

# 고속철도변 전자파 측정과 문제점 검토



이여상근  
한방유비스 이사

고속철도 전력 공급시스템에서 발생하는 전자파 중 극저주파수 대역의 고조파는 인체 안전은 물론 통신시설에 유도장해를 발생시키므로 이와 같은 피해가 발생하지 않도록 전자파(전기장과 자기장)의 세기는 전기시설안전관리법, 전파통신법, 산업안전관리법으로 기준치를 엄격하게 규제하고 있다.

본고는 인체 안전에 직결되는 극저주파수 대역(3~1000Hz)의 자기장 세기를 측정하여 법적 제한치 초과여부를 검토하였고, 고속철도 주변 통신회선에 잡음전압을 발생시키는 주파수 대역(300~3400Hz)의 자기장 세기와 통신회선에 발생하는 유도잡음전압을 측정하여 고속철도변 통신회선에 대한 전력유도대책의 타당성을 검토하였다.

## 1. 각종 법령에 나타난 전자파 보호기준 검토

전자파 인체 보호기준은 전파법 제47조의 2제1항의 규정에 의하여 정보통신부고시 제2001-88호('01.11.10) 기준이 있다.

이 고시는 전자파인체보호기준에 관하여 필요한 사항을 규정하고 있으며 주요 내용은 주파수 대역별 전기장의 세기와 자기장의 세기 및 전력밀도 기준치를 정하고 있다.

전력유도장해 방지를 위해 전기사업법 제67조

및 전기사업법시행령 제43조의 규정에 의하여 산업자원부 고시 제 2005-1호(2005. 1. 10)전기설비기술기준이 있으며, 철도는 건설교통부령 제455호 철도차량 안전기준 규칙 및 건설교통부 고시 제 2005-438호 안전기준 지침에 따라 유도장애에 대한 대책이 마련되어 있으며 구체적인 내용은 다음과 같다.

제6조 규칙 제19조에 의하여 다음 각 호와 같이 전자기유도 장애에 대한 기준치를 만족해야 한다.

- 1) 철도차량에 설치된 기기 또는 장치는 한국산업규격 ks c iec 62236-3-2의 전기자기 기준치를 만족해야 한다. 단 추진 및 보조전원장치와 같이 정상적인 시험이 어려운 경우 전자기 유도 방지를 위한 대책이 있어야 한다.
- 2) 철도차량은 KS C IEC 62236-3-1의 전기자기 기준치를 만족해야 한다.

## 2. 잡음 발생원과 고조파 특성

고속철도전력시스템의 잡음발생원은 전력변환장치인 인버터에서 대부분 발생한다.

일반적인 인버터는 내부에서 상용전원을 정류해 일단 직류로 하고 그 다음으로 가변전압, 가변 주파



60Hz와 800Hz 겹침전압은 35dB 이상 차이가 남

그림 1. 고속열차에 의해 발생된 고조파 감쇠특성

수의 출력을 변환해서 모터의 가변속 운전이 가능하도록 정류를 시행하고 가변 주파수를 만들기 위한 고속 스위칭으로 10KHz 이상 고조파가 발생하여 공중으로 노이즈를 방사한다.

인버터에 의해 발생된 고조파는 전차선을 따라 흐르는 전도성 노이즈가 되며 이때 흐르는 기수(5,7,9...)고조파 전류가 인접 통신회선에 유도잡음전압을 발생시키는 원인이 되나 차수(15n)고조파인 900Hz 까지는 차수 n에 반비례(1/15) 비율로 감소하나, 900Hz 이후에는 1/n<sup>2</sup> 비율로 세기가 줄어드는 특성이 있다.<sup>1)</sup>

그림1은 고속열차에 의해 발생된 고조파 감쇠특성을 보여주고 있다.

기본파 25dBm, 3고조파 15dBm, 5고조파 0dBm, 15고조파는 -20dBm을 보여주고 있다.

### 3. 전자파(자기장)측정

#### 가. 동대구역 구내 자기장 세기

표 1.

구 분	자기장 세기 mG			비 고
	구내진입전	정차 중	정차시	
승하차장	6.8	3.6	1.6	측정가-전차선 이격거리 3m

- 측정일시 : 2008.2.14 08:00

- 측정기명 : EMF FIELD TESTER (EMF-701)

#### 나. 객실내 자기장 세기

표 2.

