전기철도 차량에 대한 극저주파 자계영역의 시간영역 측정 및 스펙트럼 분석

Time-domain measurement and spectral analysis of low frequency magnetic field on board of rolling stock

장동욱† 정상기*
Jang, Dong-Uk Chung, Sang-Gi

ABSTRACT

The measurement of magnetic field is performed AC magnetic field emission density in driver cab and saloon's compartment of rolling stock. In order to measure magnetic-field emission, a three-axial magnetic-field sensor is used and connected to data process system. The AC magnetic field is checked and analysis through BNC output, DAQ cad and notebook PC. The spectral analysis is performed by short time Fourier transform(STFT) for time-domain emission signal.

1. 서론

전기 및 전자 분야의 기술발전으로 인하여 전자기파에 의한 환경영향은 더욱 높아지고 있으며 다양한 시스템의 조합으로 운용되는 전기철도 분야에도 이러한 전자기파에 의한 환경영향이 안전의 측면에서 중요하게 논의되고 있다. 특히 저주파영역에 있어서 전력전자 기술의 발달에 의해서 제어되는 추진장치 시스템은 유효한 방출원으로 되고 있다. 1970이래로 인체에 미치는 전자기 방출 한계를 국제 위원회에서 정의하고 있는 실정이다. 전자파 방출이 인체에 미치는 영향에 관해서는 전자파 방출이 건강에 대하여 보호를 확신하는 적당한 한계 수준의 이하에 다는 것을 보증하는 것이 가장 중요할 것이다.

전자파가 인체에 미치는 영향은 고주파 대역의 경우 체내심부에서 열을 발생시켜 백내장, 생식유전의 이상, 내분비계, 신경계에 대한 영향 등 급성피해를 나타낼 수 있으며, 극저주파는 급성적인 영향보다는 만성적 영향을 나타내며 최근의 연구에 의하면 장기적인 노출에 의하여 백혈병, 뇌종양, 유방암 등의 발생률이 증가된다는 보고가 있다. 이러한 전자파에 인체가 노출되었을 때의 영향을 방지하기 위한 가이드 라인을 ICNIRP((International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 국제비전리방사위원회)에서 제정하였다.

이와 같은 전자파에 대한 영향을 검토하기 위해서 극저주파 영역의 자계를 측정하였다. 극저주파의 측정은 교류 25 kV로 급전 받아 운행되는 전기철도차량에서 실시하였으며, 전기철도차량의 주요 전장품(Converter/Inverter Box, 주변압기, 견인전동기, SIV)이 있는 위치에서 측정하였다. 측정결과를 분석하기 위해서 FFT 및 STFT를 이용하여 주파수 분석을 실시하였다. 또한, 자계측정기에 측정한 결과는 ICNIRP에서 제시한 가이드라인의 만족여부를 검토하였다.

† 책임저자 : 정회원, 한국철도기술연구원, 집전전력연구실, 선임연구원
E-mail : dujang@krri.re.kr
TEL : (031)460-5412 FAX : (031)460-5459
* 정회원, 한국철도기술연구원, 집전전력연구실, 수석연구원

2. 측정방법

자계측정을 위해서 교류 25 kV로 급전되어 운행하는 전기철도차량의 객실 내부에서 측정을 실시하였다. 측정위치는 자계가 많이 발생할 것으로 여겨지는 전장품이 있는 곳으로 하였으며, 컨버터 인버터(C/I box), 주변압기(MTr), 보조전원장치(SIV), 견인전동기(TM)에서 실시하였다. 아래 그림 1의 위치(●)에 자계 측정기를 설치하여 측정 및 기록을 실시하였다.

