

자기부상열차 비접지 급전시스템이 차량 주요 전장품에 미치는 영향에 대한 연구

A study about the impact of major electrical equipment of vehicles on maglev non grounded power system

이종민^{*†}, 김연충^{*}, 한정수^{*}, 김국진^{*}

Jong-Min Lee^{*†}, Yuen-chung Kim^{*}, Jung-Soo Kim^{*}, Kuk-Jin Kim^{*}

Abstract Commercial urban maglev track was built in Incheon Yeongjongdo and vehicles are being tested. The vehicle is designed to be floating system because Maglev train is levitated without contact with track. Power supply system feeds the DC 1500V power through the 3th power rail. Vehicle is powered by the 3th rail with the positive line and the negative line. But Maglev vehicle has a different ground potential compared with general wheel systems. In this paper describes impact and avoiding of major electrical equipment of vehicle by common mode noise and presents future countermeasures.

Keywords : Maglev, Floating, Power supply system, Common mode noise

초 록 도시형 자기부상열차 실용화 사업의 일환으로 시범노선이 인천 영종도에 건설되어 차량시험이 진행 중에 있다. 자기부상열차는 궤도와 접촉 없이 차량이 궤도 위에서 부상되어 운행되기 때문에 차량은 차체와 비접지(floating)방식으로 설계되었으며, DC 1500V의 급전시스템 또한 제 3궤조 전차선을 사용하여 급전선과 회귀선을 모두 집전하는 방식으로 일반적인 철차륜 시스템과 대지전위를 기준하여 상이한 급전전위를 갖는 시스템이다. 본 논문에서는 도시형 자기부상열차 실용화 사업에 적용된 차량의 비접지 방식에 따른 차량 주요 전장품의 공통모드 노이즈에 대한 영향과 그에 따른 결과를 기술하고 노이즈 회피 및 향후 방안을 제시하고자 한다.

주요어 : 자기부상열차, 비접지, 급전시스템, 공통모드 노이즈

1. 서 론

본 차량은 U자형 레일을 감싸고 있는 대차 구조를 통해 레일 하면 부에 설치된 전자석의 흡입력을 제어하여 차량을 레일위로 부상하여 선형유도전동기(Linear motor)에 의해 추진하는 시스템으로 궤도와 접촉 없이 운행되기 때문에 분진 및 마찰에 의한 영향이 거의 없어 소음과 진동이 낮은 우수한 승차감을 갖는 친환경 열차이다.[1]

인천 영종도 시범노선은 고가궤도 구조물의 측면에 설치된 급전선로를 통해 DC 1500V를 공급받는 제3궤조 방식의 전력공급 시스템이 적용되어 있다.

† 교신저자: 현대로템(주) 기술연구소 전장품개발팀(jmlee72@hyundai-rottem.co.kr)

* 현대로템(주)

차량이 레일을 부상하여 주행하기 때문에 급전은 Positive(+)와 Negative(-) 모두를 집전하는 비접지 전력공급 시스템으로 비접지 계통에서 나타날 수 있는 공통모드 노이즈에 의한 영향은 기존 철차륜식 차량과 상이하게 나타날 수 있다.

본 논문에서는 인천 영종도 시험노선에서 비접지로 설계된 지상 전원공급 시스템과 차량에 의해 나타나는 공통모드 노이즈들이 주요 전장품들에 미치는 영향의 문제점을 분석하고 향후 개선방안을 제시하고자 한다.

2. 본론

2.1 자기부상열차의 접지 개념

2.1.1 전력설비 개요

Fig.1은 차량 및 지상 전력공급설비의 공급전압 및 접지 개념을 표현하고 있다. 지상전원설비의 DC 출력은 비접지 방식이며, 이상적인 경우에 정극(Positive)-대지, 부극(Negative)-대지간의 전위차는 급전선의 절연특성이 동일하기 때문에 750VDC씩 나타나게 된다. 그러나 긴 선로의 절연특성은 날씨와 선로조건에 따라서 상이하게 나타날 수 있어 대지를 기준으로 한 전위는 상시 변화할 수 있다.