측정구간	자기장 세기 mG		비 고
	최소	최대	
동대구-김천	0.5	44.2	열차 운행중 '08.2.14 08:12~08:23
대전-아산	1.8	29	열차 운행중 '08.1.28 08:21~08:24

#### 다. 전차선 주변 자기장 세기

표 3.

구 분	최대 자기장 세기			측정 장소	측정 일시	비 고
	열차접근전	통과 중	통과 후			
전차선 수직 상단 3m지	10.5	9.6	27.7	"	'10. 9. 9 11:18~11:19	부산발 동대구착
전차선 수직 상단 3m지점	8.3	8.2	9.1	대구시 만촌동	'10. 9. 9 11:45~11:47	교행
전차선과 25m 이격	0.3	0.2	0.9	"	'10. 9. 9 12:24~12:25	동대구발 부산착
전차선과 25m 이격	1.6	1.1	0.5	"	'10. 9. 9 12:26~12:27	부산발 동대구착
전차선과 10m 이격	1.7	0.5	0.2	대구시 만촌동	'07. 5. 21 16:22~16:23	부산발 동대구착
전차선과 12m 이격	0.4	0.3	0.8	칠곡 지천면	'07. 7. 6 18:29~18:33	동대구발 서울착

1) 통신유도전압 예측계산표준설계 최종보고서(한국과학기술원 1993.10)p.2-11 참조



그림 2. 고속열차 객실 내부 및 레일 옆 12m, 지상고 1m에서 자기장 측정

표1의 열차 내부 측정 데이터는 2005년도 철도청 합동진단팀의 측정 결과와 비슷한 크기로 당시 측정된 값은 KTX 객실의 경우 최저1mG, 최고 50mG, 평균 15mG 내외, 객차 연결통로는 최저 10mG, 최고 80mG, 평균 20mG내로 측정되었다.

측정된 전자파(자기장)의 세기는 국내기준 및 국제비전리방사선보호위원회(ICNIRP)기준 833mG 기준보다 크게 낮은 수준으로 인체에 전혀 영향이 없는 것으로 분석되었다.

그림2는 고속열차 객실 내부 및 레일 옆 12m, 지상고 1m에서 자기장을 측정하고 있다.

#### 4. 통신회선 전력유도잡음전압 측정

표 4.

측정일	측정주관	비차폐 선간잡음전압			측정장소
		최대	최소	평균전압/ (측정회수)	
2001. 2. 27	KT외 5개기관	0.078	0.04	0.05 (125회)	충북 오송
2005. 8. 5	저자	0.075	0.028	0.05 (약5회)	대구시 만촌동
2006. 8. 10	KBS 외 철도공단	0.025	0.025	0.025 (약10회)	충북 옥천 철도보수창 기지

- 충북 오송지역은 고속철도변에 차폐특성이 전혀 없는 25p 일반케이블을 레일과 1km 병행 및 레일과 통신회선 이격거리는 50~60m.
- 충북 옥천지역은 철도차량 보수기지에서 케이블 시스템 층을 차폐접지를 하지 않은 상태로 철도시설공단 관계자, 충북대, 강원대, 서울산업대 교수 및 철도기술연구원 센터장이 공동으로 측정 함.

위 측정 결과는 2001. 2~2001. 7 고속철도시험선 운행구간에서 철도시설공단의 5개기관이 공동으로 측정된 값과 유사한 크기를 보여주고 있다.

#### 5. 고속철도전력유도대책 타당성 검토

고속철도 전력시스템에 의해 고조파 제거 장치인 능동 및 수동필터가 설치되어 있고 주변 통신선에 전력유도 방지용 공중 보호선이 설치되어져 있기 때문에 전력유도를 유발시키는 고조파는 법적 기준치 이하로 감소되었고 통신시설에 유도잡음 피해를 줄 수 있는 주파수는 5차 고조파부터 50차 고조파까지 영향을 줄 수 있으나 앞에서 언급한 고조파 감소 특성에 따라 대부분 공중에서 감소되었다.

