

종합검측차 검측모듈의 차상노이즈 분석

An Analysis of Electric Noise of Railway Electric Inspection Car Measurement Module

박 영* · 권 삼 영* · 조 철 진** · 채 원 규*** · 이재 형†
(Young Park · Sam-Young Kwon · Chul-Jin Cho · Won Kyu Chae · Jae-Hyeong Lee)

Abstract - Recently, various monitoring systems have been proposed to detect interaction performance between trains and infrastructure, as well as, various techniques to improve the accuracy and performance of such inspection equipment in high speeds. Especially, it is important to predict electric noise of high speed trains due to its effect on detection system accuracy. In this paper, we analyze various types of electrical noise in electric vehicles to improve the accuracy of the detection module of the inspection car. In detail, analysis of electric noise of high speed railway is performed as a function of speed based on field tests that were carried out by HEMU-430X (Highspeed Electric Multiple Unit - 430 km/h experiment).

Key Words : Inspection car, Railway infrastructure, Maintenance equipment

1. 서 론

최근 전기철도 차량 및 선로 속도가 400 km/h 이상으로 향상 되고 신규 고속철도 건설이 건설됨에 따라 유지보수를 위한 효과적인 검측시스템의 도입이 요구되고 있다. [1-3] 특히 전기철도 차량은 운행 중 선로구축물과의 상호 연계로 인하여 궤도의 변형, 마모, 결함이 발생되므로 운행 중인 경우에 대하여 차량과 선로간의 특성을 파악하는 것이 필요하다.[4] 일반적으로 철도시스템의 유지보수를 위한 검측시스템은 철도차량에 검측시스템을 연계하여 검측 하는 방식의 기술이며 차량운행 전·후 검측 하는 지상검측시스템과 구분된다.[5] 철도차량 내에서 열차의 운행 중 선로와의 상호운영을 평가하는 기술인 차상검측기술은 열차의 속도에 따라 단계별로 구분이 되어야 하나 디젤엔진 기반의 검측차량과 전기에너지 기반의 전기차량으로 구분된 현재, 국내에서 운용되는 대표적인 검측차량인 Roger-1000K은 최고속도 160 km/h급에 불과하다. 따라서 고속철도의 으로 운영 속도에서 차량 및 선로의 성능판단을 위하여 KTX (Korea Train eXpress)와 같은 고속운영 차량을 이용하여 차상 검측을 수행할 필요성이

있다. 최근 국내에서는 차세대 고속차량인 HEMU (Highspeed Electric Multiple Unit - 430 km/h experiment)의 경우 400 km/h급 이상의 속도로 개발되어 차량과 인프라간 운영성능인 궤도의 틀림, 궤도의 단면마모, 궤도의 결함, 팬터그래프와 전차선간의 동적특성을 고속에서도 검측하는 것이 가능하다. [6] 그러나 전기차량의 경우 디젤 차량과 달리 팬터그래프와 전차선간의 아크, 인버터, 변압기 등의 구동시스템에 의한 다양한 전기적 잡음이 발생되게 된다. [7] 이러한 전기적 잡음은 수 mm 또는 수 um의 목표성능 값을 요구하는 검측시스템의 정밀도를 저하시키고 오류를 발생시켜 검측차량의 기계적 잡음과 구별하여 정밀도 향상을 위한 대책을 수립할 필요성이 있다. 따라서 본 논문에서는 전기차량에서의 다양한 전기적 잡음을 검측하여 분석하였다. 특히 400 km/h 이상에서 운행되는 HEMU 430X에 전류계를 별도로 부착하여 전기차량에서 발생하는 전기적 노이즈를 분석하였다. 본 논문에서 분석된 다양한 전기적 노이즈는 차상 종합검측 차량의 검측모듈의 정밀도 향상에 기여할 것으로 기대된다.

2. 본 론

2.1 전기차량의 전기적 노이즈 검측

본 논문에서는 전기차량의 노이즈 검측을 위해 HEMU- 430X에 장착한 전류계를 이용하여 최고속도 운행에 따른 전류를 검측하여 분석하였다. 시험차량의 운행 중 전류를 검측하기 위해 M4 차량 하부의 1차측 고압선 라인의 센서 지그를 사용하여 전류계를 고정 하였다. 사용된 전류계의 사양은 ±600 A까지 검측이 가능하며 정밀도는 0.5%, 대역폭은 200 kHz, 사용전원은 ±15 V

† Corresponding Author : School of Electronic and Electrical Engineering, Sungkyunkwan University, Korea.