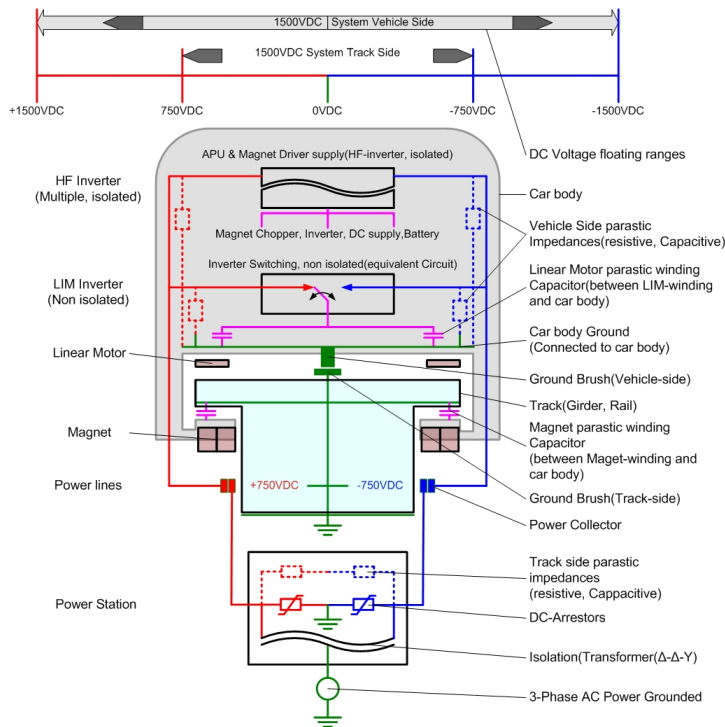


Fig. 1 Power supply system & vehicle grounding concept

2.1.2 차량의 접지

자기부상열차는 차체 프레임의 접지 없이 레일 위로 부상상태를 유지하며 큰 전력을 사용하여 추진되기 때문에 부상 및 추진 시에 차체는 대지와의 전위차를 가지게 된다. 추진시 대지와 차량간 인체의 접촉이 없기 때문에 문제시 되지 않으나 역사 진입 또는 정차시에는

승객의 안전에 문제가 될 수 있다. 따라서 열차는 Fig.1에서와 같이 역사구간 내에서 차체와 대지간을 차량에 설치된 접지 브러쉬를 통해 역사 내에서 접지를 하도록 되어있다.

2.2 차량의 영향

2.2.1 신호장치

자기부상열차의 신호시스템은 차량 속도와 위치를 인식하기 위해 궤도상에 패턴벨트가 설치된 IL(Inductive loop) 방식의 신호장치가 적용되었다. 자기부상열차 차량은 Fig.1과 같이 차량 장치의 코일권선 및 케이블 등에 의한 기생 캐패시턴스에 의해 공통모드 노이즈 및 전위가 형성되게 되는데 이 때 가장 큰 영향을 받는 장치는 낮은 레벨의 신호레벨을 사용하는 차상의 신호장치이다.

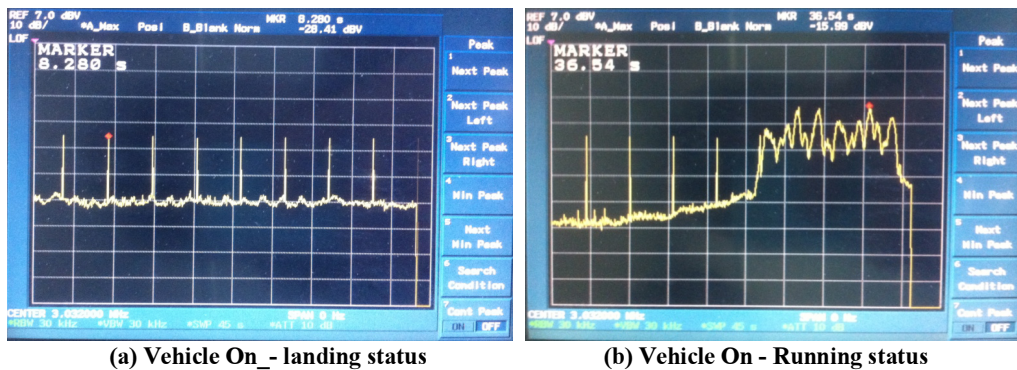


Fig. 2 Disturbance of ATO Local(TWC Device)