위 그림 1은 고조파 감쇠특성과 같이 상용주파수인 1차 고조파가 가장 크게 나타났으나 차수가 증가할수록 그 세기가 줄어드는 것을 보여 주고 있으며 위 3항에서 측정된 철도변 자기장의 최대값은 이격거리 10m에서 1.7mG 밖에 되지 않았다.

이와 같은 자기장의 세기는 트위스트된 통신회선에 유도잡음전압을 발생시킬 수 없을 정도로 매우 약하기 때문

에 철로변 인접통신회선은 표3과 같이 유도잡음전압이 발생하지 않았다.

표4에 기록된 0.1mV 이하의 잡음전압은 유도전압으로 볼 수 없다.

이유는 통신 케이블 내부 회선은 기본적으로 배경잡음(Background Noise)이 발생하며 법적으로도 약 0.3mV 까지 허용하고 있으므로 표4의 측정값은 전력유도에 의한 잡음전압이 아니다.

## 6. 전력유도대책의 문제점

전력유도대책은 법령(전기통신설비의 기술기준에 관한 규정)에 따라 전력유도전압을 예측계산식으로 산출하며 산출된 선간잡음전압이 제한치 1mV를 초과하게 되면 고속철도가 운행되기 전 사전대책을 수립하게 된다.

철도시설공단과 통신회사는 2001. 2경 실험을 통해 선간잡음전압이 표4과 같이 제한치 1mV 보다 약 1/10 크기의 선간잡음전압이 측정되어 유도대책 명분이 없어지자 선간잡음전압이 낮게 측정된 이유는 잡음평형도가 고시기준 보다 100배 이상 좋기 때문에 선간잡음전압이 발생하지 않았지만 향후 평형도가 고시 기준값 수준으로 나빠지게 되면 선간잡음전압이 증가할 것이라는 이유를 들어 선대지잡음전압 775mV를 기준으로 하여 유도대책 여부를 결정하였고 예측잡음전압의 신뢰성 여부는 실측 선대지잡음전압을 기준으로 판단하였다.

선대지잡음전압은 측정 회로 구성방법에 따라 선대지전압이 10배 이상 오차가 발생하게 되며, 측정기 임피던스 선정(600옴, 100키로옴)에 따라 역시 약 10배 이상 오차가 발생하게 된다.

이와 같은 측정오차가 발생함에도 통신회사는 예측잡음전압 크기와 비슷한 크기의 실측잡음전압을 얻기 위해 선대지잡음전압 측정시 ①측정기의 임피던스를 600옴<sup>2)</sup>이 아닌 100키로옴을 사용하였으며 ②측정회로 구성시 측정

회선 접지와 케이블 외피(시스)접지를 공통으로 연결치 않고 약 50m 이격된 독립접지를 사용했기 때문에 각 접지간 등전위가 형성되지 않거나 접지 기준점이 0전위가 되지 않아 지전위차가 선대지간잡음전압에 포함되어 측정된 선대지잡음전압이 실제값 보다 약 10배 이상 부풀려지게 되었고 이 전압이 예측잡음전압과 그 크기가 비슷하다는 이유를 들어 공단은 전력유도대책을 시행하게 되었다.

표준 측정회로 구성에 대해 한국전자통신연구원(주관 연구기관)에서 정보통신부에 보고한 “전기통신설비의 기술기준연구” 보고서에 구체적인 측정회로가 제시되어 있으며 국제기준(CCITT K.10)은 국내 기준과 동일한 그림을 1980 경부터 제시해오고 있음에도 불구하고 통신회사는 표준측정 회로를 사용하지 않고 부풀려진 예측전압과 비슷한 크기의 실측 전압이 계속되도록 비표준 측정회로와 측정기기를 현재도 사용하고 있다.

## 7. 국가별 고속철도 전력유도 대책 분석

KTX 고속열차를 수출한 프랑스는 우리나라와 같이 고속철도전력유도 대책을 사전에 수립하지 않는다.

프랑스는 예측계산값을 토대로 제한치 초과 구간을 사전에 파악해 두었다가 고속열차(TGV)가 개통된 이후 실측한 값이 단일 열차 운행시 0.5밀리볼트(복수 열차 운행시 제한치 1밀리볼트)초과되면 사후 유도대책을 수립하며, 독일은 잡음전압에 대한 유도대책은 수립하지 않고 있다.

우리나라는 고속열차가 개통되기 전에 유도대책공사를 완공하고 있다.