E-mail: jaehyeong@skku.edu

* Dept. of High-Speed Railroad Research Center, Korea Railroad Research Institute, Korea

** School of Electrical Engineering, Korea University, Korea

*** School of Electronic and Electrical Engineering, Sungkyunkwan University, Korea.

Received : March 27, 2015; Accepted : April 29, 2015

DC 이다. 검측 된 전류는 HEMU-430X의 검측 운영시스템과 연계하여 속도, 위치정보를 동시에 검측이 가능하도록 하였으며 그림 1에 전류센서 및 차량 고정사진을 정리하였다.[8]

2.2 HEMU-430X 차량의 전기 노이즈 분석

HEMU-430X는 운행전압 25 kV 및 60 Hz의 주파수에서 동작되므로 호남고속선 운행 중 속도에 따른 전류값을 측정하였다. 검측된 전류는 STFT (Short-time Fourier Transform)를 이용하여 시간에 따른 주파수 변화 특성을 분석하였다. STFT의 연산에 적용된 파라미터는 샘플링 주파수 (sampling frequency) 100 kHz, 256 샘플의 윈도우 크기 (window size) 및 100 샘플의 오버랩 (overlap)을 적용한 Hamming window 그리고 512개의 FFT 샘플 (Fast Fourier Transform point)이다. 그림 2에 시간에 따른 주파수 특성을 나타내는 스펙트로그램을 정리하였다. 스펙트로그램은 그림에서와 같이 주파수에 따른 응답특성을 색상별로 나타내도록 하며, 붉은 색은 높은 강도 (magnitude), 푸른색은 낮은 강도를 의미한다.



그림 1 HEMU-430X 전류센서 사진
 Fig. 1 Picture of current sensor for HEMU-430X

그림 3에 HEMU-430X 호남선 운행에 따른 최고속도가 상이하는 세 번의 시험운행에서 획득한 데이터의 스펙트로그램, 전류, 열차위치 (KP) 및 차량 속도를 정리하였다. 측정 결과에 따르면, HEMU-430X는 운행 조건(역행, 타행, 단전구간)에 따라 다양한 전류 패턴을 보이고 있으며 전류의 주파수 특성 또한 다르게 나타난다는 점을 확인하는 것이 가능하다. 열차 속도가 증가하게 되는 역행 구간에서는 계측되는 전류량은 증가하는 경향을 보이며 저주파 대역에서 고주파 대역까지 다양한 주파수에서 신호가 검출되었다. 반면에 열차속도가 감소하는 타행구간에서는 낮은 전류량을 보이는 것이 관찰되며, 역행구간보다 주파수 성분이 비

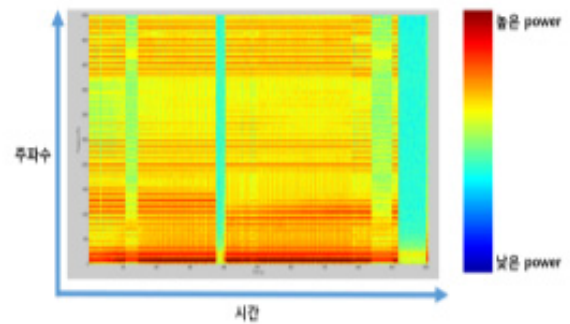


그림 2 시간에 따른 주파수 특성분석 방법
 Fig. 2 Frequency analysis method as a function of time domain

