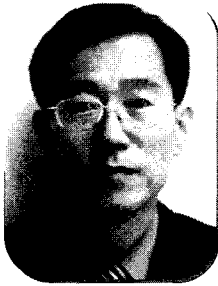
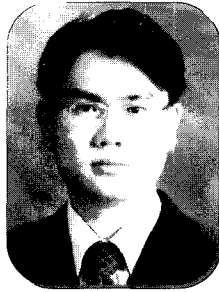


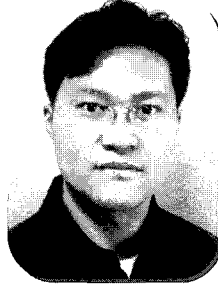
전기철도에서의 고조파 전류와 전자계 측정 동향



박현준
한국철도기술연구원
전기·신호연구본부
본부장



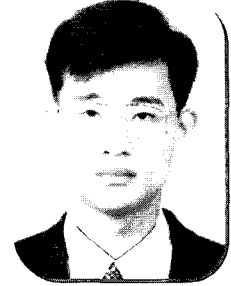
박 영
한국철도기술연구원
전기·신호연구본부
선임연구원



장동욱
한국철도기술연구원
전기·신호연구본부
주임연구원



한문섭
한국철도기술연구원
전기·신호연구본부
선임연구원



이장무
한국철도기술연구원
전기·신호연구본부
선임연구원

1. 서론

전기철도에서의 EMC 시험은 유럽에서 EN50121 (EMC in Railway) 규격화를 시행하면서 수년 전부터 추진되었다. 최근에는 국제적인 IEC (International Electrotechnical Commission) 규격으로 2003년에 IEC62236 "Railway application - EMC" 규격이 제정되었다. 또한 국내에서는 전기철도의 발전과 함께 고속화 및 열차운행간격 단축에 따른 철도안전의 중요성이 대두되어 전자적 악영향에 대한 연구가 필요한 실정이다. 특히 전자 환경에 대한 관심이 높아지고 있고 송전선 아래의 자계와 휴대 전화로부터의 전자파 등이 문제가 되는 일이 많아지고 있다. 전기 철도분야에서도 파워 일렉트로닉스 기술이 발전과 제어 방식의 고도화에 동반하여 전자계의 방사가 증가하고 있다고 생각할 수 있다. 그러나 전동차의 EMC 관련항목 측정은 아직 측정 방법 및 절차가 정확히 정해지지 않았고, 측정 장비와 프로그램 분석 방법 또한 전기철도 시스템에 적합하지 않다.

본 원고에서는 전기 철도에서의 EMC 측정 항목 중 차량 내·외부의 전자계 측정 항목과 철도 운행 중 발생하는 고조파 전류에 대하여 설명하고 소개하고자 한다.

2. 전기 철도의 전자계와 측정방법

2.1 전자계의 영향

전계는 전압을 거는 것에 의해 모이는 전하가 미치는 공간을 말하며 그 강도는 kV/m로 나타낸다. 또 자계는 전류(전하의 흐름)가 흐르는 것에 의해 주위에 미치는 공간을 말하며 시간적으로 변화하는 전계, 자계의 경우는 상호 관련지을 수 있고 상호 조합된 파(波)로서 진동하는 전자파를 발생하게 된다. 전기 철도의 경우, 상용 주파수와 제어 장치의 제어 주파수, 반송 주파수를 가진 전계, 자계가 발생하지만 그것은 기껏해야 수 kHz 정도까지이고 전자파의 파장은 수 10 km에 이르기 때문에 전자파로서의 성질은 나타나지 않는다고 생각할 수 있다. 따라서 전기 철도에서 전자와 전계는 독립적으로 다룰 수가 있다. 전기 철도에서 발생하는 전자계는 위와 같이 직류와 수 kHz 정도의 중·저 주파수 교류가 중심이지만 기기에 대한 영향을 생각하는 경우, 우선 신호 보안 설비에 대한 영향이 고려되어야 한다. 특히 VVVF 인버터 제어 차량의 도입에 의해서 직접 전달되는 노이즈가 증가하고 신호 보안 설비에 노이즈로서 혼입하고 정상 동작을 방해하는 것도 예상된다. 이러한 신호 보안 설비에 대한 영향을 방지하기 위해서 신호 보안 설비 쪽에서 처리

