

# 전기철도의 전자기적합성에 관한 고찰

Study for electromagnetic compatibility of electric train system

김민철\*  
Kim, Min-Cheol

이장무\*\*  
Lee, Jang-Mu

한문섭\*\*  
Han, Moon-Soeb

---

## ABSTRACT

In modern system, electromagnetic environment are going worse with advancing electric and electronic technology, and this electromagnetic environment affect modern electric train system at the point of the safety problem. Therefore, each distributed system that is consisting electric train system have to prove there own electromagnetic compatibility through the field test. These distributed system can be considered as power supply system, signal & communication system and train system. In this study, essential field tests for electromagnetic compatibility of train system based on IEC national standard are suggested.

---

## 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. 전자기적합성을 논함에 있어 전기철도시스템은 급전시스템, 신호시스템, 차량 시스템의 세 가지로 크게 나눌 수 있으며, 큰 부분을 차지하는 것이 차량시스템 및 신호시스템으로 볼 수 있다. 차량 및 신호 시스템은 외부 시스템과 연계하여 매우 복잡한 전기/전자제어를 하고 있어 스스로의 시스템으로부터 발생하는 전자기파에 의한 영향뿐만 아니라 외부 전자기파에 의한 영향도 쉽게 받을 수 있으며, 이로 인하여 오동작이 발생할 경우 대형사고로 이어질 수 있는 개연성을 내포하고 있다. 해외의 선진 전기철도에서는 이미 이에 대한 연구가 각 차량 제작사 및 차량운영회사를 중심으로 활발히 진행되고 있으나 현재까지도 시험규정 등은 각 회사별로 다르게 적용되고 있다. 특히 시스템 운영사가 명확한 규정을 가지고 있지 못한 경우 공급자가 제시한 기준으로 실시되어 도입될 시스템의 전자기 환경에 대한 정확한 검증은 하지 못해 안전성에 대한 문제의 소지를 가지도록 하는 하나의 요인이 되고 있다.

국내 전기철도 시스템에서도 이러한 전자기환경의 인식 및 고려가 매우 부족한 실정으로, 시스템 도입 시에 전자기환경에서의 시스템의 정상적인 동작과 안전성을 입증할 수 있는 전자기적합성에 관한 고려 및 검증을 위한 명확한 시험규정이나 그 적용이 불분명하다. 이에 본 연구에서는 전기철도차량을 중심으로 IEC 국제규격 및 연구를 통하여 홍콩 및 유럽의 선진철도시스템에 도입된 신규전동차에 적용되어 전자기적합성의 입증에 관한 타당성이 확인된 시험에 관한 기준을 제시하고자 한다.

---

\* 성균관대학교 대학원 석사과정, 학생회원

\*\*한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

## 2. 본론

### 2.1 전기철도차량의 전자기적합성

전자기적합성(EMC : Electromagnetic compatibility)은 전자파양립성이라고도 하며, 다른 장치 또는 시스템에 잡음을 전달하여 영향을 주는 정도를 나타내는 전자파 방해(EMI : Electromagnetic Interference)와 다른 잡음원에서 발생한 잡음에 의하여 영향을 받는 정도를 나타내는 전자파 감응성(EMS : Electromagnetic Susceptibility) 또는 견디어 내는 정도를 나타내는 전자파 내성(EMI : Electromagnetic Immunity)의 두 성질이 적절하게 양립하여 있는 상태를 말한다. 즉, 어떤 장치 또는 시스템이 이러한 전자기적합성 또는 전자파양립성이 있다면 이 장치 또는 시스템은 전자파환경에서 안정된 성능을 보증할 수 있다.