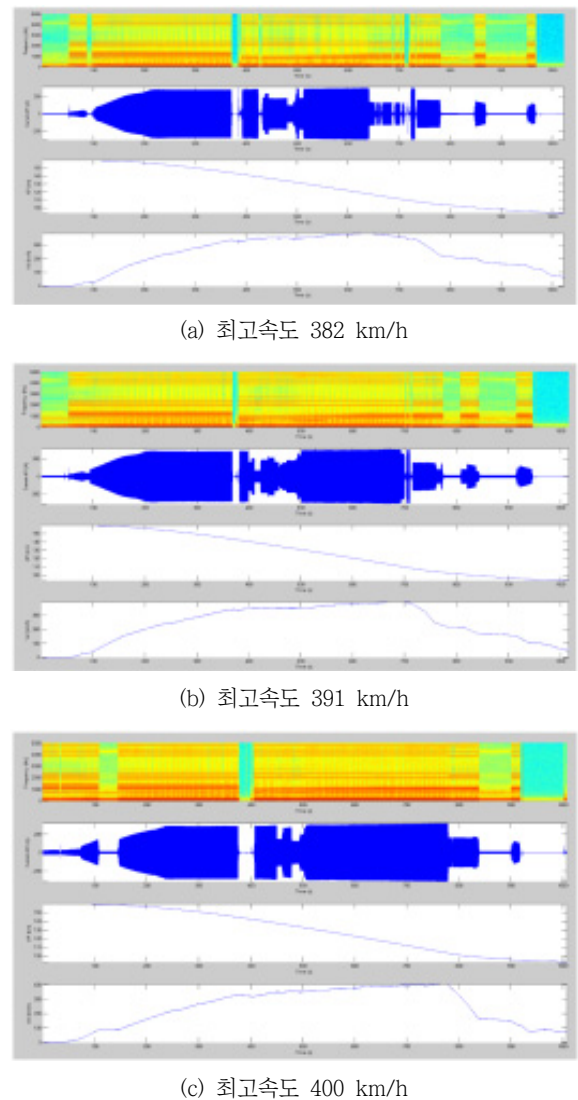


그림 3 속도에 따른 전류 측정값의 주파수 분석 결과
 Fig. 3 Frequency analysis results of measured current value according to the train speed

교적 낮은 검출량을 보인다. 이러한 경향은 HEMU-430X의 운행 속도와 관계없이 유사하게 나타나는 점을 확인하였다.

그림 4에 역행, 타행, 단전구간 등 세 종류의 운행 조건에 따른 주파수의 변화를 정리하였다. 세 운행 조건 모두 대체로 열차에 공급되는 전류의 주파수인 60 Hz 대역에서 높은 에너지가 발생하며, 60 Hz 이외의 대역은 잡음 성분인 것으로 파악할 수 있다. 운행조건에 따른 주파수 성분 분석결과에 따르면, 열차의 역행 구간에서는 1200 Hz 대역과 4000 Hz 대역 부근에서도 강한 신호가 나타나며, 타행 구간에서는 주로 1000 Hz 대역에 신호가 밀집되는 것을 확인할 수 있다. 단전 구간에서는 저주파 대역에서만 낮은 강도의 신호가 검출되는 점을 확인할 수 있다.

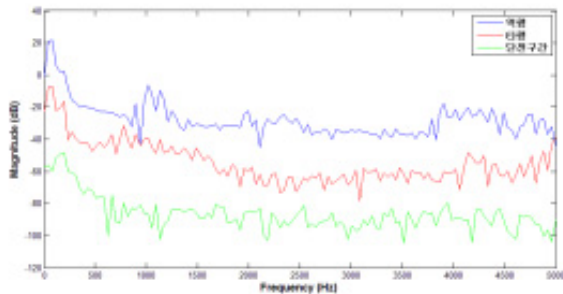


그림 4 운행 조건에 따른 측정값의 주파수 분석 결과
 Fig. 4 Frequency analysis results according to the train operation mode