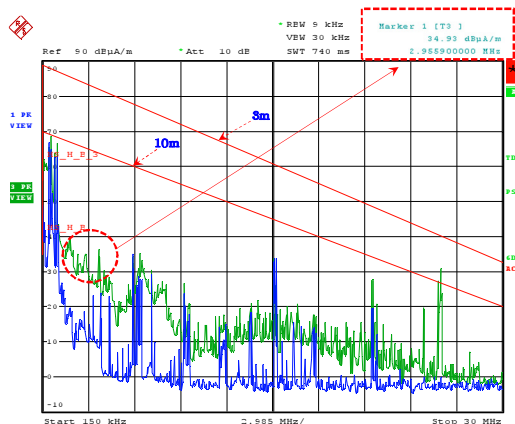


Fig. 3 RFI from Maglev train at 3MHz

부상제어장치(Magnet Driver)는 입력전압을 초평하여 DC 전압 형태로 전자석에 공급하게 되는데 이 때 발생된 dV/dt 가 차량의 기생 캐패시터에 의해 열차가 부상하는 경우에 3MHz 영역의 전자파가 발생하게 된다. 이 주파수대역의 노이즈는 Fig.3과 같이 국내법(도시철도법) 및 국제규격(IEC-62236-3-2)을 만족하고 있으나 신호장치와의 인터페이스 측면에서 Fig.2와 같이 차량의 주행시에는 TWC 장치가 노이즈 레벨증가로 인해 신호 기능에 장애가 나타났다.

TWC 장치의 지상과 차량간 데이터 전송은 상대적으로 매우 미약한 신호레벨(3mW)에서 운용되고 있으며, 신호장치는 $3000 \pm 32\text{kHz}$ 전체영역에 대하여 1개 대역필터가 사용되었다. 그러나

신호장치 측에서 주파수 대역에 대한 각각의 narrow band 특성 필터의 적용이나 신호레벨을 높이는 것에는 어려움이 있었다. 따라서 노이즈에 대한 차량과 신호장치간 인터페이스를 위하여 3MHz 노이즈의 크기를 감소시키거나 사용 영역의 주파수에서 노이즈를 시프트 시키기 위하여 차량측에서는 Fig.4와 같이 페라이트 코어 적용, wire twist, EMC 블레이드 등의 방안을 적용하여 시험하였다. 적용시 현 차량의 설치, 배선등의 상황을 고려하여 최종적으로 cable wire twist 방법과 EMC 블레이드를 혼용 적용하였다. 3000±32kHz의 주파수 대역에서 약 10~15dB 노이즈 레벨을 감소시켰으며, 지상 신호장치는 선로에 설치된 지상자의 차폐를 통해 추가로 약 10~15dB 노이즈가 감소되었다.

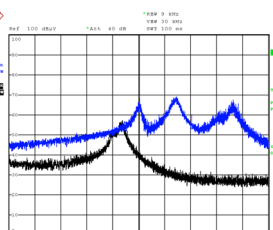

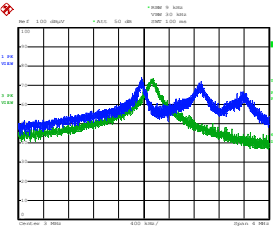

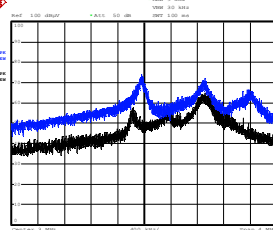

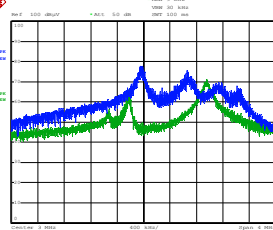

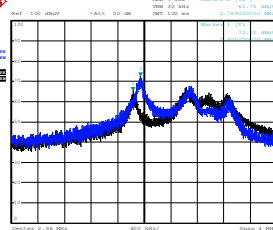
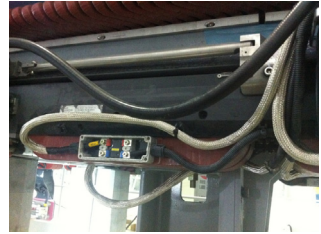
Condition	Vehicle Noise & Installing status	
Outside MD box with Ferrite core		
Inside MD box with Ferrite core		
Power input cable Partially twisted		
Power input cable parallel wiring		
Cable Shielding with EMC blade		