전기철도차량 시스템을 구성하는 최소 요소를 하나 이상의 기능을 가지는 차상장치라고 볼 때, 전기철도차량이 전자기적합성을 갖추기 위해서는 첫째로 기본 구성요소가 되는 차상장치의 전자기적합성이 입증되어야 하며, 둘째로 입증된 차상장치로 구성된 차량시스템이 외부 시스템과의 전자기적합성이 입증될 때 비로소 하나의 전기철도차량 시스템은 전자기적합성을 가지며 예측 가능한 전자파 환경에서 안정되게 운용되어 안전성을 확보할 수 있음을 뜻한다. 그러므로 전기철도차량 시스템의 전자기적합성을 입증하기 위해서는 차상장치의 전자기적합성을 입증하기 위한 시험을 적용하여 완료 후, 완성된 차량과 외부 시스템과의 전자기적합성을 입증하기 위한 시험이 적용되어야 한다. 이때 외부 시스템은 그 시스템을 구성하는 장치들에 대한 전자기적합성이 우선 입증이 완료되어야 한다.

### 2.2 잡음

어떤 시스템의 전자기적합성을 갖추는 가장 좋은 방법은 잡음의 전파경로를 차단하는 것이다. 그러나 실제 전자파 환경에서 모든 잡음의 전파경로를 차단할 수 없고 확인이 어려우므로, 설계단계에서 발생 가능한 잡음의 전파경로를 산정하여 전자파방해의 수준을 줄이고 전자파내성을 높여줄 수 있도록 한 후, 시스템이 사용될 곳의 발생 가능한 전자파환경에 따라 인위적인 잡음경로를 조성하여 시험을 통하여 전자기적합성을 검증하는 것이 일반적이다. 전기철도차량 시스템은 도심의 운송수단으로 발생 가능한 잡음의 종류 및 경로는 매우 다양하나 잡음의 전파경로를 중심으로 발생 가능한 잡음의 형태를 살펴보면 대표적으로 다음의 세 가지를 고려할 수 있다.

- 가. 전도성 잡음 : 잡음 발생원으로부터 중간 매개체를 통하여 전파되는 잡음
- 나. 복사성 잡음 : 잡음 발생원으로부터 중간 매개체가 없이 직접 전파되는 잡음
- 다. 유도성 잡음 : 잡음 발생원의 잡음강도에 따라 인접 매개체에 유기되어 전파되는 잡음

전자기적합성 시험은 위의 세 가지 잡음의 형태를 기준으로 차상장치시험 및 완성차시험으로 구분하여 시험항목을 세부적으로 설정할 수 있다.

### 2.3 장치의 전자기적합성 시험

차상장치는 다른 차상장치에 대하여 방해를 주는 잡음원의 역할과 전자파환경에 의하여 방해를 받는 피해원의 두 가지 경우를 가지고 있다. 2.2절에서와 같이 잡음의 세 가지 경로에 따른 형태를 고려하여 차상장치의 전자기적합성 입증을 위한 시험을 아래 표1과 같이 구분하여 제시할 수 있다.

표 1. 장치의 전자기적합성 시험 항목

분류	시험 항목	내용
전자파 방해	전도성 잡음방해	장치로부터 발생한 잡음이 다른 장치와 결합된 매개체를 통하여 전달되는 잡음의 강도를 다른 장치의 전자파 내성을 고려한 허용치 이내로 규제.
	복사성 잡음방해	장치로부터 발생한 잡음이 매개체가 없이 복사 형태로 다른 장치에 전파되는 잡음의 강도를 다른 장치의 전자파내성을 고려한 허용치 이내로 규제.
	유도성 잡음방해	높은 입력전류를 사용하는 장치로부터 발생하여 다른 장치에 전달되는 전원주파수의 자계강도를 다른 장치의 전자파 내성을 고려한 허용치 이내로 규제.
전자파 내성	정전기 방전 내성	외부의 매개체와 접촉 또는 비접촉에 의하여 짧은 순간에 발생하는 높은 강도의 정전기 잡음에 대한 장치의 내성을 평가
	전기적 과도현상 내성	짧은 순간에 높은 강도를 가지면서 일정 주기를 가지고 나타나는 형태로 발생하는 잡음에 대한 장치의 내성을 평가
	RF 주파수의 전도성 잡음 내성	RF(Radio Frequency) 주파수 대역의 변조된 신호가 매개체를 통하여 전달되는 형태의 잡음에 대한 장치의 내성을 평가
	RF 주파수의 복사성 잡음 내성	RF(Radio Frequency) 주파수 대역의 변조된 신호가 매개체를 통하지 않고 복사 형태로 전달되는 형태의 잡음에 대한 장치의 내성을 평가
	서지 잡음 내성	주기적으로 발생하지는 않으나 전기적 과도현상에서 발생한 잡음에 비하여 비교적 긴 시간동안 높은 강도의 신호가 유지되는 형태의 잡음에 대한 장치의 내성을 평가
	불안정한 전원에 대한 내성	전원공급이 불안정하거나 주기적으로 전원공급의 단속이 발생할 경우에 대한 장치의 내성을 평가

