

철도차량용 VVVF인버터의 노이즈 대책과 유도장에 시험

김길동*, 한영재*, 박현준* 백종현*
한국철도기술연구원*

A study of EMI prevention and test method for VVVF Inverter electric car

Gil-Dong Kim*, Young-jae Han*, Hyun-Jun Park* Jong-Hyen Baek*
Korea Railroad Research Institute*

Abstract - High speed switching action of PWM inverter is being further advanced for electric motor vehicles. Due to this high speed switching action, extensive high frequency electromagnetic noise emerges. Therefore countermeasures against electromagnetic interference of electric motor vehicles become increasingly important. This paper describes the theory and countermeasure principle of EMI prevention and EMI test method for Korean Standard EMU

고조파 누설전류가 노이즈 원의 하나가 되고 있다. 따라서 모터 프레임의 접지선 취부 위치를 변경할 때 노이즈의 발생량은 크게 변화한다. 이에 따라 모터자신으로부터 누설되는 자속은, ATC차상자가 모타에 근접하고 있는 경우는 방해원이 된다.⁽³⁾ 차체간 넘는 선과 차체~대차 배선 등의 움직이는 개소에서 실드 등이 원인이 되어, 노이즈 방사원이 되고 있다.⁽⁴⁾ 차체내의 기기·배선은 접지 되어 있는 비교적 강한 동판 등으로 구성된 차체에 의해 덮여져 있어, 실드 효과에 의해서 ATS지상자 및 ATC 차상자는 주 노이즈원이 되지 않는다.

1. 서 론

최근 전자환경에 대한 관심이 높고, 송전선 아래의 자계 등 휴대전화 등 전파대책에 대한 관심이 사회적으로 매우 증가하는 추세를 보이고 있다. 근래의 전기철도차량 구동제어에 최신 파워일렉트로닉스 기술의 도입이 급격히 증가하고 있다. 이 스위칭 동작은 IGBT등에 의해 고속화가 한층 더 증가되고 있다. 이 스위칭 동작 고속화에 따라서 차량으로부터 발생하는 고조파의 전자 노이즈 레벨이 높아지고, 신호·통신설비에 대한 전자유해대책이 중요시되고 있다.

전기차량에서 발생하는 전자노이즈는 공간전파 노이즈와 전도노이즈로 분리된다. 공간전파 노이즈는 차량기기·배선으로부터 직접 전달되는 노이즈와, 판토그래프의 이선 노이즈, 차륜과 레일의 아크로부터 발생하는 휠 아크노이즈 있으며, 전도노이즈로서 귀선전류 노이즈 있다. 고속스위칭 의해 고주파 전자노이즈가 높아지는 것은, 직접전달노이즈와 귀선전류 노이즈 때문이다.

수KHz이하의 직접노이즈는 ATC 차상자에 방해를 주고, 수10KHz이상은 ATS의 신호설비에 방해를 준다. 이렇게 때문에 최근 고조파 전자 노이즈가 증가하고 있는 인버터 차량에서, 직접 전달되는 노이즈 대책이 중요하게 되고 있는 것은 현실적이라 아니할 수 없다.

전기철도차량의 노이즈 대책 및 도시철도차량 표준전동차를 본선시운전을 통하여 차량으로부터 전자 노이즈가 기존 신호기기에 오동작을 일으키는지 실차 시험을 통하여 관측하였다. 전동차량 유도장에 시험은 지속적인 연구가 진행되어야 하며 차량 신차 개발시 시험을 해야 하는데 본 논문에서는 시험방법에 관한 내용과 차량의 노이즈 대책에 대해 소개한다.