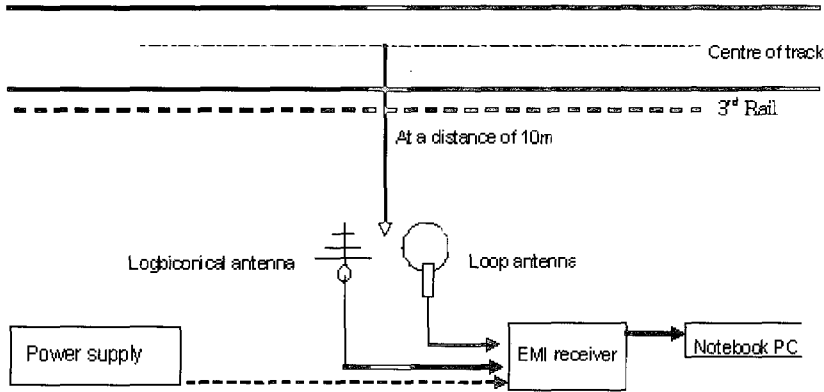
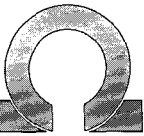


그림 1. 차량방사 전자기파 측정 방법과 계측기 구성도.

하는 경우 (궤도 회로에 시소(시간 요소)를 설치하거나 회로 정수를 변경하거나)도 있지만 기본적으로는 차량측에서 대처하고 있다.

전계가 인체에 미치는 영향에 대해서는 대체로 표.1와 같다.

표 1. 전자계가 인체에 미치는 영향.

전계 강도 (kV/m)	영향
10~12	체모 진동을 지각
12~25	불쾌감, 스트레스를 느낀다.
25~	이상 상황에 빠진다.

전기 철도에서 관측되는 전계 강도는 약 120 dB (μ V/m) 이하이며 1kV/m 이하로 있는 것에 문제가 없다고 생각한다.

표 2. 상용 주파수에 따른 자계의 영향.

전류 밀도(mA/m ²)	자속 밀도(mT)	생물학적 영향
1~10	0.5~5	약간의 생물학적 영향
10~100	5~50	시각, 신경으로의 영향
100~1000	50~500	근육의 자격
100~1000	500~	심장과 심실의 수축

자계가 인체에 미치는 영향에 대해서 IRPA (방사선 방호 협회)에서는 상용 주파수에 따른 자계의 영향에 대해서 표.2와 같이 정리하고 있다.

열작용에 대해서는 수 100MHz 이상의 고주파에서 체내에 적은 전류가 생기고 그 줄열에 의해 가열된 현상이다. 유전적 영향에 대해서는 각 국에서 전염병 조사가 이루어져 그 유무 의문이 활발해 지고 있지만 현재로는 확실하게 영향이 있다고는 증명은 되고 있지 않다. 따라서 전기 철도에 대해서 발생하는 주파수 성분을 고려하고, 비열 작용에 대해서 고려하면 좋다고 생각된다. 그러나 자격 작용에 대해서 체내에 유도되는 전류 밀도는 직접 측정할 수 없으므로 얼마간의 측정값을 가지고 지침 값에 적합인가에 대한 어떤가의 판단이 필요하게 된다. 또한, 그 외의 작용에 대해서는 검증되어 있지 않기 때문에 차후의 연구가 필요하다.

2.2 전자계 측정방법

그림 1에 차량방사 전자기파 측정 방법과 계측기 구성도를 나타내었다. 두 가지의 서로 다른 안테나를 제 3궤조방식의 트랙 중심으로부터 10 m 거리에 설치하여 측정하였다. 이 중 Loop 안테나의 주파수 범위는 9 kHz에서 30 MHz 이며 logbiconical 안테나의 경우는 30 MHz에서 1 GHz까지의 주파수 범위에서 측정이 가능하며 측정된 신호의 분석과 저장은 EMI 수신기를 이용하였다. 승객이 위치하는 객차내부의 자계 측정은 전동차의 바닥과 바닥 위 60 cm 에 측정을 한다. 측정 중 전동차는 회생과 제동을 하였으며 각 주파수에 따른 최고 자계값을 기록하여 평가한다. 그림 2와 그림 3에 바닥면에서의 전자계측정 사진과 바닥 위 60 cm에서의 전자계측정 사진을 나타내었다.

