

철도신호시스템 중첩운영으로 인한 전자파장해현상 분석 및 대책

논문

58-6-10

Analysis of EMI Between Overlapped Railway Signalling Systems and Its Countermeasure

고영환* · 윤선호** · 최규형†

(Young-Hwan Kho · Sun-Ho Yoon · Kyu-Hyoung Choi)

Abstract - ATS(Automatic Train Stop) system makes train stop when it runs over the speed limit and ensure the safe operation of train. Seoul Metro line 2 in Korea, which started its passenger service in 1982, has adopted ATS system for its signaling system. The ATS system has only a train stop function at the time of emergency, and Seoul Metro is planning to replaced them with ATC(Automatic Train Control)/ATO(Automatic Train Operation) system which can provide the dedicated speed control for headway reduction and automatic operation of train. Until all the ATS system is replaced with the new ATC system, both systems are to operate simultaneously at the same metro line. In this situation, ATS system sometimes reveals improper operation: train stops suddenly without any obstacles in front of it. These emergency stops cause interruption of passenger service, and abnormal abrasion of wheels and rail. This paper makes it clear that these interruptions are caused by EMI phenomena between ATS on-board device and ATC wayside device : Signal current flowing in AF track circuit of ATC is turn out to be a EMI source that prevent normal operation of the ATS on-board device. Although the two systems have different frequency-ranges (ATS system has frequency range between 78~130[kHz] and ATC system has frequency range between 9.5~16.5[kHz]), it turned out that EMI phenomena appears between the both systems. This is investigated by measuring the output signal from ATS on-board device passing over ATC wayside device. The FFT(Fast Fourier Transform) analysis of the signal reveals that AF track circuit signal is transmitted to the ATS on-board device and induce noise causing improper operation. The countermeasures to the EMI phenomena are examined in three ways: blocking EMI transmission, enforcement of EMS(Electromagnetic Susceptibility) of ATS on-board device, and blocking the EMI source. It is suggested that the practical solution be blocking EMI source temporarily, that is breaking AF track circuit signal when the trains with ATS on-board device pass over it. To this purpose, TODS(Train Occupation Detection System) is developed, and has made a success in preventing the EMI problem of Seoul Metro line 2.

Key Words : Railway Signalling, ATS, ATC, AF Track Circuit, EMI

1. 서 론

철도신호시스템은 열차들의 운행간격과 열차진로를 제어하는 기능을 담당함으로써, 열차를 안전하고 효율적으로 운행하는 데 있어 핵심적인 역할을 수행한다. 철도신호시스템의 고장은 열차운행중지를 비롯하여 열차충돌이나 탈선 등과 같은 치명적인 철도사고로 직결될 수 있기 때문에, 그 신뢰성 및 안전성을 확보하는 것이 무엇보다 중요하다 [1-3]. 철도신호시스템에서 오랫동안 사용되어온 지상신호방식은, 지상에 설치된 신호기 현시상태를 기관사가 확인하여 수동으로 열차속도를 제어하는 방식으로써, 기상악화로 인한 시계 불량 및 기관사의 인적오류 등으로 인한 사고의 위험이

높다는 문제가 있다. 이에 따라, 최근에는 컴퓨터 및 통신기술을 활용하여 열차속도제어 정보를 차상으로 송신하고, 차량에서 열차속도를 자동제어하는 차상신호방식이 도입되어 열차운행 안전성 및 열차운행효율 향상에 큰 효과를 보이고 있다[4-6].

이상과 같은 철도신호시스템의 발전에 따라, 서울메트로 2호선에서는 기존의 지상신호방식 자동열차정지(ATS : Automatic Train Stop)시스템을 차상신호방식의 자동열차제어(ATC : Automatic Train Control)시스템으로 교체하고 있다. 또한, 자동열차운전(ATO : Automatic Train Operation)시스템을 도입하여, 운전자의 조작을 최소화하고 전동차를 자동 운전하도록 함으로써 열차운영효율을 극대화하고 있다 [7]. 그러나, 기존의 ATS시스템을 ATC시스템으로 개량하는 과정에서, 기존 신호시스템과 개량된 신호시스템이 중첩되어 운영되면서 ATS시스템의 오동작이 발생하는 사례가 나타나고 있다. 이는 열차의 안전운행을 방해하고, 차량과 레일의 이상 마모를 촉진하는 등 안전사고를 유발시킬 수 있다는 점에서 이에 대한 해결책이 필요하다[8-10].

