

전기철도차량과 지상신호시스템의 전자파적합성 고찰

A Study on Electromagnetic Compatibility between Rolling Stock and Track Detection System

박경수*[†], 윤용진*, 강찬용*, 조치환*, 이병택*Kyoung-Soo Park*[†], Yong-Jin Yun*, Chan-Yong Kang*, Chi-Hwan Cho*, Byung-Taek Lee*

초 록 본 논문에서는 전기철도차량과 지상신호시스템의 EMC 인터페이스 관리를 위한 기초 연구로 국내 고속차량과 AF 레도회로간의 전자파적합성에 대하여 분석하였다. KTX-원강, SRT를 대상으로, 차량 운행 시 발생하는 고조파 전류를 측정하였다. 측정된 고조파 전류는 운행 노선에 설치된 UM-71, TI-21과 전자파적합성을 검토하였다. 검토 결과, 차량과 레도회로간의 전자파적합성은 만족하였다. TI-21 C-Type의 1980Hz 대역에서 328mA의 상대적으로 높은 고조파 전류가 측정되었다. 이는 차량의 주전력변환장치의 제어 방식에 의해 발생된 고조파 노이즈로 9Pulse 제어를 사용하는 SRT에서 발생하였다. 조합시험을 통해 제어 방식을 13Pulse로 변경하였을 때, 1980Hz의 고조파 노이즈는 34mA로 감소되었으며, 모든 신호주파수 대역에서 고조파 전류도 감소되었다. 향후, 본 연구 결과를 기반으로 EMC 인터페이스 관리 자료로 활용이 가능하며, 추가적으로 국내 차량과 지상신호간의 EMC 인터페이스 관리를 위한 연구도 필요하다.

주요어 : 전자파적합성, 철도차량, 지상신호시스템, AF 레도회로, 고조파 전류

1. 서 론

지상신호시스템의 AF(Audio Frequency) 레도회로는 열차검지를 하며, 오동작시 큰 사고를 발생시킨다. 레도회로의 오동작 원인 중 하나로 고조파 전류에 의한 부정동작이 있다. 철도 차량은 고조파 전류를 발생시키는 주요 원인 중 하나로, 사고를 방지하기 위해 전기철도차량과 지상신호시스템 간의 전자파적합성(Electromagnetic Compatibility, EMC)이 중요하다[1~3].

현재 국제 규격 및 철도차량기술기준에서 차량과 지상신호간 전자기적합성을 검증하도록 명시되어 있다[4,5]. 철도 차량의 완성차 시험 단계에서 이를 입증하고 있다. 하지만 철도 운영 및 EMC 인터페이스 관리를 위해 차종 및 노선을 직관적으로 검토할 수 있는 종합적인 자료가 필요하다.

본 논문에서는 EMC 인터페이스 관리를 위한 기초 자료로 국내 고속차량과 AF 레도회로간의 전자파적합성에 대하여 분석하였다. 차량운행 시, 발생하는 고조파 전류를 측정하여 주파수 분석을 통해 AF 레도회로의 신호주파수와 간섭여부를 확인하였다.

2. 본 론

2.1 국내 고속열차

AF 레도회로와 전자파적합성을 분석하기 위해 KTX-원강, SRT 고속 차량의 고조파 전류를 측정하였다. 고속차량의 사양은 표 1과 같다.

Table 1 Specification of High Speed Train

Contents	KTX-Wongang	SRT
Cars	10	10
Traction System Switching Frequency	- Slow Speed Section: 780Hz(13Pulse) - High Speed Section: 540Hz((Pulse)	Switching Frequency: 540Hz(9Pulse)
APS System	Switching Frequency: 900Hz(15Pulse)	Switching Frequency: 900Hz(15Pulse)

[†] 현대로템(주) 시스템엔지니어링팀
(kspark1357@hyundai-rotem.co.kr)

* 현대로템(주) 시스템엔지니어링팀

2.2 AF 궤도회로

운행 선로에서 사용 중인 궤도회로는 고속 구간에서 UM-71, 저속 구간에서 TI-21이 있다. 따라서 본 논문에서는 UM-71, TI-21의 신호주파수 및 제한치를 근거로 전자파적합성을 분석하였다. 궤도회로의 사양은 표 2 및 3과 같다.