각 시험은 비교적 높은 전압 또는 전류를 활용하여 전자파 환경이 일반적인 환경에 비하여 열악한 상황에서 사용되는 장치에 적용되는 것 중 전기철도차량에서 주로 발생하는 잡음의 형태를 고려하여 제시되었다. 유도성 잡음방해의 경우 낮은 전류를 사용하는 장치에서는 발생한 자계장이 유도현상에 의한 전도성 잡음으로 변화되어 내부의 소자에 주로 영향을 주나 높은 입력전류를 사용하는 장치는 전원주파수의 높은 자계를 발생할 수 있으므로 인체의 영향을 고려하여 그 발생 강도를 억제할 필요가 있다. 각 시험에 관한 세부 적용 방법 및 평가기준은 IEC 국제규격에 따라 다음과 같이 제시할 수 있다.

표 2. 장치 시험의 평가기준 및 실시기준

분류	시험 항목	평가 기준	시험 실시 기준
전자파 방해	전도성 잡음방해	IEC 62236-3-2	CISPR 11
	복사성 잡음방해	IEC 62236-3-2	CISPR 11
	유도성 잡음방해	정보통신부 고시 제2000-91호	
전자파 내성	정전기 방전 내성	IEC 62236-3-2	IEC 61000-4-2
	전기적 과도현상 내성	IEC 62236-3-2	IEC 61000-4-4
	RF 주파수의 전도성 잡음 내성	IEC 62236-3-2	IEC 61000-4-6
	RF 주파수의 복사성 잡음 내성	IEC 62236-3-2	IEC 61000-4-3
	서지 잡음 내성	IEC 62236-3-2	IEC 60571
	불안정한 전원에 대한 내성	IEC 62236-3-2	IEC 60571

각 시험은 원칙적으로 차량의 모든 전기 및 전자장치에 적용되나, 표 2에 제시된 평가기준에 상응하는 규격에 의거하여 전자파적합성이 입증된 경우에는 사용자 및 제작자의 합의에 따라 선별하여 적용할 수 있다. 완성차량의 전자기적합성을 평가하기 위하여 기본적으로 시험이 적용되어야 할 장치는 다음의 표 3과 같이 제시할 수 있다.

표 3. 시험 적용 장치

적용 장치	적용 시험
견인용 컨버터 및 VVVF 인버터	전자파 방해 / 전자파 내성
보조전원장치 및 배터리	전자파 방해 / 전자파 내성
에어 컨디션 시스템	전자파 방해 / 전자파 내성
도어시스템 제어기	전자파 방해 / 전자파 내성
객실 전자/전기 장치	전자파 방해 / 전자파 내성
차상 신호 및 무선통신장치	전자파 방해 / 전자파 내성
열차제어장치	전자파 방해 / 전자파 내성
제동시스템 제어기	전자파 방해 / 전자파 내성