본고에서는 이상과 같이 ATS와 ATC시스템이 중첩 설치

* 준 회원 : 서울메트로 신호팀 부장

** 준 회원 : 서울산업대 철도전기신호공학과 석사과정

† 교신저자, 정회원 : 서울산업대 철도전기신호공학과 교수

E-mail : khchoi@snu.ac.kr

접수일자 : 2009년 5월 1일

최종완료 : 2009년 5월 25일

되어 운영되는 상황에서 발생하는 ATS시스템의 오동작발생 현상에 대하여, 현장에서의 시험측정 및 시뮬레이션 분석을 통하여 ATC지상장치가 간섭원으로 작용하는 전자파 장애 현상이라는 것을 명확히 하였다. 또한 그에 대한 대책으로서, 전자파 장애 간섭원으로 작용하는 ATC지상장치의 장애원 차폐, 전달 경로의 차단 및 ATS차상장치의 전자파 내성 강화 대책 등을 검토하고, 효과적인 전자파 장애 방지대책을 제시하였다.

2. ATS시스템과 ATC시스템 중첩 운영

2.1 ATS 시스템

ATS시스템은 열차가 정지신호에 접근하면 자동적으로 열차를 정차시키는 장치로서, 그림 1에 보이는 것처럼 차상장치와 지상장치로 구성되어 있다. 차상장치는 전동차에 설치되며 차상자와 수신기, 표시기 및 열차속도조사/제어기로 구성되어 있고, 지상장치는 그림 2와 같이 선로에 설치되는 지상자와, 지상자를 제어하는 제어장치로 구성되어 있다. 제어장치는 선로 전방의 열차운행상황으로부터 해당구간 통과 열차의 허용속도를 산출하고, 이 허용속도정보를 송출하도록 지상자를 제어한다. 전동차가 지상자를 통과할 때 차상자를 통하여 허용속도 정보를 수신하고, 열차주행속도가 이를 초과할 경우 운전자에게 경고 및 비상제동을 체결함으로써 열차 안전운행을 확보하고 있다[11].