그림 4에 전자파 측정 사진을 나타내었다. 전자계 측정 전에 측정할 측정 장소 주변의 background 노이즈를 먼저 측정하여 실제 전자파 측정 시 이를 비교하여 실제적으로 전동차에서 방사되는 전자계를 확인 할 수 있다.

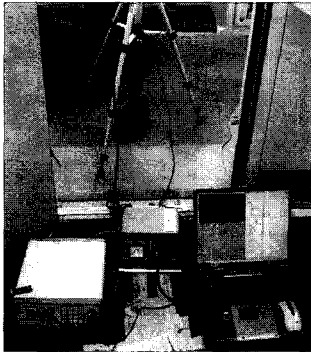


그림 2. 바닥 면 자계 크기 측정사진.

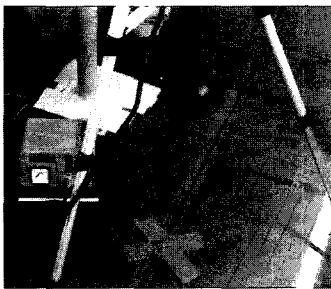


그림 3. 바닥 600 mm 위에서 측정한 자계 크기 측정사진.

3. 전기철도에서의 고조파 전류 측정

전자·전기 기기를 전력 계통에 접속하면 그 전원 입력 회로의 비직선성, 콘덴서 입력 정류 회로와 위상 제어 회로, 스위칭 회로 등에 의한 유통각은 작고 또, 스위칭된 전류에 의하여 고조파 전류가 생긴다. 이 고조파 전류와 계통 인피던스에 의하여 생기는 고조파 전압이 계통에 있는 각종 전기 기기·설비에 악영향을 주는 것이 고조파 문제이다. 고조파를 발생하는 기기에 있어서 큰 고조파 전류가 발생하는 대전력 기기 인 경우는 물론, 고조파 전류 발생의 조그만한 예를 들

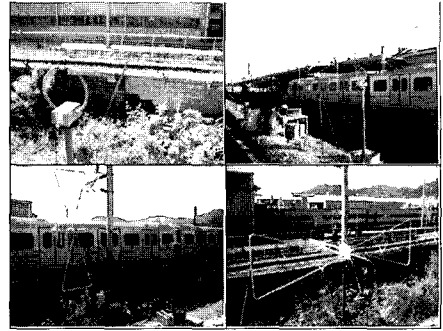


그림 4. 차량방사 전자파 측정사진.

면, 소형 기기도 그 전류 파형이 위상적으로, 또한 형태적으로 유사하고 많은 기기의 동시 사용이 미리 예측되는 대량 생산 기기에서 고조파 전류의 적산성이 생기는 것에 따라 고조파 문제가 될 가능성이 있다.

따라서, 이 경우의 소형 기기에는 고조파 전류의 발생을 상당히 작게 억누를 수 있는 것이 요구되고 게다가 소형 기기의 경우는 계통에 접속이 자유롭기 때문에 고조파 대책은 각각의 기기의 설계·제조 단계에서 상당히 엄격한 억제 레벨로 대책을 실시하는 것이 요구되게 된다. 전기철도에서의 고조파 전류 측정은 측정 결과값이 제한치를 만족하는지를 검토하여 전동차가 운행할 때 철도 기반시설 및 선로에 인접한 주변 환경과 공존할 수 있다는 것을 현장시험을 통하여 나타내는 것이다. 그림 5에 APT 주파수대역의 전도성 잡음 측정 시스템 구성도를 나타내었다. 고조파 측정장치는 교류 25kV의 귀선에 CT를 연결하여 측정하였다. 측정된 신호는 National Instruments의 PXI 시스템에 연결하여 전류를 CT 비에 맞추어 증폭하였고 이후 본 연구를 위하여 직접 개발한 프로그램을 이용 FFT 분석하였다. 측정된 신호는 컨트롤러에 모니터를 연결하여 실시간 분석이 가능하다. 또한 측정 중 안정된 전원을 공급하기 위하여 UPS를 이용하였다. 고조파 측정은 정상조건에서 B, SIV 및 MR 모드로 실행하였으며 비정상 조건에서도 위의 시험을 반복하였다. 시험의 초기단계로 B 모드에서 시험선 자체의 background 노이즈를 측정하였고 이후 역에서 최대 부하로 SIV 모드에서 열차의 고조파 전류를 측정하였다. MR 모드 측정은 열차의 견인력 혹은 breaking 이 최고상태일때의 열차에 의해 나타나는 고조파 전류를 측정하는 것이다.