## 2.4 완성차량의 전자기적합성 시험

전술하였듯이, 완성차량의 전자기적합성을 평가하기에 앞서 전제되어야 할 것은 차량의 장치의 전자기적합성이 입증되어 완료 되어야 한다는 것이다. 완성차량은 차상장치가 여러 소자와 소자의 유기적인 결합체인 것과 동일하게 장치와 장치의 유기적인 결합체 이므로 완성차량을 구성하는 장치의 전자기적합성 입증에 없는 상태의 완성차량의 전자기적합성에 대한 평가는 의미가 없다. 전자파 환경에 대한 검증이 없는 소자를 사용하여 만든 차상장치가 전자파환경에서 문제가 발생하였을 경우, 이것이 소자에 의한 문제인지 인터페이스에 의한 문제인지를 정확히 판단할 수 없는 것과 동일하다. 그러므로 완성차량의 전자기적합성을 입증하기 위해서는 기본 소자가 되는 차상장치의 전자기적합성의 입증에 필수라 할 수 있다. 완성차량의 경우도 차상장치와 동일하게 철도차량시스템을 구성하는 다른 시스템에 방해를 주는 잡음원이 될 수 있고 반대로 다른 시스템에 의하여 형성된 전자파 환경의 방해를 받는 피해원이 될 수 있다.

완성차량이 방해를 받는 피해원일 경우, 완성차량의 입력이 되는 전철변전소로부터 전달되는 전도성 잡음방해와 외부 시스템에 의하여 형성되어 완성차량에 복사 및 유도의 형태로 전달되는 잡음방해를 고려할 수 있다. 그러나 완성차량의 전자파 내성을 평가하기 위하여 전철변전소의 높은 전압 또는 전류출력에 잡음을 인가하거나 완성차량 전체에 전자기장을 형성하는 것은 매우 어렵고 비용과 시간이 필요하게 된다. 그러므로 완성차량의 전자파 내성에 대한 평가는 보다 높은 잡음환경을 고려한 상황에서의 차상장치의 전자파 내성을 평가함으로써 적용이 가능하며, 2.3절의 표 2는 이를 포함하여 제시된 것이다.

완성차량이 방해를 주는 잡음원의 역할을 할 경우 발생하는 잡음의 세기는 차량의 운행에 따라 다르게 발행하므로 가능한 다양한 운행조건이 포함된 상황에서 적합성을 평가해야 한다. 완성차량에서 발생하는 방해는 궤도를 통하여 전달되는 전도성 잡음방해와 완성차량이 형성한 전자기장에 의하여 복사 또는 유도되어 전달되는 잡음방해로 구분하여 고려할 수 있다. 이 때 완성차량에 의한 방해를 가장 많이 받게 되는 것이 지상신호 시스템과 차량을 이용하는 승객이므로 주로 이를 고려한 전자파 방해 시험을 실시한다. 완성차량의 전자기적합성을 입증하기 위하여 실시되어야 할 시험은 다음의 표 4와 같이 제시될 수 있다.

표 4. 완성차량의 전자기적합성 시험 항목

시험 항목		시험 내용
전도성 잡음방해		완성차량에 의하여 발생하여 궤도를 통하여 전달되는 잡음 중 궤도회로의 동작에 영향을 줄 수 있는 잡음의 강도를 궤도회로를 사용하는 신호장치의 전자파 내성을 고려한 허용치 이내로 규제한다.
복사성 잡음방해		완성차량으로부터 복사의 형태로 전달되는 잡음에 대하여 외부 전자파 환경을 고려한 허용치 이내로 규제한다.
유도성 잡음방해	객실 자계강도	객실로 전파되는 전원주파수의 자계강도를 인체영향을 고려한 허용치 이내로 규제한다.
	궤도 자계강도	궤도로 전파되는 전원주파수의 자계강도를 지상신호장치의 전자파 내성을 고려한 허용치 이내로 규제한다.

각 시험의 구체적인 시험방법 및 평가기준은 다음의 표 5와 같이 제시 할 수 있다.