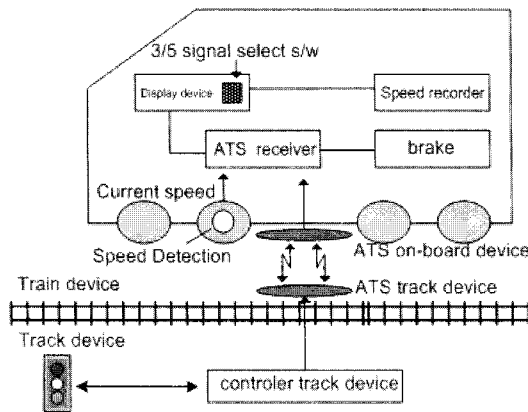


그림 1 ATS 시스템 구성도

Fig. 1 Configuration of ATS system

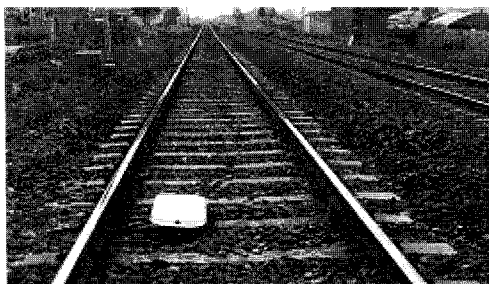


그림 2 ATS 지상자

Fig. 2 ATS Track Device

ATS시스템에서 지상자와 차상자간 정보전송은, 그림 3에 보이는 것처럼, 발진회로에서의 주파수 변주현상을 이용하고 있다. 즉, 차상장치의 발진회로에서 기본 주파수로 발진하고 있다가, 지상자 위를 통과할 경우 지상자의 LC 값에 따라 발진주파수가 변주되는 Ziehen 효과를 이용하는 방식으로서, 각 발진주파수 별로 열차허용속도를 지정해둠으로써 열차속도를 제어할 수 있도록 한다. 그림 4에 보이는 것처럼, 지속 발진하고 있는 발진회로에 별개의 공진주파수를 갖는 LC 공진회로를 결합시켰을 때 2차회로의 L, C를 부가한 것과 같은 효과가 나타나서 주파수가 변주되는 원리를 이용하고 있다. 발진회로에서 2차회로가 결합하기 이전의 전류와 주파수는 식(1) 및 식(2)와 같이 나타나는데, 등가적으로 본 2차회로의 임피던스가 유도성인 경우에는 전류 및 주파수가 식(3) 및 식(4)와 같이 되어 단독회로의 발진주파수 f_0 보다 크게 된다. 반대로 등가적으로 본 2차회로의 임피던스가 용량성인 경우, 전류 및 주파수는 식(5) 및 식(6)과 같이 되어 단독회로의 발진주파수 f_0 보다 작게 된다.

$$i = \frac{E}{\sqrt{\frac{L}{C} - \frac{R^2}{4}}} e^{-\frac{R}{2L}t} \sin \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}} t \quad (1)$$

$$f_0 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2)$$

$$i = \frac{E}{\sqrt{\frac{L}{C} - \frac{R^2}{4}}} e^{-\frac{R}{2L}t} \sin \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}} t \quad (3)$$

여기서, $L' = \frac{Ll}{L+l} < L$

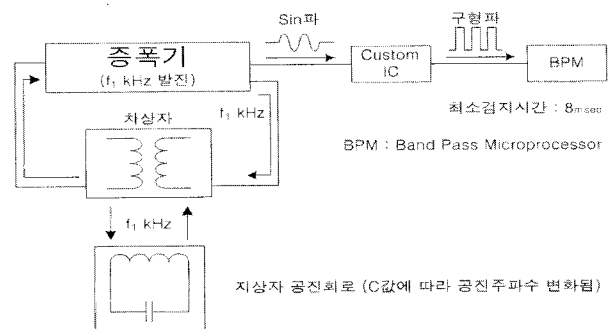


그림 3 ATS차상장치에서의 주파수 변조

Fig. 3 Frequency converting at ATS on-board device

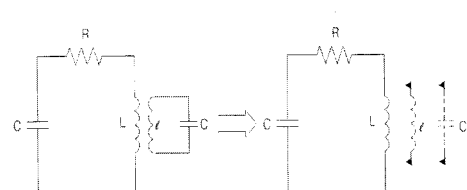


그림 4 2차회로 결합 등가회로

Fig. 4 Coupling of secondary circuit to oscillating circuit

$$fa = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2} \quad \left(\approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \right) \quad (4)$$

$$i = \frac{E}{\sqrt{\frac{L}{C} - \frac{R^2}{4}}} e^{-\frac{R}{2L}t} \sin \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}} t \quad (5)$$

여기서, $C = C + c > C$

$$fb = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2} \quad \left(\approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \right) \quad (6)$$

이상의 원리를 ATS 장치에 적용하면 1차회로는 ATS차상장치의 발진회로이고 2차회로는 ATS지상자에 해당한다고 볼 수 있다. 즉 단일 발진회로인 차상장치에 2차회로인 지상자를 접근시킴으로써 단일 발진회로와 2차회로를 전기적으로 결합시켜 발진주파수를 변경할 수 있다. 일반적으로 발진주파수 f_1 의 발진회로에 공진주파수 f_2 를 갖는 2차회로를 결합시켰을 때, 전체 발진주파수는 f_1 에서 f_2 에 가까운 값으로 변화하게 된다. 이러한 현상은 고주파 회로에 2차회로의 공중선이 결합하거나 해테로라인 주파수계를 사용할 경우에 볼 수 있는 현상으로서, 일정 주파수로 송신해야 하는 방송국 등에서는 불필요한 변화를 주기 때문에 유해무익한 것이지만, ATS장치에서는 인위적으로 이러한 현상을 일으켜서 차상자가 지상자에 접근함에 따라 차상자의 발진주파수를 변경하여 열차속도를 제어하고 있다. 그러나, 공진을 이용한 주파수 변주회로를 이용하여 열차제어정보를 수신하기 때문에 전자파 내성이 작고, 지상-차상 간의 정보전송 신뢰도도 낮다는 문제점이 있다[12].