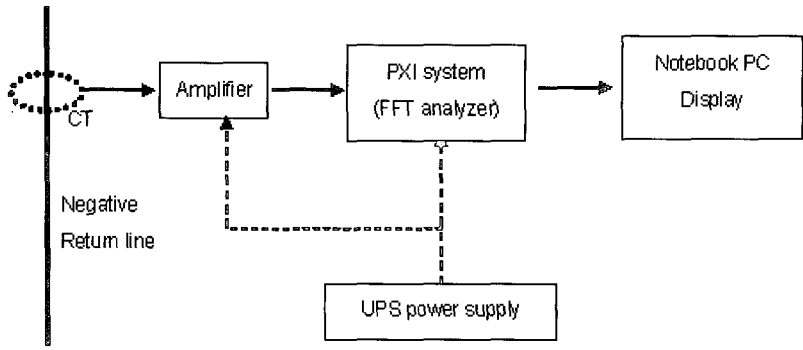


그림 5. APT 주파수대역의 전도성 잡음 측정 시스템 구성도.

4. 결론

이상, 국내 전기철도의 EMC 시험과 관련하여 전기 철도에서 발생하는 전자계 종류와 특징, 그 레벨 등을 설명하고 이들 전자계가 어떠한 영향을 미칠 수가 있는지 또한 전기철도에서의 고조파 전류 측정방법에 대하여 나타내었다.

현재의 지침과 대조하여 전기 철도에서의 전자계와 고조파 전류가 바로 인체와 시험설비에 저촉한다는 우려가 적으나 전기 철도에서의 전자계 발생 실태와 고조파 전류 측정에 대해서는 아직 데이터가 부족하며 보다 정확한 측정과 측정 데이터의 축적이 요망되고 있으나 현재 국내 기술진에 의해 시험을 계속적으로 수행하고 이 분야에서의 수많은 기술 발전 및 know-how가 쌓이고 있음을 확신한다.

· 저 · 자 · 약 · 력 ·

성명 : 박현준

- ◆ 학력
 - 1981년 홍익대 전기공학과 공학사
 - 1983년 홍익대 대학원 전기공학과 공학석사
 - 2004년 홍익대 대학원 전기공학과 공학박사
- ◆ 경력
 - 1986년 - 1991년 삼성전기(주)정밀기기연구실 과장
 - 1992년 - 1996년 현대중공업(주)중앙연구소 책임연구원
 - 1997년 - 현재 한국철도기술연구원 전기·신호연구본부 본부장

성명 : 박 영

- ◆ 학력
 - 2002년 성균관대 대학원 전기전자컴퓨터공학부 공학석사
 - 2004년 성균관대 대학원 전기전자컴퓨터공학부 공학박사
- ◆ 경력
 - 2004년 - 현재 한국철도기술연구원 전기·신호연구본부 선임연구원

성명 : 장동욱

- ◆ 학력
 - 1998년 충북대 전기공학과 공학사
 - 2000년 충북대 대학원 전기공학과 공학석사
- ◆ 경력
 - 2000년 - 현재 한국철도기술연구원 전기·신호연구본부 주임연구원

성명 : 한문섭

- ◆ 학력
 - 1991년 인하대 전기공학과 공학사
 - 1994년 인하대 대학원 전기공학과 공학석사
- ◆ 경력
 - 1985년 - 1995년 국방과학기술연구원 연구원
 - 1995년 - 현재 한국철도기술연구원 전기·신호연구본부 선임연구원

성명 : 이장무

- ◆ 학력
 - 1991년 한양대 전자통신공학과 공학사
 - 1994년 한양대 대학원 전자통신공학과 공학석사
- ◆ 경력
 - 현재 한국철도기술연구원 전기·신호연구본부 선임연구원