

한국형 틸팅열차 EMI에 관한 연구

송용수, 한성호, 장동욱
한국철도기술연구원

The Study of Tilting Train Test for electromagnetic interference(EMI)

Song, Yongsoo, Han Seong-ho, Lee Gi-sik
Korea Railroad Research Institute

Abstract - Tilting train has been developed to increase the operational speed of the trains on conventional lines which have many curves. This train are tilted at curves to compensate for unbalanced carbody centrifugal acceleration to a greater extent than compensation produced by the track cant, so that passengers do not feel centrifugal acceleration and thus trains can run at higher speed at curves. This paper developed tilting train to evaluate electromagnetic interference(EMI) performance of TTX(tilting train express) with maximum operation speed 160 km/h on Ho_nam Conventional Rail[1].

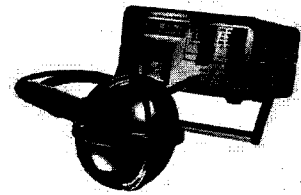


그림 1. 자계측정기(BMM-3000)

1. 서 론

전기철도차량의 전력변환시스템은 견인전동기를 제어하여 차량의 추진 및 전기제동을 수행하는 주전력변환장치와 차량내 전기기기 전원 공급 및 객차 서비스를 위한 조명설비, 냉난방설비에 필요한 전원을 공급하는 보조전원장치로 구성된다. 전력변환시스템은 전력전자기술, 고속 대용량 반도체소자 및 마이크로프로세서의 기술발달에 힘입어 높은 성능과 승차감, 효율, 안전성, 에너지 소비측면에서 뛰어난 제어능력을 갖추게 되었다. 하지만 고속 스위칭소자를 사용함에 따라 발생하는 고조파로 인해 전기차량은 물론 변전소, 신호시스템, 데이터 전송 및 감시시스템에 영향을 주게 된다. 또한 전기에너지를 사용하는 환경에서 발생하는 문제 중의 하나는 최근 여러 가지 전자기기나 정보통신기기가 폭발적으로 보급됨에 따라 대두되는 기기 상호간의 전자적인 간섭 문제와 인체 건강에 미치는 영향이다. 전기철도 환경에 존재하는 기기 상호간의 전자적인 간섭 문제는 기기에서 발생하는 불요 전자기파가 인근 환경의 무선통신, 방송의 수신장해나 전기철도 내외에서 사용하는 기기의 동작불량 원인이 되는 경우가 있다.

본 논문에서는 급전계통 및 증속열차를 고려한 고조파 해석을 위하여 현재 기존선 구간에서 신뢰성시험과 안정화시험 중인 한국형 틸팅열차를 대상으로 160km/h 주행시 차량에서 발생하는 고조파를 측정하고 등가방해 전류로 영향을 평가한 결과와 차량 내부 각 위치에서 전자계 강도를 측정하고 인체 건강 영향 관련하여 제시된 가이드라인을 기준으로 평가를 수행한 결과를 소개한다.

2. 극저주파 자계 측정 결과

2.1 측정장비 : BMM-3000

그림 1의 BMM-3000 장비를 사용하였으며, 장비의 상세한 사양은 표 1과 같다. 측정결과는 rms값이 LCD로 표시되며, 아날로그 출력이 있어 데이터 기록 및 분석이 가능하다.

표 1. BMM-3000 사양

Measurement range	5 nT-2 mT
Frequency range	5 Hz-2 kHz (-3 dB)
Fixed Band Filters	16.7, 50, 100, 150 Hz
Scanning Band Filters	74 filters
Accuracy	Better than ±(40nT+5%)
Display	Alphanumeric LCD, analog
Outputs	Analog x, y, z, and RMS
Interface	Serial RS232,9600 baud
Battery Type	4 x 1.5 V (R20)
External Power Supply	6-9 V DC (shielded)
Dimensions	180 x 190 x 100 mm
Probe	430 mm
Weight	2.6 kg including batteries

2.2 측정 방법

측정은 약 60 cm높이에 자계 센서를 설치하였으며, 설치된 장소에서 역행, 제동, 타행운전을 하는 동안 측정하였다. 자계는 BMM-3000의 아날로그 출력에서 신호를 받아 FFT를 실시하여 peak hold로 측정하였다. 동시에 5 Hz~2 kHz의 rms 값도 기록하였다.

2.3 판정 기준

판정기준은 ICNIRP(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 국제비전리방사위원회)에서 제안한 "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields"에서 제시한 기준으로 하였다. 또한 정보통신부고시 제2000-91호(2000.12)에서 제시한 전자파 인체보호기준도 ICNIRP에서 제시한 기준과 같은 것을 사용하고 있다. 표 2 및 3에 전자파인체보호기준에 대한 값을 나타내었다. 표에서 확인할 수 있듯이 우리나라에서 사용하는 상용주파수 60 Hz 자계에서 일반인에 대한 기준은 83.3 μT이며, 전계는 4,167 V/m인 것을 확인할 수 있다.