ATS시스템에서의 변주방식에는 차상주파수가 하나의 주파수로 변주되는 단 변주방식과 여러 개의 주파수로 변주되는 다변주방식이 있다. 다변주방식은 다수의 공진주파수로 절환되는 지상자가 차상자를 공진시키는 방식으로써 열차의 다단계 속도 제어를 하기 위해 사용된다. 표 1은 서울메트로 등에서 사용하고 있는 5현시 ATS시스템에서의 신호현상과 변주주파수의 관계를 보이고 있다.

표 1 5현시 ATS 시스템의 변주 주파수

Table 1 Converted frequencies for five-display-mode ATS system

기본 주파수	신호 현상	허용 속도	변주 주파수
78[kHz]	진행(G)	Free	98 [kHz]
	감속(YG)	65 [km/h]	98 [kHz]
	주의(Y)	45 [km/h]	106 [kHz]
	경계(YY)	25 [km/h]	114 [kHz]
	정지(R1)	0 [km/h]	122 [kHz]
	절대정지(R0)	0 [km/h]	130 [kHz]

2.2 ATC 시스템

ATC시스템은 열차가 주행할 수 있는 허용속도정보를 지상으로부터 연속적으로 수신하고, 이를 준수할 수 있도록 열차의 속도를 차상장치에서 자동제어하는 기능을 수행한다. 열차들의 위치 검지 기능과 열차제어에 필요한 정보를 열차

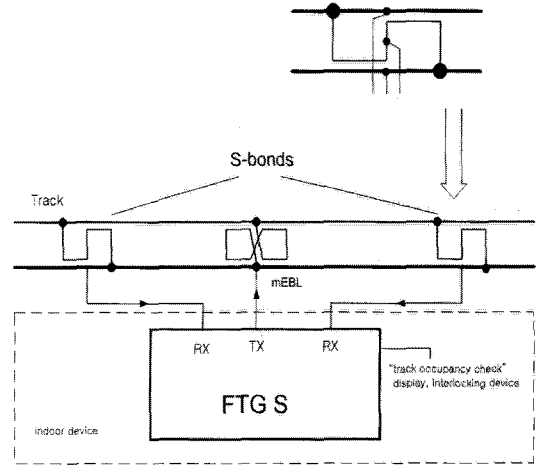


그림 5 AF 궤도회로 구성도

Fig. 5 Configuration of AF track circuit

와 지상간 송수신하기 위해서, 16~20,000[Hz]대의 가청주파수대를 신호원으로 사용하는 AF(Audio Frequency)궤도회로가 주로 사용되고 있다. AF궤도회로는 인접 궤도회로와의 경계 구간에서 레일을 기계적으로 단절시키지 않고, 전기적으로 회로를 구분하는 무절연 방식을 채택할 수 있기 때문에, 레일 절연으로부터 야기되는 고장 발생 및 유지보수 부담을 경감할 수 있다. 이상과 같은 장점이 있기 때문에, 고속철도 및 도시철도의 ATC에는 AF궤도회로를 이용하고 있으며, 설치한 지 오래되어 사용연수를 경과한 궤도회로를 대체하여 신설하는 경우에도 적용되고 있다[13-14].

그림 5는 서울메트로에서 사용하고 있는 AF궤도회로의 구성도를 보인다. 그림에서 FTGS는 독일 SIEMENS사의 자동열차제어시스템(LZB 700)에서 사용하는 AF궤도회로장치로서, 원격공급 부호화된 무절연 가청주파수 궤도회로(The Remote-fed and Coded Jointless Audio-Frequency Track Circuit)의 독일식 약자이다. 우리나라에서는 서울2호선과 인천지하철 등에 도입되어 있다. 선로에서의 폐색구간 설정에 따라, 궤도회로는 인접 궤도회로와 전기적으로 구분되어야 하는데, FTGS궤도회로에서는, "S" 자 모양의 S-bond를 이용하여 궤도구간의 완전한 전기적 분할을 실현하고 있다. AF궤도회로의 신호는 9.5, 10.5, 11.5, 12.5, 13.5, 14.5, 15.5, 16.5[kHz]의 8개 주파수를 사용하고 있다[15].