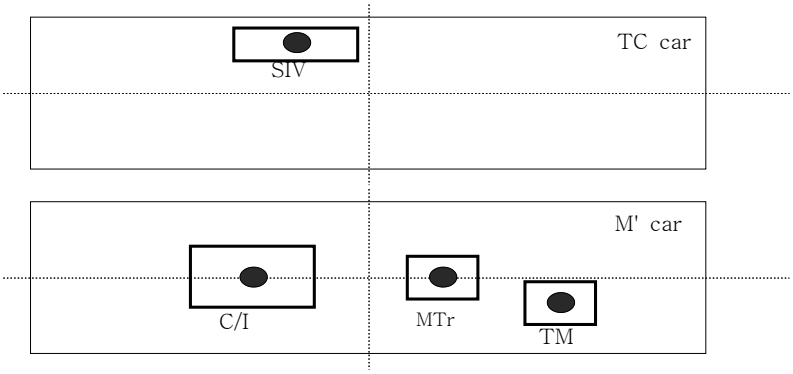


그림 1. 자계측정 위치

자계측정에 사용한 장비는 BMM-3000(Enviromentor)을 사용했으며, 5 Hz~2 kHz까지 측정이 가능하다. 측정기의 센서를 객실내 바닥 60 cm높이에 설치하였으며, 센서로부터 측정된 자계는 자계측정기의 아날로그 출력을 통하여 x, y, z의 삼축에 대한 자계의 순시파형을 기록 및 분석하였다. 그림 2는 자계측정방법에 대한 개략도 및 계측기인 BMM-3000을 나타내고 있다.

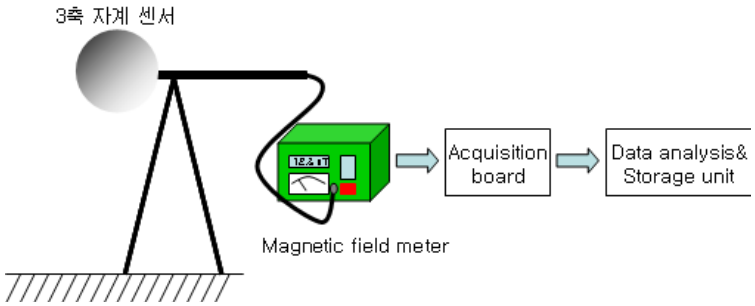


그림 2. 자계측정 개략도

표 1. 자계측정기 사양

항 목	내 용
Frequency ranges	· Broadband, without sweep 5 - 2,000 Hz (-3 dB) · Fixed pass filter, without sweep 16.7; 50; 100 and 150 Hz band-pass Q = 10 · Adjustable band-pass filter Adjustable from 50 to 1,500 Hz in 74 stages, Q = 10
Measurement ranges	200 nT, 2 mT, 20 mT, 200 mT, 2 mT. The highest measurable field strength at 2 kHz is 1 mT.
Accuracy	· broadband Highest ± (10 nT + 5 % of read value +0.2 % of measurement range)

차량 운행은 정지 상태에서 속도가 본선최고운행속도가 될 때까지 최대전력으로 가속한 후 본선최고운행속도이내에서 약 2~5초간 타행으로 운전하고, 회생제동을 사용하여 정지하는 조건으로 하여 실시하였다. 차량이 출발하여 정지할 때까지 자계측정을 실시하였다.

3. 측정결과

3.1 전자파 인체보호기준

인체보호기준의 주요내용은 주파수(0㎐~300㎓) 대역별로 전기장의 세기(V/m), 자기장의 세기(A/m) 및 전력밀도(w/m^2)의 세기를 나타내며 전자기장에 노출되고 있음을 알고 있으며 이의 잠재적인 위험성에 대하여 적당히 주의하도록 훈련받은 직업인과 전자기장에 노출되고 있는 사실을 모르거나 조치를 취할 수 없는 일반인으로 구분하여 기준치를 정하였다. 또한 정통부 기준은 ICNIRP 국제기준, 미국의 IEEE/ANSI, FCC 기준과 일본의 전파산업협회기준, 유럽의 CENELEC 기준 중 가장 엄격한 ICNIRP 기준을 토대로 하고 있다.

그림 3에서 확인할 수 있듯이 우리나라에서 사용하는 상용주파수 60 Hz에 대한 자속밀도 기준은 일반인의 경우 83.3 μT이다.