Fig. 4 Applied method for Noise reduction

2.2.2 보조전원장치의 전압센서(potential transducer)

비접지 급전 시스템은 차량의 기생 캐패시터를 통해 대지와 전위를 가지며 급전선의 절연변화 또는 차량의 추진/회생 시에 그 전위가 크게 변화하게 된다. 이로 인해 생기는 문제점으로 보조전원장치의 변압기 1차측에 설치된 절연앰프 타입의 전압센서가 다수 소손되는 경우가 발생하였다. 기본적으로 자기부상열차는 각 장치의 제어전원과 차량 프레임과의 전기적으로 연결되어 있지 않다. 그 이유는 부상/추진시 차체에 유기되는 전위로 인해 상대적으로 작은 전원 배그를 가지는 장치의 제어전원측에 노이즈 유입을 막기 위함이다. 그러나 전압센서 내부에 고압측과 저압측간에 적용된 공통모드 노이즈를 억제할 적용된 캐패시터의 영향으로 1차측의 노이즈가 2차측 제어기 15V 전원에 유입되면서 전압센서 15V 전위보호를 위해 적용된 다이오드가 소손되는 경우가 다수 발생되었다. Fig5와 같이 노이즈 유입으로 인해 전압센서의 소손 뿐만 아니라 제어기의 15V 아날로그 전원 이상 및 고장 오검지 등이 발생하였다.

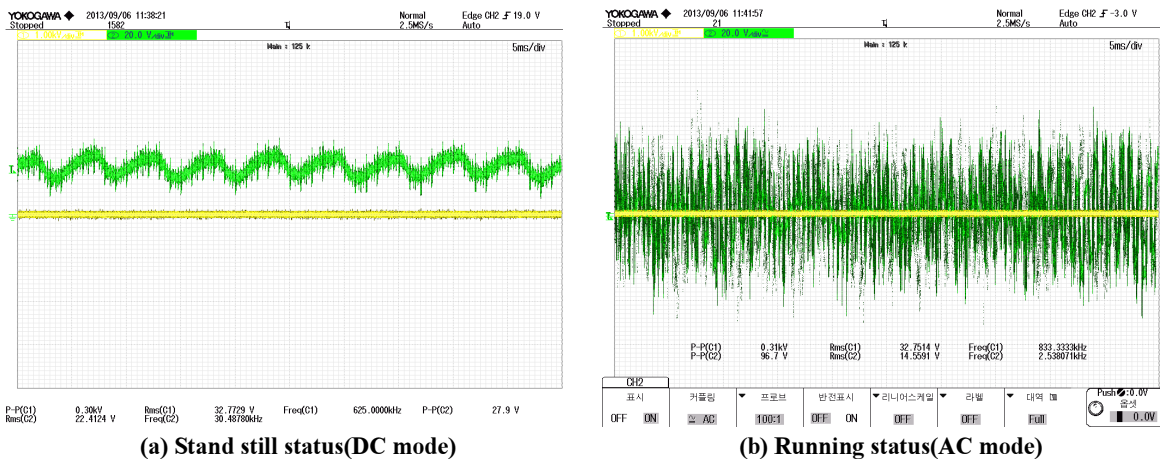


Fig. 5 Voltage level of original potential transducer between 15V GND of control power and Earth GND

Fig 5 (a)는 제어전원은 off된 상태에서 차량에 DC 1500V가 급전되었을 때 제어기측 15V와 대지(차량착지시 대지접지)와의 전위를 나타내고 있다. 이 전위는 DC 모드로 계측되었으며 평균 20V의 일정 전위를 가지며 흔들리고 있다.