표 5. 완성차량 전자기적합성 시험방법 및 평가기준

시험 항목	시험방법	평가 기준
전도성 잡음방해	전철변전소의 귀선에서 귀선전류의 고조파성분을 분석하고 환경잡음으로부터 차량잡음을 분리하여 궤도회로의 해당 주파수에서의 전자파 내성과 비교한다.	궤도회로의 사용주파수 대역인 9.25kHz ~ 16.5kHz에서 차량에 의하여 발생한 고조파의 크기를 50mA 이내로 규제
복사성 잡음방해	IEC 62236-2 및 IEC 62236-3-1	
객실 자계강도	높은 자계강도를 발생하는 장치가 위치한 점을 기준으로 분포된 다수의 측정 점을 설정한 후 표준체형의 앉은 자세에서 무릎 높이와 서있는 자세에서의 머리 높이에서 측정을 실시한다.	정보통신부 고시 제2000-91호
궤도 자계강도	양 궤도에서 중앙 및 지면에서 궤도높이에 측정 점을 설정하고 차량이 측정 점을 통과할 때 발생하는 자계강도를 측정한다.	측정지점에서의 자계강도를 차상장치 및 궤도회로의 전자파 내성을 고려하여 24mT 이내로 규제

완성차량의 전자기적합성의 입증을 위한 시험에 관한 구체적인 실시방법 및 평가기준은 복사성 잡음방해를 제외하고는 아직 국제적으로 명확히 규정된 바가 없다. 그러나 표 4 및 표 5에서 제시된 사항은 유럽의 아테네에서 도입한 신규 직류 및 직류/교류 혼합 차량에 적용되었으며 시스템 운영자의 전자기적합성에 관한 안전기준을 통과하였다. 궤도회로를 사용하는 신호장치는 궤도를 통하여 해당 구간에 할당된 주파수를 사용하여 차량과 정보를 송수신 하므로, 궤도로 흐르는 전류의 고조파 성분 중 궤도회로의 해당 주파수와 간섭을 일으킬 수 있는 신호가 있을 경우는 신호장치의 안정적인 동작을 보증할 수 없게 된다. 그러므로 궤도로 흐르는 전류의 고조파 성분 중 궤도회로에서 사용하는 주파수 대역을 차지하는 고조파 성분을 궤도회로를 사용하는 신호장치의 전자파 내성을 고려한 허용치 이내로 규제할 필요가 있으며 이를 전도성잡음 시험을 통하여 확인 할 수 있다. 그러나 궤도에 흐르는 전류는 차량의 리액턴스 성분 및 고속 스위칭 소자 등의 여러 가지 잡음발생 요인에 의한 고조파 성분뿐만 아니라 변전소의 정류기 시스템의 특성으로 인하여 발생한 고조파 및 외부로부터 궤도를 통하여 전도된 고조파 성분까지 다양한 잡음을 포함하고 있으므로 차량에 의하여 발생한 고조파 성분에 대한 정밀한 분석 및 평가 기법이 필요하며 또한 해당 신호장치는 전자파 내성 시험을 통하여 명확히 입증된 판별기준을 제시하여야 한다. 전도성 잡음방해의 경우 그 평가기준이 궤도회로를 사용하는 신호장치의 특성에 따라 변하므로 표 5에 제시된 기준과 동일 할 수는 없으나, 평가를 위하여 공통으로 고려하여 할 요소로서 궤도회로에

