 입력 기어

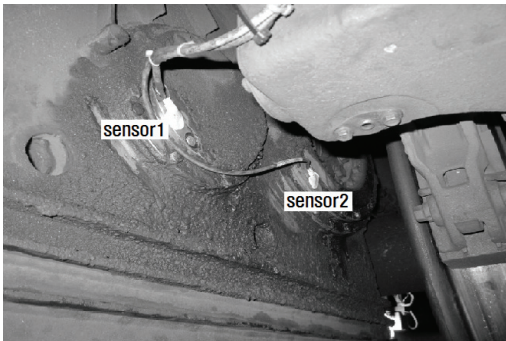


Fig. 6 Temperature monitoring in driving unit

(input gear), 차축과 결합되는 차축기어(axle gear)의 베어링과 가장 가까운 커버에 배치하였다. 또한 차량의 진행방향과 반대방향에 상기 상술한 같은 위치에 한 쌍의 센서를 설치하였다.

온도센서의 입력 전압은 5V이고, 철도 차량이 운행(최고 300km/h)하는 동안 1sec 간격으로 데이터를 획득하였다. 얻어진 온도 데이터는 무선 통신을 통해 컴퓨터에 입력되고, 메모리에 저장된다. Fig. 6은 구동장치에 온도 센서를 설치한 모습을 나타낸다.

4. 시험결과 및 고찰

4.1 호남선 현차시험

온도센서는 고속철도차량의 구동장치를 대상으로 본 연구의 온도모니터링 시스템을 설치하여 기본 성능시험을 실시하였다.

Fig. 7~Fig. 8은 전라선의 동익산역에서 여수엑스포역까지를 상하행을 왕복운행 하면서 고속철도 차량의 구동장치를 대상으로 얻어진 온도 데이터를 나타낸다. Fig. 7~Fig. 8에서 볼 수 있듯이 운행 속도가 증가함에 따라 각 부분의 온도도 모두 상승하였다.

Fig. 7에서 검정색 실선은 철도 차량의 실제 속도를 나타낸다. 구동장치가 일정 온도(25℃, 10시30분 구간)에 도달하기 전에는 차량이 잠시 정차 하더라도 구동장치의 온도(하늘색 실선)는 계속해서 상승하였고, 이후 일정 온도에 도달한 구동장치는 차량이 정차할 때 구동장치의 온도가 급격히 상승하였다.

실제로 고속차량 구동장치는 오일 순환 방식과 자연 통풍 방식의 냉각방식을 채택하고 있다. 이러한 이유에 기인하여 차량이 정차할 경우 자연

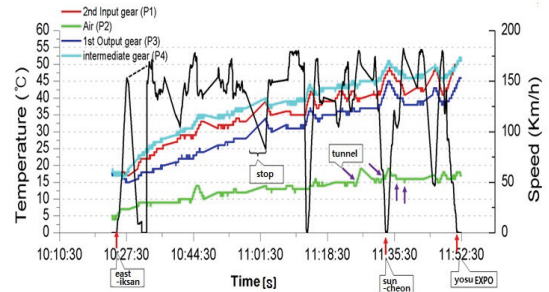


Fig. 7 Temperature monitoring in Honam line (down train)

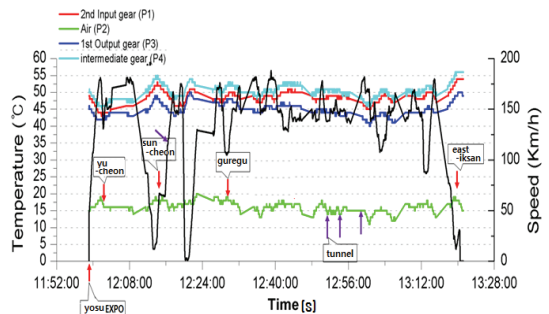


Fig. 8 Temperature monitoring in Honam line (up train)

통풍에 의한 냉각이 이루어지지 않을 뿐만 아니라 견인 진동기 및 각종 구성품에서 나오는 열기가 차량 하부를 맴돌게 되어 더욱 빠르게 구동장치의 온도는 상승한다. 반면에 다시 차량이 출발할 경우 구동장치의 온도는 다시 떨어지게 되고 이와 동시에 차량의 속도 증가에 따른 구동장치에서 발생하는 열과 상충되지만 수렴되어 다시 온도가 상승하는 모습을 나타낸다.

한편, 터널 구간(11시25분 구간)을 지날 때에는 외기 온도(outdoor temperature, 녹색실선)가 상승하였다. 이것은 터널 안쪽의 온도가 바깥 온도보다 높은 것으로 시험이 3월 중순경에 실시되어 나타난 계절적 요인으로 판단된다.