여기서 프랑스와 크게 대비되는 것은 프랑스 고속철도 구간(350Km)에 예측잡음전압이 제한치를 초과한 곳은 6곳 밖에 없었으나 우리나라는 경부고속철도 및 호남선 구간에 3,551구간이 제한치를 초과하였다.

아래 표5는 경부선 및 호남선 유도대책구간의 예측잡음전압의 실태를 보여주고 있다.

2) 전화기에서 소리의 세기는 600옴 저항에 나타나는 전압 775mV를 기준으로하여 전압의 비를 상용로그로 환산한 값이 dBm이며 절대기준값은 600옴의 회로에 1mW 전력을 공급하는 데 필요한 교류전압은 775밀리볼트를 기준전압으로 하고 있다.  
전화기에 허용되는 선간잡음전압 1mV는 600옴 저항에 발생하는 전압을 의미하며 소리의 크기로 환산하면  $20\log 1/775 = -58\text{dBm}$  이 된다.  
이와 같이 잡음세기의 모든 기준은 600옴의 저항 양단에 나타나는 전압을 기준으로 하고 있으므로 선대지잡음전압측정시 600옴의 임피던스에 나타나는 잡음전압을 측정해야 한다.

표 5.

예측선간잡음전압	구간수	비율	비고
1mV~2mV미만	109	15.8%	1mV미만 12구간
2mV~5mV미만	262	38%	
5mV~10mV미만	160	23%	
10mV~68mV	157	23%	

이와 같은 원인은 예측계산식에 적용한 각종 계수가 대부분 정형화되어 있지 않아 철도공단과 통신회사간 협의에 의해 결정된 계수를 사용함에 따라 예측잡음전압이 실제 보다 높게 산출되었고, 예측잡음전압과 실측전압 사이 오차 발생 여부를 검증하는 시험 단계에선 비표준 측정회로를 사용한 실측 선대지간잡음전압이 예측선대지잡음전압과 비슷한 크기가 되자 예측값이 적정하게 계산된 것으로 오관하고 전력유도대책을 수립하므로써 고속철도시설공단에서 예측한 전력유도대책구간이 프랑스 보다 수백 배 많은 대책구간이 발생하게 되었다.

## 7. 결론

고속철도에 의한 전력유도잡음전압은 철도전력시스템의 고조파억제장치와 공중 보호선 등으로 객실내 자기장의 세기는 인체 안전기준인 833밀리가우스에 크게 못 미치는 평균 20밀리가우스에 불과했으며 열차 승하차장은 최

대 6.8밀리가우스, 철도레일과 20미터 이격지점의 자기장 세기는 0.8밀리가우스에 불과하여 전력유도잡음전압이 근원적으로 발생하지 않는 것이 확인 되었고, 유도대책을 하지 않은 통신회선에서 측정된 유도잡음전압 역시 전력유도대책 제한치 1/20 크기인 0.05밀리볼트에 불과 했으며 이와 같은 전압은 통신회선에 기본적으로 발생하는 배경잡음(기저잡음)인 0.3밀리볼트 보다 훨씬 작은 전압이므로 유도전압이라 볼 수 없다.

그리고 전기통신설비의 기술기준에 관한 규정이 2008. 10. 29자 일부 개정되었다.

개정된 법령에 따르면 전기철도에 의한 유도잡음전압은 종전 1mV에서 2.5mV로 크게 완화되었으며 측정 전압이 단 한차례 2.5밀리볼트를 초과하였다고 해서 유도대책을 세우지 않아도 되도록 0.5밀리볼트 이상 2.5밀리볼트 보다 작은 잡음전압과 그 잡음전압이 지속되는 시간(초)을 곱한 전압의 총 합계가 30밀리볼트·초를 초과하지 아니하면 유도대책은 세우지 않아도 된다.

그럼 여기서 현행 고시인 “전력유도전압의 구체적 산출 방법에 대한 세부기술기준”에 제시된 예측계산식은 시간 개념이 도입되지 않아 계산식으로 유도대책구간을 산정하는 것은 불가능하므로 프랑스와 같이 고속철도 개통 이후 측정된 값을 근거로 사후 대책을 수립하는 것이 국가예산 낭비를 막을 수 있음을 제언한다. ☺