2. 직접노이즈 특징

2.1 직접 노이즈 특징

철도차량으로부터의 직접노이즈 특징은⁽¹⁾ ATC지상자의 수직에서 정지상태로부터 노치를 넣어 발차하는 경우와 노치를 입력한 역행상태에서 ATS지상자를 통과하는 경우를 비교하면 전자의 수직에서 출발시가 노이즈 레벨이 높은 경우가 많다. ATC차상자 경우도 고속영역의 가속시 노이즈 레벨이 최대가 되는 경우가 있다.⁽²⁾ 차체 및 대차가 어스회로 되어있고 이것으로부터 흐르는

2.2 차량에서의 직접 노이즈 대책

차량에서의 직접 노이즈 대책은 노이즈 발생원이 되는 전원주파수성분을 억제하는 방법으로, 인버터제어기술에 의한 것파 실드 등의 노이즈전달경로 차단에 의한 것이 있다. 차량측에서 행하는 대책은 일반적으로 기 유도측이 되는 전원측에서 행하는 전자방해 저감법을 수행하는 것이 되겠지만 그 기본을 정리하면 다음과 같다..

2.2.1 배선·접지에 의한 대책

먼저 직접노이즈를 고려한 배선을 한다. 누설전류를 포함한 루프상의 전류경로를 만들지 않도록 하는 것이 필요하다. 루프상이 전류경로가 될 경우에는 그 루프면적을 적게하는 것으로부터 노이즈 저감이 할 수 있다. 일반적으로 큰 노이즈 전류 루프일 때는 차체와 대지를 환류하고, 전력선과 동상에서 흐르는 common 모드 전류에 의해 루프 형성이 된다. 이것은 강전 회로에서 말하는 것으로 영상의 고조파전류에 의한 루프형성에 해당된다. common 모드전류는 차량으로부터 큰 직접전달 노이즈는 발생을 이해하여 대책을 수립하는 것이 중요한 포인트가 된다.

실제차량에서의 직접전달노이즈는 common 모드 전류에 의한 전자방해의 대책을 수립하는 것에서 큰 저감 효과가 얻어질 수 있다. 구체적인 것은 인버터에 의한 모터 구동시 모터 프레임으로부터의 고조파 누설 전류는 무시할 수 없는 노이즈원 요소이다. 그 누설에 의한 전류 루프의 형성은 충분한 배려가 필요하다. 그림1은 모터부터 누설전류에 의한 노이즈 전류루프의 개요를 표시한다. 또한 실제의 배선에 있어서는 이미 이루어져 있는 한 케이블을 트위스트화 하고, 케이블 간의 루프면적을 극소화 및 루프간의 자속의 감쇠효과를 높이는 효과가 있다. 배선의 끝단은 짧고, ATS지상자와 ATC 차상자로부터 떨어지는 것이 최근의 기본적인 대책이 된다.

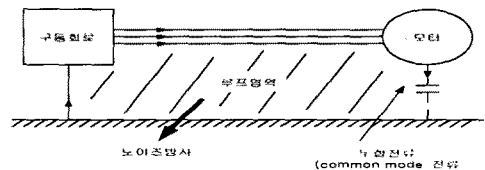


그림1. 누설전류에 의한 노이즈 전류루프 형성

2.2.2 필터에 의한 대책

필요하고 적절한 필터를 설계하여 노이즈저감을 꾀하는 것을 반드시 해야한다. 일반적으로 필터 투입은 최악의 경우 그 투입된 회로와 직렬 공진을 일으켜 노이즈전압을 크게 증폭시킬 가능성이 있어, 충분한 검토가 필요하다. 필터 선택시의 유의할 점은 저감대상노이즈가 common모드 전류에 있는 것인지 혹은 전력선에만 흐르는 전류총합이 영이 되는 것인지를 확인하고, 각 모드에 적당한 필터를 사용하지 않으면 안된다.

일반 정상모드에서 전류에 의한 노이즈와 common 모드 전류에 의한 노이즈를 비교하면 후자의 레벨 쪽이 큰 경우가 많다. 먼저 common 모드 전류에 의한 노이즈 대책을 검토해 보았다. 또한 바이패스 콘덴서를 설계한 경우 될 수 있는 한 노이즈 원 옆에 설치하여, 노이즈전류의 루프면적을 작게 하는 것이 앞에서 공통으로 하는 기본적 사항에 있다. 바이패스 콘덴서에 의한 루프면적 축소의 개념 도를 그림 2에 표시하였다.