Table 2 Specification of UM-71

Frequency	Limit	Remark
2040Hz	228mA	High Speed Section
2035 ~ 2045Hz		
2400Hz	192mA	
2395 ~ 2405Hz		
2760Hz	156mA	
2755 ~ 2765Hz		
3120Hz	121mA	
3115 ~ 3125Hz		

Table 3 Specification of TI-21

Frequency	Limit	Remark
A-Type(1699Hz)	200mA	Low Speed Section
Low : 1680 ~ 1683Hz High : 1715 ~ 1718Hz		
B-Type(2296Hz)	195mA	
Low : 2277 ~ 2280Hz High : 2312 ~ 2315Hz		
C-Type(1996Hz)	660mA	
Low : 1977 ~ 1980Hz High : 2012 ~ 2015Hz		
D-Type(2593Hz)	185mA	
Low : 2574 ~ 2577Hz High : 2609 ~ 2612Hz		

2.3 측정 결과

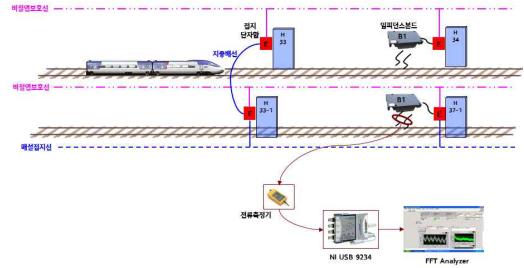
2.3.1 고조파 전류 측정

저속 구간의 고조파 전류는 그림 1 (a)와 같이 변전소 또는 급전구분소 인근의 임피던스 본드의 출력단(중성점)에서 측정하였다. CT(10Hz ~ 50kHz, ~3,000A)를 차량 운행 반대편 선로의 임피던스 본드 출력단에 설치한 후, DAQ(51.2kS/s, ±10V)로 주파수 분석을 하였다.

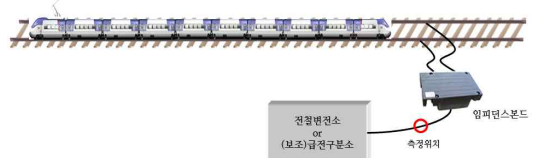
고속구간의 고조파 전류는 그림 1(b)와 같이 차량 운행과 동일한 선로의 임피던스 본드 출력단(중성점)에서 위와 동일한 실험계로 측정하였다.

규격에 따라 차량과 AF 궤도회로간의 적합

성 판별은 표 2 및 3의 궤도회로의 신호주파수의 제한치로 전자파적합성을 판단하였다 [5].



(a) Measurement in High Speed Section

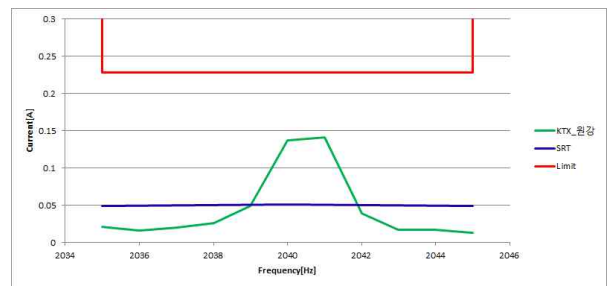


(b) Measurement in Low Speed Section

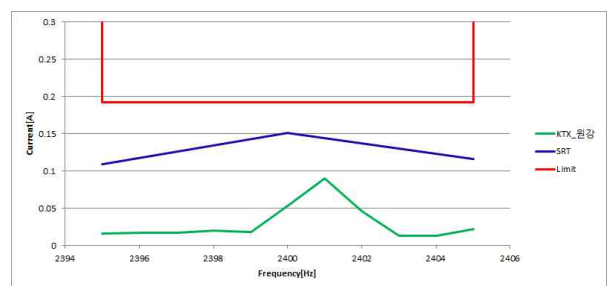
Fig. 1 Experiment Set-up

2.3.2 UM-71

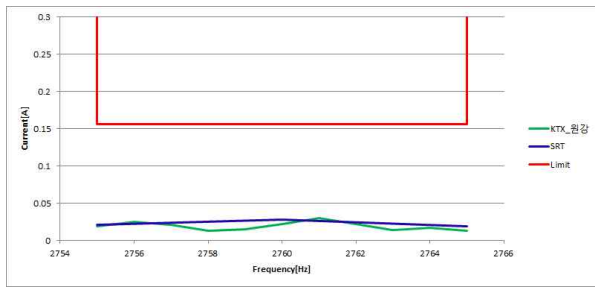
고속 구간에서 고조파 전류 측정 결과는 그림 2와 같다. 차량 운행 시, UM-71 신호주파수에서 차량과 지상신호간의 전자파적합성을 만족하였다.