할당된 주파수, 주파수에 싣는 신호의 세기, 신호장치의 판별시간을 들 수 있다. 표 5에 제시된 궤도회로는 SIEMENS에서 제작한 신호설비를 예로 제시한 값이다. SIEMENS의 신호장치는 각 중심주파수 9.25kHz/10.5kHz/11.5kHz/12.5kHz/13.5kHz/14.5kHz/15.5kHz/16.5kHz를 중심으로  $\pm 300\text{Hz}$ 의 신호대역을 가지고 FSK변조 방식으로 전송되며 궤도회로에 일정간격으로 할당된다. 그리고 수신단은 신호가 가령 50mA를 이상의 세기로 일정시간동안 입력되면 이를 신호로 인식하게 된다. 이때 차량에서 발생한 고조파 성분이 궤도회로에 할당된 신호대역에 포함되고 그 크기와 지속시간이 신호의 판별 기준과 부합되게 발생할 경우, 수신단은 이를 잡음신호를 인식하지 못하고 오작동하게 된다. 각 신호장치 제작사별로 사용 주파수, 판별을 위한 신호의 세기 및 시간 등은 다르나 시험에 있어 측정 방법 및 판별 방법은 동일하게 적용할 수 있다. 완성차량은 주행 중 다양한 주파수 대역에서 다양한 강도를 가지는 전자기장이 형성되어 외부시스템에 방해로 주게 되므로 외부 시스템의 전자파 환경을 고려한 허용치 이내로 규제할 필요가 있다. 또한 높은 입력전류를 사용하는 장치나 차량에 배열된 전송선로에 의하여 전원주파수의 높은 강도를 가지는 자기장이 형성된다. 이렇게 형성된 자기장은 객실로 전파되어 인체에 좋지 않은 영향을 주거나 지상으로 전파되어 궤도나 신호선로에 전류잡음 형태로 유도된 후 지상신호장치의 정상 동작에 영향을 줄 수 있으므로 적정 허용치 이내로 규제할 필요가 있다. 전자기장에 의한 인체영향에 대한 논란은 있으나 승객은 짧게는 5분에서 길게는 1시간 이상 차량을 이용하므로 이에 대한 고려가 반드시 필요한 것으로 본다.

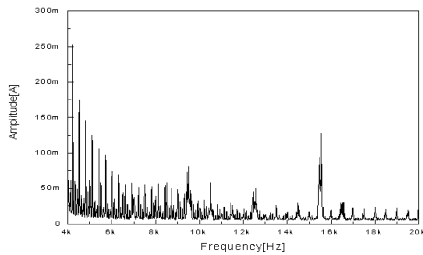


그림 1 전도성잡음방해의 예



그림 2 아테네현지 시험

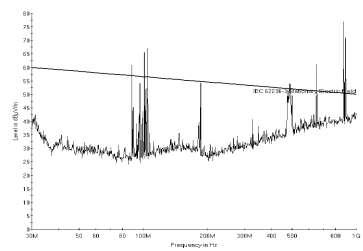


그림 3 복사성잡음방해의 예

### 3. 해외의 동향 및 적용

해외의 선진철도에서는 전기철도시스템 공급자에게 전자기적합성에 관한 표준을 정하고 전자기적합성 입증에 관한 계획을 제출하여 실시할 것을 요구하고 있다. 또한 전기철도시스템의 제어가 더욱 복잡한 전자시스템에 의하여 이루어지고 점점 무인화 추세로 감에 따라 이러한 전자기적합성을 전기철도안전에 있어 매우 중요한 부분으로 채택하여 시스템 공급자가 명확히 해당 시스템의 전자기적합성을 입증하지 못할 경우, 계약 위반에 따른 과태료를 부과하거나 해당 시스템의 납품을 받지 않고 있다. 그러므로 전기철도차량의 안전성 확보 및 원활한 시장으로의 공급을 위해서는 검증되고 표준화된 기준을 제시하지 않을 수 없다.

현대는 안전의 시대이다. 제조물 책임법 등의 사례에서 볼 수 있듯이 사용자의 안전을 고려하지 못하면 그 시스템은 올바르게 평가받을 수 없다. 전기철도는 특히 대량 인원의 운송을 담당하고 있으므로 더욱 그러할 것이며 국내의 경우도 마찬가지로 전기철도의 안전에 대한 인식은 강화되어야 할 것이다.

#### 참고문헌

1. 철도기술연구원, “전기차량의 신호시스템으로의 전자기간섭”, 2004, 장동욱, 한문섭, 이장무
2. 철도기술연구원, “전동차 EMC 측정을 위한 시스템 구성 및 개발”, 2004, 박영 외 5명
3. 로템, “EMC Type Test Report for DC Train”, 2004, 김민철, 공명상
4. 로템, “EMC Type Test Report for DV Train”, 2004, 김민철, 공명상