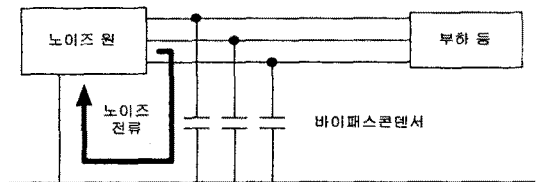


그림 2. 바이패스 콘덴서에 의한 노이즈 전류루프 축소화

2.2.3 실드에 의한 대책

실드에 있어서는, 문제가 되는 주파수대역 및 노이즈원과 실드간 거리를 고려하여 차폐재료를 선택시 차폐효과에 필요한 실드의 두께를 결정 할 필요가 있다. 또한 실드에 흐르는 차폐전류가 가능한한 균일하게 되도록 실드간에 연결부의 전기적 연결성을 확보하여 접지선의 적절한 부착 위치와 오픈된 형상에 대한 배려가 중요하다. 실드재료는 자계 실드로 하고 기능의 전계실드도 겸하기 위해 반드시 접지를 행한다. 따라서 케이블을 실드 하는 경우는 차폐전류의 경로를 확보하기 위해 양단을 접지하지 않으면 안된다. 이것으로부터 필터량 및 실드는 시험단계에서 대책을 세워 설계요소에서 사전에 고려하는 것이 중요하다.

3.1 각종노이즈 대책의 효과

앞에서 서술한 기 유도측에서 하는 노이즈 대책의 일반적인 효과와 실제 차량에서의 노이즈저감효과에 대하여 다음과 같이 정리한다.

3.1.1 모터 프레임 접지 취부 위치의 효과

그림 3~5에 모터 프레임 접지선 취부위치 모드에 따라서 common모드 노이즈 전류의 루프 발생상황 개념 도를 표시한다.

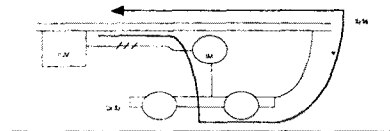


그림3. 접지선을 대차에 취부한 경우

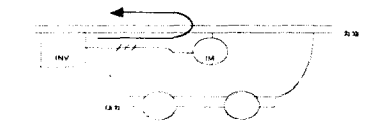


그림4. 접지선을 차체에 취부한 경우

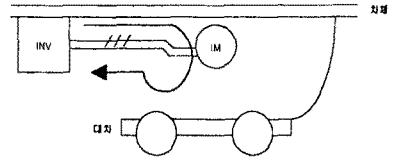


그림 5. 접지선을 인버터에 취부한 경우

노이즈 레벨은 루프면적에 비례한다. 실제의 현차시험에서는 기타의 노이즈도 중복되어 나타나기도 하고 차체·대차의 노이즈 전류 루트도 차종에 따라 다양하기 때문에 꼭 일률적으로 효과가 나타나는 것은 아니지만 대차에 취부할 경우에 비해 차체와 인버터 경우는 10dB정도의 저감이 기대될 수 있다. 즉 common모드 전류와 같이 모터로부터의 누설전류가 있고, 차량에 있어서 접지에 있는 절연방법과 전식의 문제로 인하여 검사의 요소를 포함하고 있다. 모터프레임의 접지선에 관련된 유도노이즈발생상황에 대해서는 일본전기학회에 발표된 논문에서 기술되어 있다. 이것에 따르면 (1) 전력선 및 접지선을 전부 포함하는 경우 (2) 접지선에서 루프를 만들 경우 (3) 접지선으로하여 실드도체를 이용한 3중실드의 경우등 유도노이즈 발생상황을 실질적으로 비교하면 (1)의 경우는 전류루프의 형성이 되지않기 때문에 유도노이즈가 간혹 발생 (2)의 경우는 접지선에 흐르는 common모드전류에 기인한 약 20dB의 유도노이즈발생·따라서 (3)의 경우는 (1)의 경우와 비교하면 대 -20dB(1/10)의 유도노이즈를 저감하는 효과가 있다고 표시하고 있다.