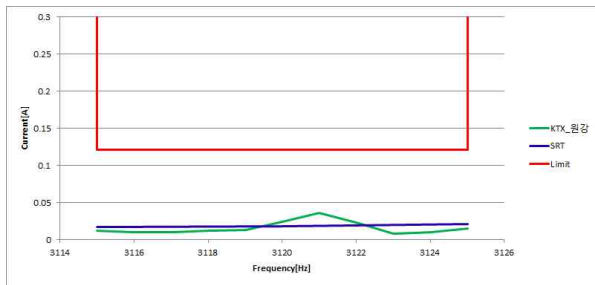
(a) 2035Hz ~ 2045Hz



(b) 2395Hz ~ 2405Hz



(c) 2755Hz ~ 2765Hz

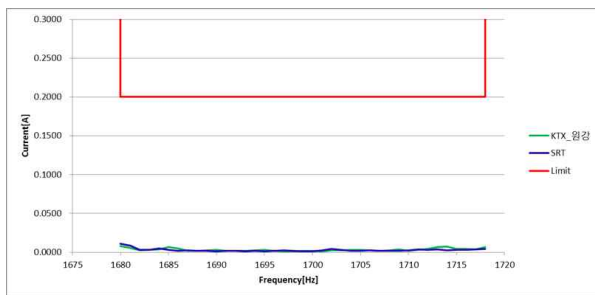


(d) 3115Hz ~ 3125Hz

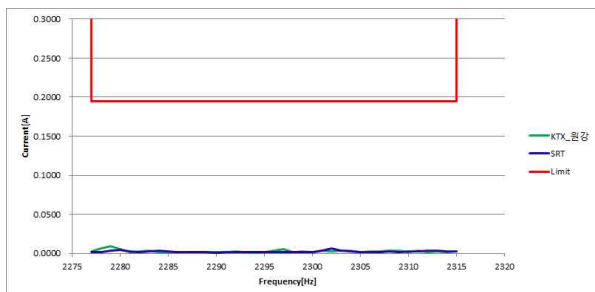
Fig. 2 Result of UM-71 Section

2.3.3 TI-21

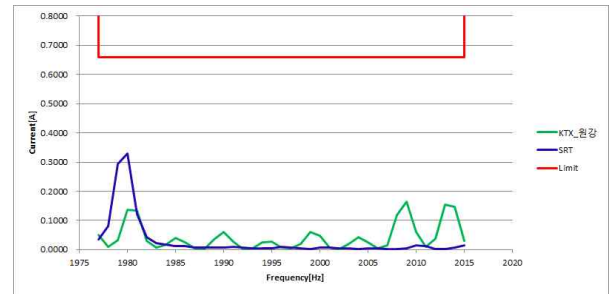
TI-21 측정 결과는 그림 3과 같다. 차량 운행 시, 차량 운행 시, TI-21 신호주파수에서 차량과 지상신호간의 전자파적합성을 만족하였다.



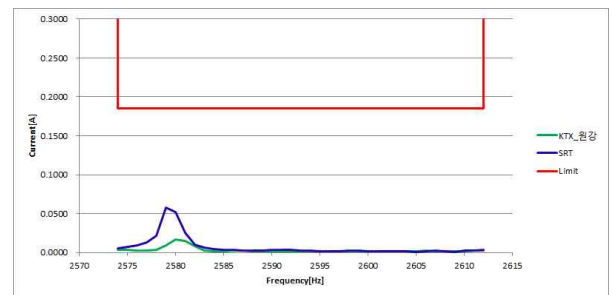
(a) A-Type



(b) B-Type



(c) C-Type



(d) D-Type

Fig. 3 Result of TI-21 Section

C-Type의 Low Frequency인 1980Hz에서 328mA의 고조파 전류가 측정되었다. 이는 SRT 고속차량에서 발생된 고조파 전류로 주 전력 변환장치의 스위칭 주파수 (540Hz)으로 발생된 고조파 성분이다.

이런 현상은 전원주파수의 홀수차 고조파가 기인하였다. 전기철도차량의 추진시스템은 IGBT 스위칭 소자를 사용하기 때문에 전원주파수의 홀수차 고조파 발생은 필수적이다. 따라서 AF 케도회로의 신호주파수를 설정할 때 전원주파수의 홀수차는 피하도록 설계하고 있다. 하지만 우리나라의 경우, 유럽의 기존 시스템을 동일하게 도입하여 AF 케도회로의 신호주파수가 차량의 홀수차 고조파와 동일한 주파수를 사용하고 있다.