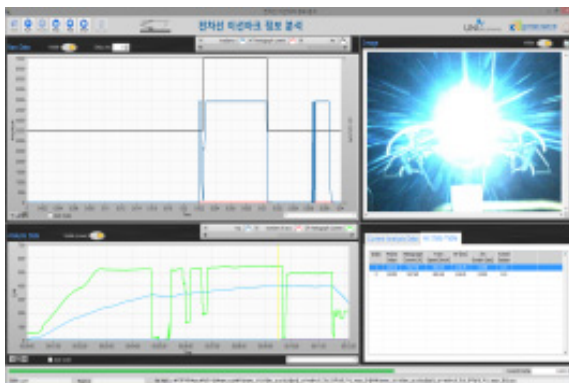


그림 5 이선아크 검측 사진
 Fig. 5 Picture of contact break arc measurement

2.3 전기철도차량의 검측 노이즈 분석

본 논문은 고속철도차량 내에서의 검측시스템의 오류를 최소화하고 정밀도를 향상하기 위해 전기차량의 전기적 노이즈를 분석하였다. 일반적으로 전기적 노이즈는 차량의 운행 전압에 의해 발생하는 주파수와 팬터그래프와 전차선간에 발생하는 아크에 의한 노이즈로 구분이 가능하다. 그림 5에 HEMU-430X 운행에 따른 팬터그래프와 전차선간의 이선 아크 검측 사진을 나타내었다. 그림에서와 같이 팬터그래프와 전차선간의 비접촉에 의하여 아크

가 발생하며 아크 발생 시 아크 영상을 기록하여 육안으로 확인이 가능하도록 시스템을 구성하였다. 또한 발생 시점에 따른 아



그림 6 이선아크 측정시스템 구성도
 Fig. 6 System configuration of arcing measurement system



그림 7 DAQ 장치 아날로그 입력 블록다이아그램
 Fig. 7 Block diagram of analog input for DAQ device



(a) 필터적용 전



(b) 필터적용 전

그림 8 이선아크 검측 결과
 Fig. 8 Measurement results of arcing

크의 광량, 차량 속도 및 발생위치를 기록하도록 되어있다. [9]

본 논문에서는 팬터그래프와 전차선간의 아크 발생에 따른 전기적 노이즈 저감을 위해 아크 검측 시스템에 별도의 필터를 부착하여 노이즈 발생 여부를 실험하였다. [9,10] 그림 6에 HEMU의 이선 아크 측정시스템의 구성도를 정리하였다. 아크 측정 시스템은 아크 신호와 차량의 전류 신호 등을 DAQ 보드로 40 kS/sec로 측정하며, 비디오 영상은 DAQ 신호와 동기화하여 25 FPS로 수집한다. 또한 차량에 설치된 종합 계측장비의 데이터와의 동기화를 위해 종합 계측장비에서 TCP/IP 기반의 NI DataSocket으로 전송하는 속도, 전류 및 KP 신호를 1 kS/sec 로 동시에 수집한다. 여기서 측정한 데이터를 종합하여 실시간으로 이선아크 측정 소프트웨어에서 이선아크 및 비디오 등을 분석할 수 있도록 구성하였다. HEMU에서 사용하는 DAQ 장치의 아날로그 입력 방식은 그림 7에 나타난 것과 같이 구성되어있다. 대체널 동시샘플링이 가능한 16bit 해상도와 최대 +/- 42 V 범위를 1MSample/sec 까지 데이터 수집이 가능한 스펙으로 구성되어 있다. AC/DC 커플링이 가능할 수 있도록 회로가 구성되어 있으며 특히 소프트웨어적으로 활성화가 가능한 안티에리어싱(anti-aliasing) 필터를 별도로 구성하였다. 안티에리어싱 필터는 5-pole Bessel 필터로 컷오프 주파수는 100 kHz 이다. 그림 8에 필터 적용 전과 후의 이선아크 결과 값을 정리하였다. 그림에서와 같이 안티에리어싱 필터가 적용된 후 고주파수 노이즈가 완전히 제거되어 팬터그래프와 전차선간의 운행 중 발생하는 아크와 전류 노이즈가 최소화 되었다.

3. 결 론

본 논문에서는 고속철도차량 내에서의 검측시스템의 오류를 최소화 하고 정밀도를 향상시키기 위해 전기차량의 전기적 노이즈를 분석하였다. 특히 고속철도차량에서 전류계를 이용하여 계측된 팬터그래프의 입력 전원의 주파수 분석을 통해 다양한 분석을 수행하였다. 또한 입력전원 노이즈 이외에 전기철도차량에 복합 발생하는 아크에 의한 잡음 저감하기 위해 아크검측 시스템에 필터를 적용하였다. HEMU 430X 전기적 노이즈 분석 결과 공급전원의 주파수인 60 Hz 대역의 신호 외에 저주파에서 고주파 대역까지 다양한 대역에서 잡음 성분이 검출되었다. 특히 운행 중 발생하는 복합 노이즈로 인하여 60 Hz 미만에서 잡음 성분이 강하게 검출되었으며 안티 에리어싱 필터를 적용한 결과 아크 검측 시스템의 노이즈를 최소화 시킬 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원이 시행하는 철도기술개발사업 “고속 궤도 검측 모듈 개발”에서 수행된 내용입니다.