3.1 표준전동차의 유도장애 시험

표준전동차를 다음과 같은 조건에서 시험을 실시하였다. (1) 정상적인 변전 상태에서 실시하며, 열차는 최대 운영속도를 낼 수 있어야 한다. (2) 변전소에서 가까운 곳에서 실시하는 것이 바람직하며, 회생제동시 수용능력이 있어야 한다. (3) 만차상태에서 실시한다.

3.1.1 전도성 간섭시험

전도성 간섭시험은 시험은 VVVF Inverter 고압 입력선에 전류 센서를 연결해서 Spectrum Analyzer로 가신 전류를 측정한다. 사용되는 모든 주파수에 따라 반복 시험을 실시하며, 1개의 VVVF Inverter에서 발생할 수 있는 최대 전류를 초과하지 않는가를 확인한다. Spectrum Analyzer로 다음의 정해진 주파수에서 측정한다. 60, 2100, 2320, 2580, 3100, 3370, 3660, 3900, 4500, 5525Hz

3.1.2 유도성 간섭시험

유도성 간섭시험은 Rail에 Clamp Meter를 연결하여 Oscilloscope로 전압을 측정하여 입증하며, Spectrum Analyzer로 다음의 정해진 주파수에서 측정한다. 이 전압은 각 주파수 당 20mV를 초과하지 않아야 한다. 측정 주파수는 2~6KHz (2070~5555Hz) 이다. 시험은 열차의 첫번째 Axle이 Rail Clamp를 지나칠 때부터 마지막 Axle이 지나칠 때까지 측정한다.

3.1.3 복사성 간섭시험

복사성 간섭 시험은 전동차의 전기장치에서 발생하는 복사성 간섭을 측정하기 위한 것이다. 다음 철도설비의 경계조건은 다음과 같다. (1) 차량은 움직이기 때문에 정지상태에서의 간섭은 잠시 동안만 유효하다 (2) 전류 접전자와 전류가 흐르는 레일로부터 생기는 스프리어스 방사는 원칙적으로 감소될 수 없다. (3) 전원 구간에서 모든 펄스 제어전류와 전압은 간섭의 가능한 공급원으로 간주 되어야 한다. 이들 공급원은 인버터, 제동저항과 전

인전동기, 보조전원, 필터 등을 포함한다.

3.1.4 복사성 간섭 한계

완성차량으로부터 무간섭 세기는 +10dB의 공차를 갖는다. 만차 정지상태나 서행차량에 대한 한계자제측정 주파수 범위는 그림 6과 같다.

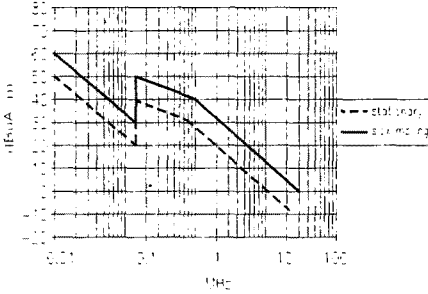


그림 6. 만차의 정지상태나 차량 서행상태에 한계 (자제측정, 주파수범위 10KHz~30MHz)

3.1.5 측정방법

루프 안테나의 수평상태는 선로에 수직과 평행이 되어야 한다. 다이폴은 수직축에 놓인다. 철도망이 동작할 때 차량에 의해 발생하는 전자계는 9KHz~1GHz의 주파수에서 트랙의 중앙으로부터 10m 거리에서 측정된다. 하나의 열차 통과시 측정에 필요한 짧은 시간을 고려해서 peck-hold회로를 갖는 소인 주파수 측정기술이 이용된다. 열차 주위 환경으로 생긴(열차가 없는 환경) 노이즈가 측정된다. 최대방사를 찾기위해 안테나로 극성을 측정한다. 안테나의 위치는 루프안테나의 수평상태는 수직축에 놓인다. log periodic 안테나는 트랙으로 향한 안테나와 함께 수직극성 신호를 측정하기 위해 배치된다. 그림 7은 안테나 위치를 보여준다.