4.2 경부선 현차시험

Fig. 8에서 외기 온도를 측정하기 위해 구동장치 주변 공간 설치한 센서의 위치 때문에 차량 하부의 열기에 노출되어 온도의 분포가 불규칙하였다. 차량의 최대 속도가 200km/h 부근에 이르렀을 때 1차 감속장치의 중간 기어는 55℃, 출력 기어는 45℃를 나타냈으며, 2차 감속장치의 입력 기어

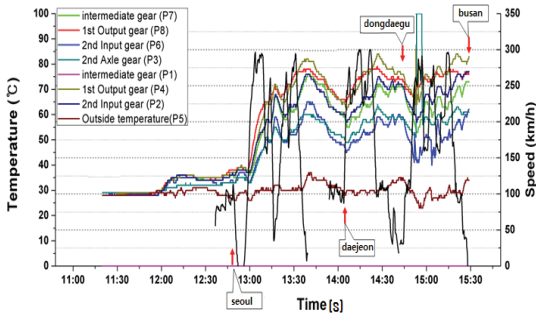


Fig. 9 Temperature monitoring in Gyeongbu line (down train)

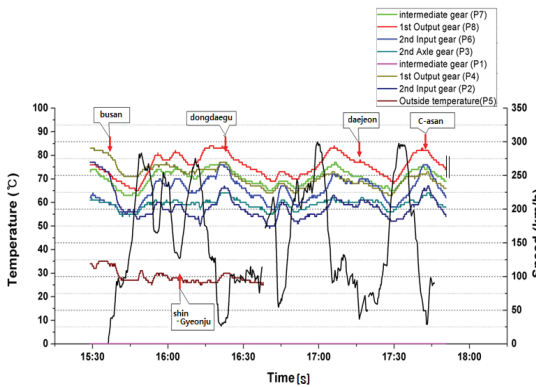


Fig. 10 Temperature monitoring in Gyeongbu line (up train)

는 47°C를 나타냈다. 이때 외기 온도는 약 17°C 정도를 나타내는 결과를 보였다.

Fig. 9는 경부선의 서울역을 출발하여 부산역까지 왕복 운행 하면서 고속차량의 구동장치를 대상으로 얻어진 온도 데이터를 나타낸다. Fig. 9에서 볼 수 있듯이 광명역에서 출발 후 차량이 약 300km/h의 속도로 운행할 때 구동장치의 온도변화는 즉각적으로 이루어지지 않고 약 3분 정도 늦게 온도 변화를 나타냈다.

Fig. 10에서 도착역을 부산역으로 하는 하행선의 경우, 차량이 최고 속도에 도달했을 때 차량의 진행 방향쪽 구동장치의 1차 감속장치의 중간 기어(P1)는 78°C, 출력 기어(P4)는 83°C를 나타냈으며, 2차 감속장치의 입력 기어(P2)는 76°C를 나타냈다. 반면 도착역을 광명역으로 하는 상행선의 경우 다른편 감속기에 설치된 온도 센서에서 높은 온도 분포를 나타냈다.

1차 감속장치의 중간 기어(P7)에서 76°C, 출력

기어(P8)에서 84°C를 나타냈으며, 2차 감속장치의 입력 기어(P6)는 76°C를 그리고 차축 기어(P3)에서는 65°C를 나타냈다. 이때 외기 온도(P5)는 약 30°C 정도를 나타냈다.

따라서 본 연구에서 제시하는 고속철도 차량의 구동장치의 온도 모니터링 기술은 차량의 구동장치에서 발생하기 이전 단계에서 실시간으로 온도를 모니터링하면서 이상상태를 파악할 수 있는 수단을 제공할 수 있다.

5. 결론

본 연구는 운행 중인 고속철도차량의 구동장치의 온도 변화를 무선 실시간으로 모니터링하는 시스템을 구성하여 그 유용성에 대하여 평가하였다.

고속철도의 주요 운행구간인 호남선과 경부선의 상하행시 구동장치의 온도측정결과 정상적인 운행조건하 90°C 이상의 온도를 나타내지 않는 것을 알 수 있었으며 무선으로 온도모니터링을 측정하는 시스템의 유용성을 확인하였다.

또한, 구축된 온도 모니터링시스템을 통하여 고속철도 차량 구동장치의 온도 변화를 분석함으로써 본 연구의 모니터링 시스템으로 구동장치의 기능 이상 여부를 판단할 수 있으며, 일상정비(ES)와 완전분해점검(TBO)시 유지보수의 효율성을 제공할 수 있다.

참고문헌

1. Samsung General, "Handbook of KTX Mechanical parts," 2009.
2. SKF Group 2012, "Railway technical handbook," Vol. 2, 2012.
3. Hohn, B. R. and Michaelis, K., "Influence of oil temperature on gear failure," Tribology International, Vol. 37, No. 2, pp. 103-109, 2004.
4. Lee, D. H., Choi, K. J., Seo, J. W., and Moon, K. H., "Development of Test Method and Evaluation Technology of Reduction Gearbox for Korea High-Speed Train," KRRRI research 2001-18, Paper No. 144, 2001.
5. Lee, D. H., Kwon, S. J., and Seo, J. W., "Test and Evaluation of High Speed Rail System," KRRRI report, 1998.
6. Seo, J. W., Lee, D. H., Kwon, S. J., and Ham, Y. S.,

- “Vibration analysis of gear tooth surface damage using specimen,” Proc. of KSPE Autumn Conference, pp. 981-982, 2012.
7. Kato, H., Iwanami, K., Arai, H., and Asano, K., “Development of a High Speed Shinkansen Bogie,” JR East Technical Review, No. 8, pp. 15-18, 2006.
 8. Rafiee, J., Arvani, F., Harifi, A., and Sadeghi, M. H., “Intelligent condition monitoring of a gearbox using artificial neural network,” Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 21, No. 4, pp. 1746-1754, 2004.
 9. Chen, L., Wu, X., Qin, D., and Wen, Z., “An Experimental study on the transient temperature test of the planetary gear reducer of the EPBM,” Journal of Advanced Manufacturing Systems, Vol. 10, No. 1, pp. 37-44, 2011.