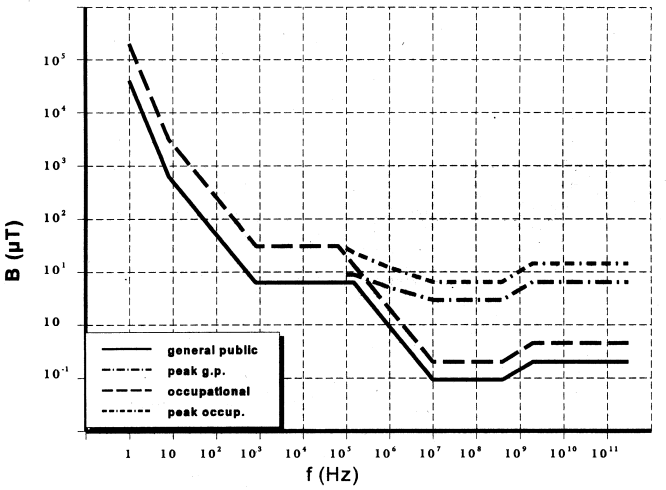


그림 3. ICNIRP에서 제시한 시변자계에 대한 참고기준

3.2 측정결과

자계측정은 노트북의 랩뷰프로그램(그림 4)에 의해서 FFT 및 RMS 값을 기록하였다. 자계측정기의 아날로그 출력 신호에서 time window = 0.25 s씩 신호처리를 실시하였으며, 본 논문에서는 극저주파에 대한 분석하기 위해서 자계신호의 순시파형를 zoom FFT를 실시하여 5~100 Hz 주파수 대역의 신호를 분석하였다. zoom FFT시에 사용한 window는 Hanning window를 사용하였고, 50 % overlap으로 실시하였다.

전기철도차량의 추진장치 시스템에서는 다양한 고조파들이 함유되어 있기 때문에 이러한 고주파 분석을 시간적으로 분석하기 위해서 STFT를 이용하여 시간-주파수-크기를 동시에 분석할 수 있었다. x, y, z의 삼축에서 측정된 자계는 벡터합 공식에 의해서 전체 자속밀도 B를 계산하였다.

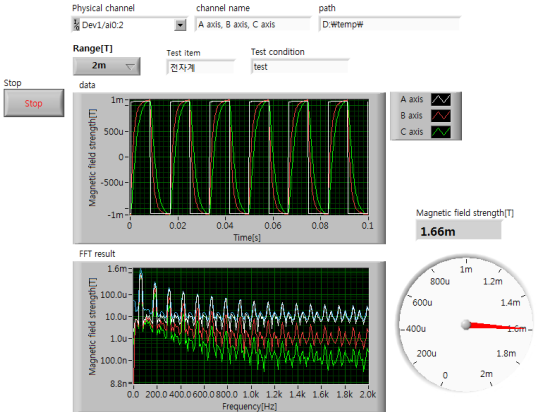


그림 4. 자계측정용 랩뷰 프로그램(front panel)