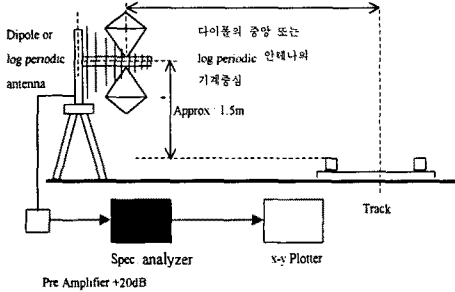


그림7. 30MHz에서 1GHz주파수 밴드에서의 전자계 측정

3.1.6 시험

표준전동차를 전도성 간섭시험 및 복사성 간섭 시험을 한 결과 주파수 대역별 규정치안에 있음이 확인되었다.

3.1.6.1 전도성 간섭시험

전도성 인버터 시험은 입력단에 전류센서를 연결해서 P4→80Km/h, OFF→B7, P4→45Km/h, OFF→B7 운전하여 역행 및 회생시에 귀선전류 고조파를 확인한결과 역행시 60Hz에서6.9mA, 회생시23.0mA를 나타내고 있다. 그림 8은 역행 6.4KHz에서 P4→80Km/h 운전한 상태의 결과이다.

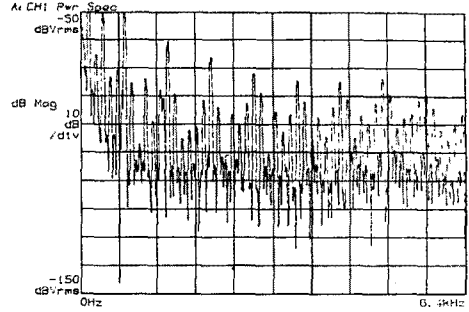


그림 8. 역행6.4KHz, P4→80Km/h운전시 파형

3.1.6.2 방사자계시험

방사자계 시험은 서행20Km/h에서 인버터 및 모든 전기상태가 동작하고 있는 상태에서 방사노이즈를 측정한다. 차량구성은 TC, M1, M2, TC 4량으로 구성되고 방사자계시험은 9KHz~1000MHz까지 시험하였다. 역전계 방사 측정은 수평·수직모드로 변환하여 양쪽모두를 측정하였다. 그림 9는 60Hz 역행에서 방사자계 파형이다.

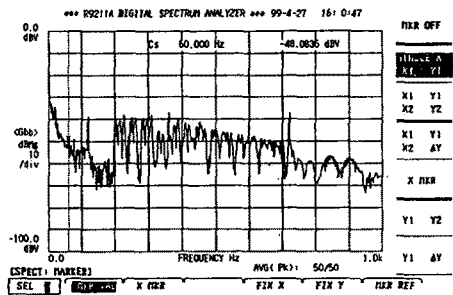


그림 9. 60Hz 역행에서 방사자계 파형

4. 결 론

현재 철도에 의한 전파장애에 관한 국제규정 제정작업이 IEC(국제전기표준협회)의 특별위원회`CISPR(국제무선장애특별위원회)내 소위원회로 구성되어 있다. 대상주파수 범위는 150KHz~1GHz로 측정방법은 연구원에서 시험하고 있는 방식과 유사한 방식으로 측정개소는 수평거리 10m로 제안되고 있다. 표준전동차를 국내 처음으로 독자적으로 시험방식을 만들어 국제기준에 준하는 전도성 노이즈시험과 복사성 노이즈간섭시험을 하여 전동차량의 유도장애시험을 제안하고, 전동차량의 노이즈 대책에 대해 논의하였다. 또한 시험결과 노이즈대책을 고려해 설계한 결과 노이즈가 주파수대역별로 기준값안에 들어 만족함을 나타내고 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] 電氣學會技術報告, "PWMインバータ制御方式の最新技術動向", 電氣學會技術報告, 第635号, 1997
- [2] 塩谷昌弘, "インバータ制御電氣車の直達ノイズ対策", 鐵道總研報告, Vol.12, No.5, '98.5
- [3] 小笠原悟司, "PWMインバータを用いた交流電動機驅動システムが發生するEMIの測定低減法", 電氣學會論文誌D, 116卷 第12号, 1996