표 2. 일반인에 대한 전자파 강도 기준

주파수 범위	전기장 강도 (V/m)	자기장강도 (A/m)	자속 밀도 (μT)
1㎐ 이하	-	3.2×10^4	4×10^4
1㎐ 이상 ~ 8㎐ 미만	10,000	$3.2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$
8㎐ 이상 ~ 25㎐ 미만	10,000	$4,000 / f$	$5,000 / f$
0.8㎐ 이상 ~ 3㎐ 미만	$250 / f$	4/f	5/f
3㎐ 이상 ~ 150㎐ 미만	87	5	6.25
0.15㎐ 이상 ~ 1㎐ 미만	87	$0.73 / f$	$0.92 / f$
1㎐ 이상 ~ 10㎐ 미만	$87 / f^{1/2}$	$0.73 / f$	$0.92 / f$
10㎐ 이상 ~ 400㎐ 미만	28	0.073	0.092
400㎐ 이상 ~ 2,000㎐ 미만	$1.375f^{1/2} / 2$	$0.0037f^{1/2}$	$0.0046f^{1/2}$
2㎐ 이상 ~ 300㎐ 미만	61	0.16	0.20

비교: 1. 주파수(f)의 단위는 주파수 범위란에 표시된 단위와 같다. 2. 전기장강도, 자기장강도 및 자속밀도는 실험치로 한다.
 2. 자속밀도는 자기장강도에 자유공간의 투자율($4\pi \times 10^{-7}$)을 곱한 것이며 전력밀도는 주어진 주파수에서 전기장강도에 자기장강도를 곱한 것이다.
 3. 100kHz 이하의 주파수대역에서 측정값은 시간평균을 취하지 않은 최대값으로 한다.
 4. 100kHz 이상 10GHz 미만의 주파수 대역에서 측정 평균시간은 6분으로 한다.
 5. 10GHz 이상의 주파수대역에서 측정 평균시간은 68/f1.05 분으로 한다. 단, f의 단위는 GHz 이다.
 6. 동일 장소 또는 그 주변에 복수의 무선국이 전자파를 복사하는 경우 또는 하나의 무선국이 다중주파수의 전자파를 복사하는 경우 전기장강도 및 자기장강도에 관하여는 위 표의 각 주파수에서 복사되는 값의 기준값에 대한 비율의 제곱의 합 또는 전력밀도에 관하여는 위 표의 각 주파수에서 복사되는 값의 기준값에 대한 비율의 합이 각각 1을 초과하지 않아야 한다.

표 3. 직업인에 대한 전자파 강도 기준

주파수 범위	전기장강도 (V/m)	자기장강도 (A/m)	자속밀도 (μT)
1㎐ 이하	-	1.63×10^5	2×10^5
1㎐ 이상 ~ 8㎐ 미만	20,000	$1.63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$
8㎐ 이상 ~ 25㎐ 미만	20,000	$2 \times 10^4 / f$	$2.5 \times 10^4 / f$
0.8㎐ 이상 ~ 3㎐ 미만 (저주파 주파수 범위)	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$

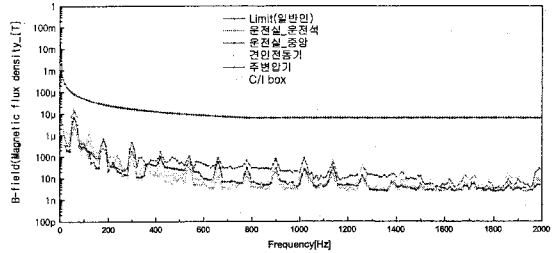


그림 2 전자파 측정 결과

2.4 측정 결과

그림2 결과들은 측정시간 동안에 각 주파수에 대해서 peak hold로 데이터를 측정하였기 때문에 측정시간 중 가장 큰 값을 기록한 것이다. 측정결과 자속밀도 값이 모두 정보통신부고시 제2000-91호(2000.12)에서 제시한 일반인에 대한 전자파 강도 기준을 하회하는 것으로 나타났다.

3. 차량 등가방해 전류 측정 결과

3.1 측정 방법

측정은 로그스키코일을 차량의 주변압기 1차측에 설치하여 전류를 측정하고, DAQ card를 통하여 A/D 변환이 이루어지며, 노트북에서 등가방해전류를 계산하여 기록한다.

유도성 잡음은 궤도 인근의 저주파수 대역의 아날로그 통신회선에 영향을 많이 주는 것이 일반적이고 현대 철도에서는 이러한 아날로그 통신회선의 사용이 줄고 있어 인근에 영향을 받을 수 있는 저주파수 대역의 아날로그 통신회선이 없을 경우에는 시험의 중요도가 전도성 잡음 시험에 비하여 떨어진다 할 수 있다. 그러나 기존 저주파수 대역의 잡음에 민감한 아날로그 통신회선이 설치되어 활용하고 있는 경우에는 통신회선이 잡음에 영향을 받지 않도록 유도성 잡음에 대한 고려가 필요하다. 전기철도에서 적용된 방식은 주로 CCITT (국제전신전화자문위원회 ; International Consultative Commission on Telephone and Telegraph Systems) 에서 사용되는 등가방해전류이다.