Table 4 Frequency using Track Circuit

		A-type	B-type	C-type	D-type
Europe (50Hz)	TI-21 Frequency	1699Hz	2296Hz	1996Hz	2593Hz
	Harmonic Frequency	1700Hz (34 th)	2300Hz (46 th)	2000Hz (40 th)	2600Hz (52 th)
Korea (60Hz)	TI-21 Frequency	1699Hz	2296Hz	1996Hz	2593Hz
	Harmonic Frequency	1680Hz (28 th)	2280Hz (38 th)	1980Hz (33th)	2580Hz (43 th)

케도회로와 동일한 주파수 사용을 피하기 위해 조합시험을 실시하였다. 주전력변환장치의 동작모드를 9펄스(540Hz), 11펄스(660Hz) 및 13펄스(780Hz)로 변경하여 고조파 전류를 측정하였다. 고조파 전류는 주전력변환장치의 입력부에서 측정하였다.

표 5와 같이 9펄스 모드 동작은 1980Hz에서 1.418A의 고조파 전류가 발생하고 있다. 11펄스는 1980Hz에서 66mA의 고조파 전류가 측정되었다. 하지만 D-Type 주파수 인근(2580Hz)에서 708mA 고조파 전류가 발생하였다. 13펄스는 1980Hz에서 34mA의 고조파 전류가 측정되었고, 모든 케도 회로 신호주파수 대역에서 고조파전류는 감소하였다.

제어 펄스 변경에 따라 스위칭에 기인한 고조파전류의 주파수 이동으로 신호주파수 대역에서 고조파 전류가 낮게 발생을 하였다.

Table 5 Result of Combined Test

Type	Frequency [Hz]	9Pulse (540Hz)	11Pulse (660Hz)	13Pulse (780Hz)
A-Type 1699Hz	1680 ~ 1683	118mA	18mA	18mA
	1715 ~ 1718	40mA	32mA	9mA
B-Type 2296Hz	2277 ~ 2280	31mA	67mA	24mA
	2312 ~ 2315	20mA	14mA	18mA
C-Type 1996Hz	1977 ~ 1980	1.418A (1980Hz)	66mA	34mA
	2012 ~ 2015	46mA	24mA	20mA
D-Type 2593Hz	2574 ~ 2577	33mA	60mA (0.708A 2580Hz)	32mA
	2609 ~ 2612	14mA	11mA	11mA

3. 결론

본 논문에서는 철도 차량과 지상신호간 EMC 인터페이스 분석을 위한 기초자료로 국내 고속 차량과 AF 케도회로간의 전자파적합성을 분석하였다. 차량 운행시, 차량의 고조파 전류를 측정하였고, 주파수 분석을 통해

AF 케도회로의 신호주파수와 간섭여부를 판단하였다.

고속차량의 저속구간 측정결과, 지상신호와 차량의 전자파 적합성은 만족하였다. SRT 차량의 경우, TI-21의 C-Type AF 케도회로 신호주파수인 1980Hz 주파수 대역에서 비교적 높은 고조파 전류가 측정되었다. 이는 스위칭 주파수로 인하여 기인한 노이즈로 판단된다.

조합시험 결과, 주전력변환장치의 제어 주파수를 13펄스로 변경하였을 때, 1980Hz에서 측정되는 고조파 전류는 감소하였다. 또한, TI-21 모든 신호주파수 대역에서 고조파 전류도 감소되었다.

향후, 본 연구 결과를 기반으로 국내 차량과 지상신호간의 EMC 인터페이스 관리를 위한 연구가 필요하며, AC 차량 뿐만 아니라 DC 차량과의 EMC 인터페이스 관리도 필요하다.

참고문헌

- [1] H.B Kim, M.S. Kong, J.S. Choi, H.S. Kim (2014) A study on measurement and analysis of harmonic in substation, Proceeding of the Spring Conference of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, pp. 260-261.
- [2] J.S. Choi, H.S. Kim, M.S. Kong, S.J. Lee, U.R. Son (2014) A Study on Analysis Travel Path Return Current Harmonics Between KTX SanChun and TI21 AF Track Circuit, Proceeding of the Spring Conference of the Korean Society for Railway, pp. 1582-1590.
- [3] J.S. Choi, H.S. Kim, J.H. Park, B.C. Kim (2016) Effect analysis of Classical Line TI-21 type Audio Frequency Track Circuit from KTX Sancheon Return Current Harmonics, Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 19(1), pp.38-45.
- [4] IEC 62236-3-1, Railway applications - Electromagnetic Compatibility - Part3-1: Rolling stock-Train and complete vehicle.
- [5] EN 50238-2, Railway applications - Compatibility between rolling stock and train detection systems.