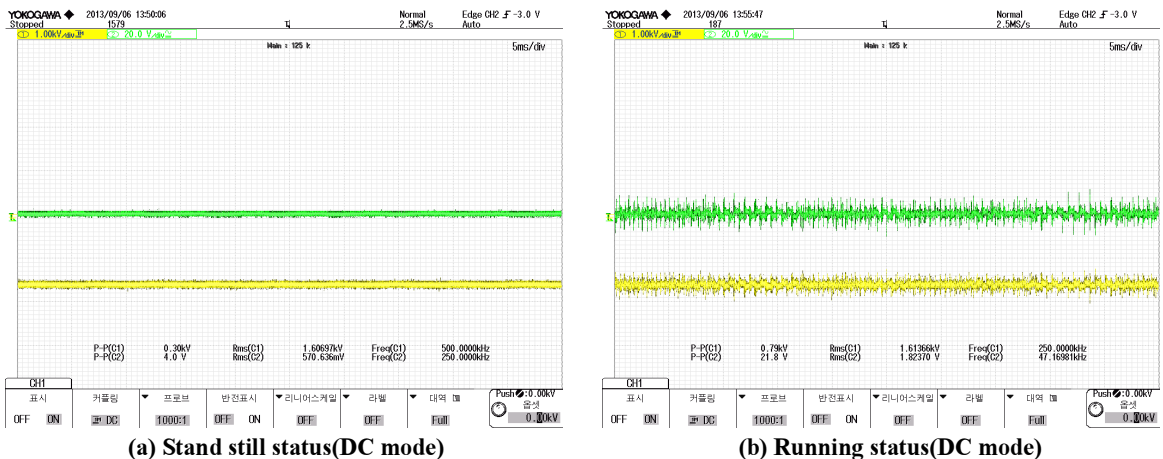


Fig. 6 Voltage level of modification potential transducer between 15V GND of control power and Earth GND

Fig 5 (b)는 동일한 차량조건에서 AC모드로 계측한 결과로 인접한 차량의 역행/회생시의 노이즈가 커지는 것을 확인할 수 있다.

이와 같은 문제를 해결하기 위하여 기존의 전압센서에 적용된 캐패시터를 제거하여 고압측과 저압측을 완전히 decouple 시킨 전압센서를 적용하여 시험하였다. Fig6은 변경된 전압센서를 설치하여 전위상태를 계측한 결과로 전위가 생성되지 않음을 확인할 수 있다.

3. 결론

본 연구를 통하여 자기부상열차의 비접지 설계 개념에 대한 공통모드 노이즈의 사례와 그 해결방안을 모색하였다.

비접지된 차체와 지상전력시스템 간의 전기적인 커플링은 첫째 선형유도전동기 코일과 고정자 슬롯(차체접촉)사이에서 존재하는 기생 캐패시터, 둘째 보조전원장치의 코일류와 차체사이의 기생 캐패시터, 셋째 전자석 코일과 차체와의 기생 캐패시터로 크게 나눌 수 있으며 추진 인버터 스위칭에 의해 AC 대전류가 사용되는 선형유도전동기에서 발생하는 과도 AC 전압에 의한 전위가 부상시 차체에 발생하는 DC 전압보다 크게 작용한다[2][3].

레일을 회귀선으로 하는 일반 철차륜의 시스템에 통상 적용되어 제어전원류의 공통모드 노이즈 저감을 위해 설치되는 Y 캐패시터는 비접지 차량 및 급전설비로 구축된 자기부상열차에서는 부상/추진시 차체의 전위변화로 인해 오히려 악영향을 끼칠 수 있다. 이러한 사항은 부품별로 세밀히 확인하여 설계시 반영되도록 해야만 한다.

최근 외국 전장품 제조사들의 설계 트렌드를 보면 이러한 EMI/EMC 영향의 대책으로 저압측뿐만 아니라 고압측의 입출력부에 노이즈 대책용 필터들이 많이 사용되고 있는 추세이다.

특히 이러한 비접지 계통 및 차량의 장치 중에 소신호를 사용하는 부품류(특히 센서류)일수록 이러한 필터 설계와 아울러 전원 GND의 분리, 케이블 실드의 분리, 기생 캐패시터의 영향 최소화 등등 floating 전위에 대한 대책 설계가 매우 중요한 사항이 될 것이다.

참고문헌

- [1] K.J KIM (2005) 자기부상열차 개발 및 상용화 현황, *한국철도학회 춘계학술대회*, pp. 69-73.
- [2] M.H KIM, J.S Han, E.S Chung, I.D Kwon(2011) 자기부상열차 추진성능 분석 및 추진제어장치 개발, *한국철도학회 2011년도 춘계학술대회*, pp. 93-97.
- [3] 박승찬, 이원민, 김경민, 김정철, 박영호, 김국진(2007) 도시형 자기부상열차용 선형유도전동기의 경량화 설계, *한국철도학회 추계학술대회*, pp. 1454-1459.