각 조파별 등가방해전류(J_{pn})는 각 조파별 전류를 그림 4.5에서와 같이 해당 주파수에 대한 잡음평가계수(S_{fn})를 곱하여 산출되고, 등가방해전류(J_p)는 각 조파별 등가방해전류에 의해 식 (1)과 같이 산출한다.

$$J_{pn} = S_{fn} I_n \quad (A), \quad S_{fn}: \text{잡음평가계수} \quad (1)$$

$$J_p = \sqrt{\sum (J_{pn})^2} \quad (A)$$

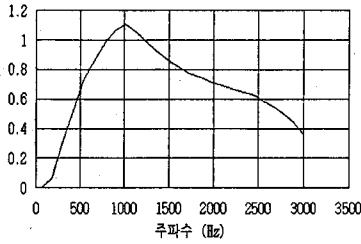


그림 3. Weighting Factor

3.2 측정 결과

<그림 4>는 최고속도 주행시 차량내 Mcp1에서 측정된 고조파 전류 파형이다. 등가방해전류 계산식은 각 조파별 등가방해전류와 국제전기통신연합(ITU)의 잡음평가계수, 고조파 전류, 등가방해전류로 식1처럼 계산할 수 있다.

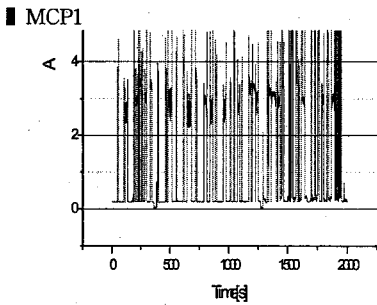


그림 4 Mcp1 측정 결과

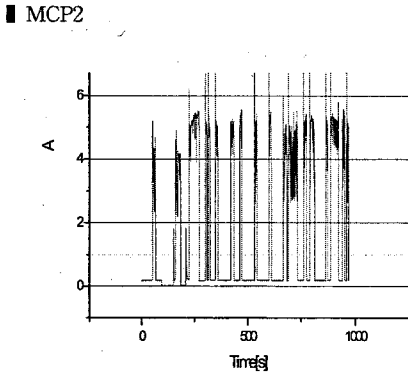


그림 5 Mcp2 측정결과

4. 차상 유도장해 시험 고찰

계측한 속도 영역에서 등가방해전류는 기준치인 3.8[A] 이하이었으며 160km/h 속도까지는 지속적으로 속도가 증가함에 따라 반비례하고 다시 최고속도까지 비례하는 경향을 보이고 있다. 최고속도에서 측정된 부하전류는 560[A] 이었다.

전자계 강도는 ICNIRP에서 제시하는 가이드라인인 전계 4,160[V/m]와 자계 83.3[uT] 이하이었다.

일반적으로 전차선 전압이 AC 19,000 ~ 27,500[V] 사이에 있을 때 안정적이라고 판단하는데,

전 구간에 걸쳐 계측한 전압이 25,000[V] 근처에서 변동하므로 기준치 이내임을 확인할 수 있었다.

본 논문에서는 시운전 시험중인 한국형 킬팅열차를 대상으로 차량내 고조파와 전자계에 대한 유도장해 시험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 고조파에 대한 성능 지수인 등가방해전류로 평가하였을 때 기준치 이하임을 확인할 수 있었다.
- ICNIRP에서 제시하는 가이드라인을 기준으로 평가하였을 때 전자계강도도 가이드라인 권고치 이하임을 확인할 수 있었다.
- 전차선전압은 추진시스템이 정상 동작하는 범위에서 계측되어 주행에 따른 전압강하가 크지 않음을 확인할 수 있었다.
- 본 계측결과와 지속적인 시험을 통해 한국형 킬팅열차의 전기기기에 대한 영향을 검토하고 신뢰성 및 안정화를 확보하고자 한다.

후 기

본 연구는 건설교통부 미래철도기술개발사업으로 지원된 “한국형 킬팅열차 신뢰성 및 인프라시스템 안전성 평가 연구”과제의 연구결과 중 일부입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김남포 외, “킬팅시스템 기술개발”, 철도기술개발사업 보고서, 2005. 7
- [2] Gosting, R.J and Hobbs, A.E.W., “The Interaction of 판토틀레프 and Overhead Equipment: Practical Application of a New Theoretical Technique”, Proc.I.Mech.Vol 197 No.13., 198 3
- [3] 방통위 고시 제 2008-37호 일반인에 대한 전자파 강도 기준
- [4] 방통위 고시 제 2008-37호 직업인에 대한 전자파 강도 기준