2.3 ATS와 ATC 중첩운영에서의 오동작 현상

서울메트로 2호선은 기존의 ATS시스템을 ATC시스템으로 개량하는 과정에서 양 시스템이 중첩 설치되어 운영되고 있다. 즉, 지상신호설비도 ATS지상장치와 ATC의 AF궤도회로가 동일 선로에 중첩되어 설치되어 있으며, 동일한 선로에 ATS차상장치를 탑재한 전동차와 ATC차상장치를 탑재한 전동차가 혼재된 상태로 운행하고 있다. 이와 같은 상황에서, ATS차상장치를 탑재한 전동차가 ATC AF궤도회로의 S-bond가 설치된 지점을 통과할 때, 특별한 이유 없이 급정차하는 오동작현상이 발생하였다. 즉, 전방에 열차 등 방해물이 없어 정상속도로 주행해야함에도 불구하고, 비상제동이 체결되어 급정차함으로써, 승차감 저하 및 열차 운행 지연을

초래하고, 레일과 차륜 마모가 증가하는 등의 문제가 발생하였다. 이와 같은 오동작 현상은 2007년도 기준으로 총 642건 발생한 것으로 보고되었다. 한편, ATC차상장치를 탑재한 전동차에서는 오동작이 발생되지 않았다.

3. ATS와 ATC 간의 전자파 장애 현상 분석

3.1 시험측정에 의한 분석

ATS차상장치는 78~130[kHz]에서 동작하며 그 외의 주파수의 신호가 유입되면 비상제동이 체결되도록 설계되어 있으므로, 이상과 같은 오동작은 AF케도회로 신호의 간섭으로 인한 전자파 장애 현상이라고 추정되었다. 이를 실험적으로 규명하기 위하여, ATS차상장치를 탑재한 전동차를 운행시키면서 ATS차상장치 발진회로의 출력주파수 변화를 측정하였다. ATS차상장치의 발진회로 출력단자를 오실로스코프에 연결하고, AF케도회로 구간을 서행 운행하면서 출력파형을 측정하였고, FFT 분석을 수행하여 주파수 분포를 확인하였다.

3.1.1 ATS차상장치 기본 출력파형

그림 6은 ATS차상장치나 AF케도회로 등과 같이 ATS차상장치에 영향을 미치는 신호가 없을 경우에 측정된 ATS차상장치 발진부의 출력파형이다. 주파수를 보면 기본 발진 주파수 78[kHz]와 함께 2차, 3차, 4차 고조파가 포함되어 있음을 알 수 있다. 신호의 강도는 78[kHz]의 기본발진주파수에서 약 15[V] 정도이며, 2차 고조파 이후는 1.5[V] 이하로 급격히 감소되고 있다.

3.1.2 AF케도회로로부터의 간섭신호

그림 7은 ATS차상장치의 발진회로를 정지시킨 상태에서, 전동차가 선로에 설치되어 있는 AF케도회로의 S-bond를 통과할 때 ATS차상장치에 유입되는 간섭신호를 측정하는 것이다. AF케도회로 신호의 주파수인 10.5[kHz]에서 70[mV] 정도의 간섭신호가 ATS차상장치로 유입되는 것을 보이고 있다.

3.1.3 ATS 오동작시의 출력파형

그림 8은 전동차가 AF케도회로의 S-bond를 통과하면서 ATS 오동작이 발생한 경우에 ATS차상장치의 발진회로 출력단에서 측정된 출력파형으로써, 그림 6의 출력파형에 비해 크게 왜곡된 형태로 되어 있다.

주파수 스펙트럼에서 특이한 점으로, 40[kHz] 부근에서의 실효치가 6[V] 정도로서 78[kHz]의 기본 발진주파수 성분보다 크게 나타난 것을 알 수 있다. ATS는 78[kHz] 이하 주파수의 신호가 출력될 경우 비상제동을 체결하도록 설계되어 있기 때문에, 40[kHz]의 잡음으로 인해 ATS 오동작이 발생하는 것으로 판명되었다. 78~130[kHz] 이외의 다음 주파수의 경우 1[V] 이하로 크기가 작기 때문에 영향을 미치지 않는 것으로 분석된다.