References

- [1] T. H. Lee, S. W. Kim, “Development of HEMU 430X and its testing plan”, Electrical World of KIEE Vol. 62, No.6 2013.06.24.-29
- [2] S. S. Kim, C. S. Park, “High Speed Rail Measurement System of HSR-350x”, Journal of the Korean Society for Railway Vol. 11, No. 2, pp. 115-119 2008.
- [3] Y. Y. Lee, S. H. Ryu, B. R. Kim, J. O. Lee, “A Study of Overall Measurement System for the Power dispersed High Speed Railway with 400km/h of Maximum Test Speed”, Spring Conference of the Korean Society for Railway, pp. 1785-1790, 2010.07.
- [4] S. S. Kim, C. S. Park, Y. J. Han, “Technical Trend of Japanese Track Inspection Measuring System”, Spring Conference of The Korean Society of Mechanical Engineers, pp. 1109-111, 2005.05.
- [5] W. B. Koo, C. K. Lee, H. W. Park, K. H. Yang, S. U. Lee, “Development direction for Korea Track management system with analyzing overseas instances”, Spring Conference of the Korean Society for Railway, pp. 64-75, 2007.
- [6] S. S. Kim, Y. M. Kim, Y. J. Han, C. S. Park, “Technical Trend of Track Irregularities Measuring Systems and Its Application”, Spring Conferecne of The Korean Society for Noise and Vibration Enginerring, pp. 139-142, 2005.11.
- [7] J. M. Kim, S. C. Kim, H. M. Kim, “Analysis of conducted EMI source on powering mode of next generation high-speed train”, Annual Summer Cerence of Korean Institute of Electrical Enginerrns, pp. 948-949, 2008.7.
- [8] H. S. Cho, I. S. Han, T. H. Lee, S. W. Kim, Y. G. Kim, “A Study of the Current Collection Characteristics Measurement Methodology for a High-Speed Train”. Autumn conference of The Korean Society for Railway, pp. 3052-3058, 2011.10.
- [9] Y. Park, S. Y. Kwon, Y. H. Cho, K. Lee, C. M. Park, “Analysis of Arcing Measurement System Between Pantograph and Catenary”, Annual Spring conference of Society of electrical facilities of KIEE, pp. 185, 2012.04.
- [10] Y. Park, K. W. Lee, S. Y. Kwon, C. M. Park, J. K. Kim, W. S. Choi “Analysis of Percentage of Arcing between Pantograph and Overhead Contact Line as a Function of Duration of Arc”, The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 63, No.6, pp. 855-859, 2014.

저 자 소 개



박 영(Young Park)

2000년 성균관대 전기전자 및 컴퓨터공학부 졸업(공학석사), 2004년 동대학원 동학과 졸업(공학박사), 2004년~현재 한국철도기술연구원 책임연구원



권 삼 영(Sam-Young Kwon)

1984년 한양대 전기공학과 졸업(공학석사), 2007년 동대학원 동학과 졸업(공학박사), 현재 한국철도기술연구원 수석연구원



조 철 진(Chul-Jin Cho)

2009년 경희대 전자과 졸업(공학학사), 2012년 고려대 전기전자전파공학과 졸업(공학석사), 2012년~현재 고려대학교 영상 정보처리 협동과정 박사과정



채 원 규(Won Kyu Chae)

2013년 동양대 철도운전제어학과 졸업(공학학사), 현재 성균관대학교 전자전기 컴퓨터공학부재학, 한국철도기술연구원학연생



이 재 형(Jae-Hyeong Lee)

1994년 성균관대 전기전자 및 컴퓨터공학부 졸업(공학석사), 1998년 동대학원 동학과 졸업(공학박사), 2001년~현재 성균관대학교 전자전기공학과 교수