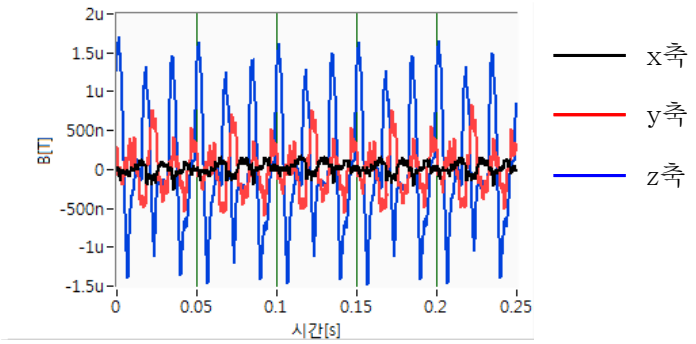


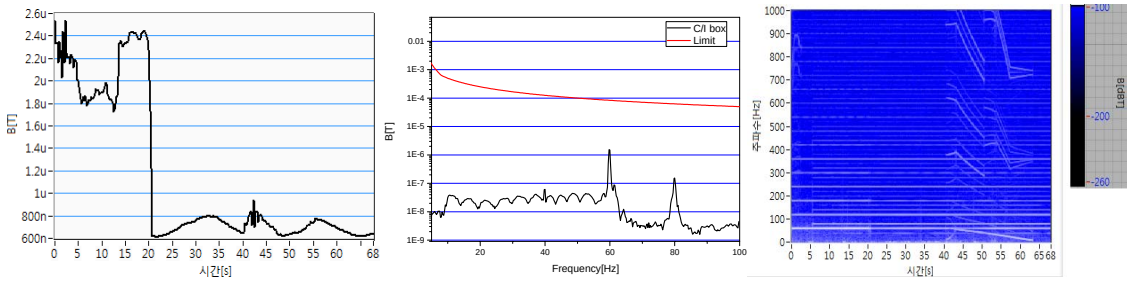
그림 5. 측정한 자속밀도 파형의 예

그림 6~9은 각각의 전장품에 대한 자속밀도 측정결과를 나타내고 있다. 시험은 최고 속도 60 kph까지 가속한 후에 차가 정차할 때까지 측정한 결과이다. 각 그림의 (a)는 운행하는 동안에 측정된 60 Hz 성분의 자속밀도이며, (b)는 zoom fft 결과이고, (c)는 STFT 결과를 나타내고 있다. 차량이 60 Hz 교류를 급전받아 운행하고 있기 때문에 60 Hz 성분 기본주파수로 하여 고조파가 나타나고 있는 것을 STFT결과 확인할 수 있다.

측정결과를 보면, 최대 60 Hz RMS값의 경우 C/I는 약 2.55 μT, 주변압기는 8.2 μT, 견인전동기가 26 μT, 보조전원장치가 21 μT로 나왔다. 견인전동기 및 보조전원장치에서 극저주파 자계값이 가장 크게 나오는 것을 확인할 수 있었으며, 측정결과는 ICNIRT에서 제시한 83.3 μT보다 작은 것을 확인할 수 있다.

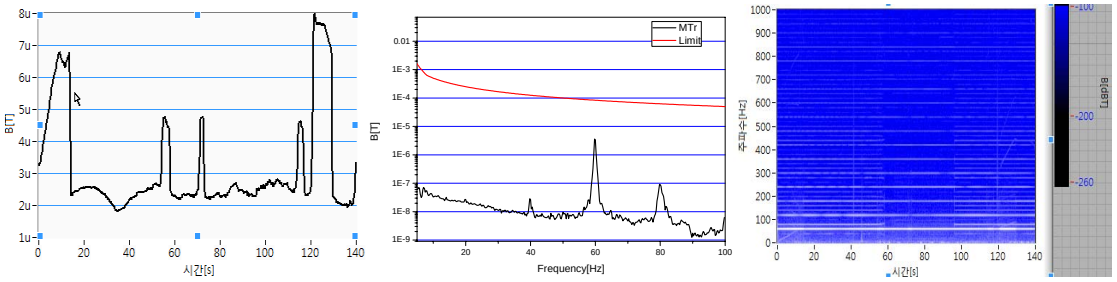
zoom fft는 peak hold 기능을 이용하여 전체 측정구간에서 가장 큰 값을 기록한 결과이며, 그림에서 확인할 수 있듯이 제한치 이내인 것을 볼 수 있다. 그림 6(b)와 8(b)를 보면, fft결과가 유사한 패턴을 가지고 있는 것을 볼 수 있다.

시간영역의 자속밀도 파형을 스펙트럼분석하기 위해서 사용한 STFT결과를 살펴보면, 견인전동기 고정자 주파수, 전원주파수 및 이와 관련된 고조파들이 수직한 선으로 표시된 것을 볼 수 있다. 그림 6(c)를 보면 차량이 제동을 할 때 주파수가 감소되고 있는 것을 볼 수 있다.