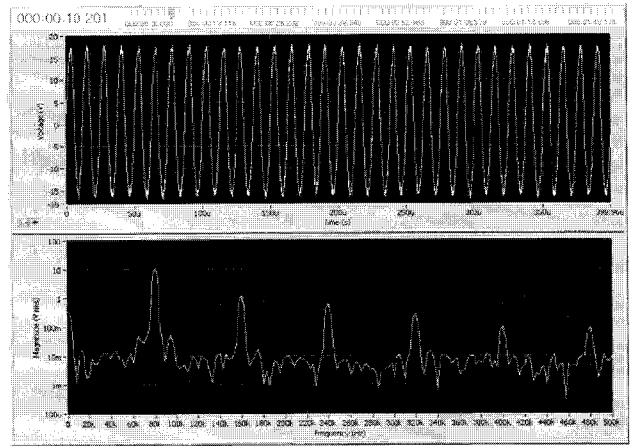


그림 6 간섭원이 없을 때의 ATS차상자 발진회로 출력파형
Fig. 6 Waveform and frequency spectrum of ATS oscillator circuit output without interference noise

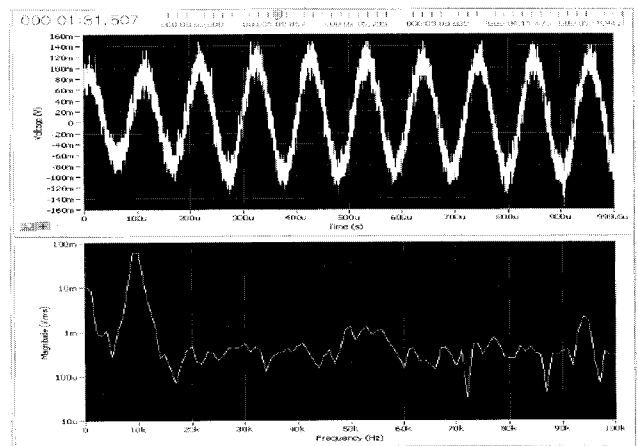


그림 7 AF 케도회로에서 유입된 잡음파형 및 주파수 스펙트럼
Fig. 7 Waveform and frequency spectrum of noise induced from AF track circuit

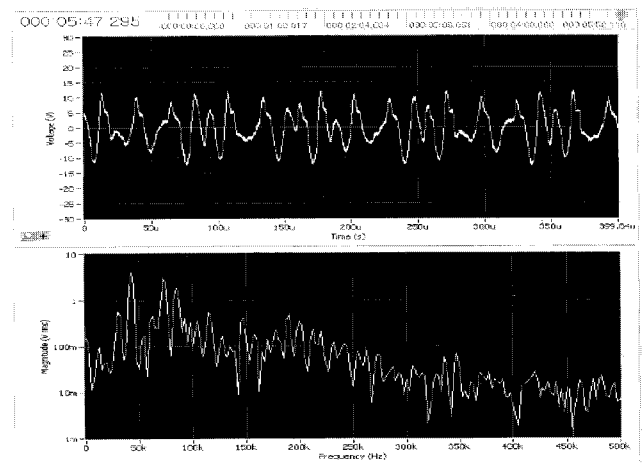


그림 8 오동작시의 ATS차상자 출력파형 및 주파수 스펙트럼
Fig. 8 Waveform and frequency spectrum of ATS oscillator circuit output signal when working improperly

이상의 간섭시험 결과로부터, 지상에 설치된 AF케도회로에 흐르는 신호가 ATS차상장치에 유입되어 전자파 간섭을 일으키며, 이로 인해 ATS 발진회로의 출력과형이 왜곡되고 동작주파수 범위를 초과하는 잡음신호가 출력됨으로써 오동작을 유발한다는 것을 확인하였다. 이와 같은 현상은 선로의 전체 구간에서 발생하는 것은 아니고 특정 구간에서 발생하는 것으로 추정되었는데, 이는 선로 일부구간에서 전동차에서의 수신레벨을 조정하기 위해 AF케도회로의 송신전압레벨을 크게 설정하여 운영하고 있기 때문인 것으로 분석되었다.