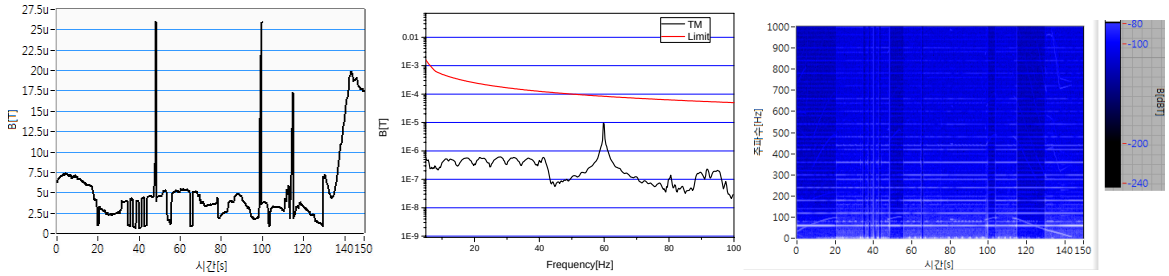
(a) 60 Hz (b) zoom fft (c) STFT 결과

그림 6. C/I 위치에서 측정한 결과



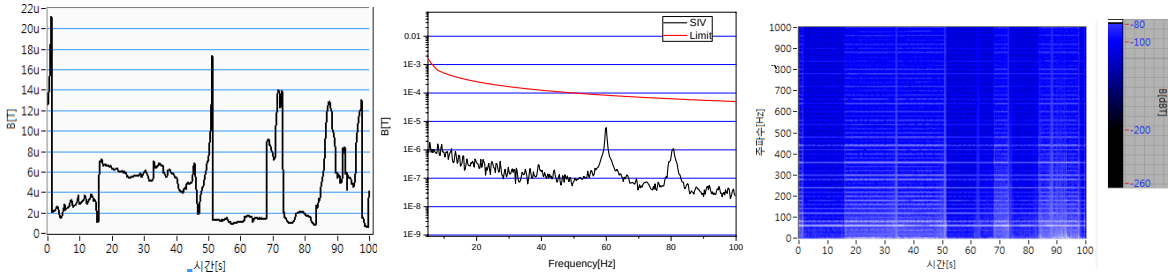
(a) 60 Hz (b) zoom fft (c) STFT 결과

그림 7. 주변압기(MTr) 위치에서 측정한 결과



(a) 60 Hz (b) zoom fft (c) STFT 결과

그림 8. 견인전동기(TM) 위치에서 측정한 결과



(a) 60 Hz (b) zoom fft (c) STFT 결과

그림 9. 보조전원장치(SIV) 위치에서 측정한 결과

4. 결론

본 논문은 교류전원으로 운행되는 전기철도차량을 대상으로 하여 극저주파 자계를 측정하였다. 극저주파 자계 측정을 위해서 3축 자계센서로 시간영역의 자속밀도를 측정하였고, 이 신호를 FFT 및 STFT를 이용하여 스펙트럼 분석을 실시하였다. 또한 차량이 영업 운전과 동일하게 하기 위해서 가속, 타행, 제동의 모든 운행 상황을 고려하여 시험을 실시하였다.

자속밀도측정 결과를 살펴보면 자속밀도 스펙트럼이 차량의 동적 운행상태와 연관되어 나타나고 있음을 알 수 있었다.

측정결과를 보면, 최대 60 Hz RMS값의 경우 C/I는 약 2.55 μT, 주변압기는 8.2 μT, 견인전동기가 26 μT, 보조전원장치가 21 μT로 나왔다. 견인전동기 및 보조전원장치에서 극저주파 자계값이 가장 크게 나오는 것을 확인할 수 있었으며, 측정결과는 ICNIRT에서 제시한 83.3 μT보다 작은 것을 확인할 수 있다.

참고문헌

1. 정보통신부 고시 제2001-88호, “전자파인체보호기준”.
2. "ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields(up to 300 GHz)"(1998), Health Phys., vol. 74, no. 4, pp. 494-522
3. A.S. Farag, H.Hussain, I. Said, M. Abdel Kader and N. Abdul Rahman(2003), “Electromagnetic Fields Associated with Transportation Systems in Malaysia,” Proceedings of ICNIR 2003, pp. 1-15
4. Diego Bellan, Alessio Gaggelli, Fransescaromana Maradei, Andrea Mariscotti and Sergio A. Pignari(2004), "Time-Domain Measurement and Spectral Analysis of Nonstationary Low-Frequency Magnetic-Field Emissions on Board of Rolling Stock", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. 46, No. 1, pp. 12-23
5. 장동욱, 한문섭, “전기철도차량 객실 내부 위치에 따른 극저주파 자계 측정 및 분석”, 한국철도학회: 학술대회논문집, 한국철도학회 2008년도 춘계학술대회 논문집, pp.489-494, 2008년 6월
6. 김윤식, 김수연, 박지연, 최원욱, “극저주파 영역에서의 전자파 노출에 관한 조사 연구”, 한국환경위생학회지, 제23권 제1호, pp. 55-61, 1997