3.2 시뮬레이션에 의한 분석

전동차 운행 현장에서의 시험측정 결과, 그림 7에 보이는 것처럼 ATC시스템의 AF케도회로에서 10.5[kHz] 대역의 간섭신호가 ATS차상장치에 유입되고, 또한 ATS시스템에서 오동작이 발생할 때는 그림 8과 같이 ATS차상장치의 동작주파수 범위를 초과하는 40[kHz]의 잡음이 ATS차상장치의 발진회로 출력에서 발생하는 것으로 나타났다. 여기서, AF케도회로로부터 유입된 10[kHz] 대역의 간섭신호로 인하여 ATS차상장치의 발진회로에서 40[kHz] 대역의 잡음이 발생할 수 있는 지를 확인하기 위하여, 다음과 같이 PSpice 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

ATS차상장치에서 발진회로 부분을 PSpice로 시뮬레이션하기 위해 모델링한 회로도들 그림 9에 보인다. 발진회로의 기본 구성은 Armstrong 발진기 형태로 되어 있으며, 변압기를 통하여 출력의 일부를 귀환시켜 발진을 지속시키는 구조로 되어 있다[16]. ATS시스템 오동작은 ATS차상장치가 AF케도회로의 S-bond를 통과하는 지점에서 발생하는데, ATS지상자는 S-bond와 근접한 위치에는 설치하지 않으므로 ATS지상자와의 결합회로는 시뮬레이션에서 제외하였다. ATS지상자와의 결합이 없는 상태에서는 ATS차상장치의 발진회로는 78[kHz]의 기본 발진주파수로 발진되도록 회로가 구성되어 있는데, 이와 같은 발진회로 상태에서 10[kHz] 대역의 간섭신호가 유입되었을 때, 발진회로의 출력 주파수 스펙트럼은 그림 10과 같이 나타났다. 그림 10에서 간섭신호 주파수의 4배에 해당하는 40[kHz]의 주파수 성분이 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 이상의 시뮬레이션 결과로부터, Armstrong 발진기 구조의 ATS차상장치 발진회로에서는, 10[kHz] 대역의 AF케도회로 간섭신호 유입에 의해 40[kHz] 대역의 잡음이 발생할 수 있다는 것을 알 수 있다.

4. 전자파 장애 방지 대책

ATS의 오동작 현상은, 지상에 설치된 AF케도회로의 신호가 장애원으로 작용하고, 방사를 통하여 전동차에 탑재된 ATS차상장치에 유입되어 장애를 발생시킨다는 분석결과로부터 다음과 같이 전자파 장애 방지대책을 강구하였다.

4.1 전자파 장애 전송로 차단

ATS차상자와 AF케도회로 간의 전송로를 차단하기 위한

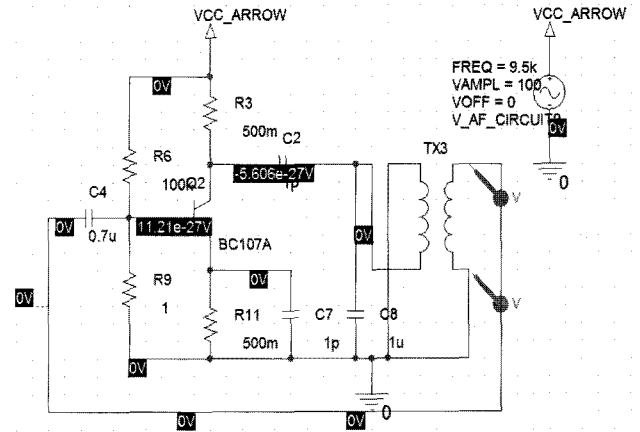


그림 9 ATS차상장치의 발진회로 시뮬레이션
Fig. 9 Simulation model of ATS on-board oscillating circuit

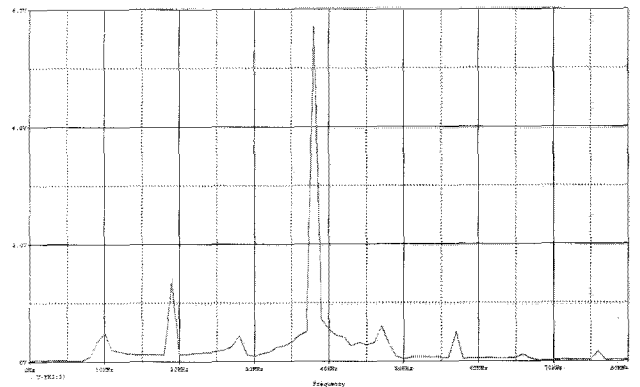


그림 10 발진회로의 주파수 스펙트럼
Fig. 10 Frequency spectrum of oscillating circuit output

방법으로, ATS차상자가 AF케도회로 중에서도 특히 S-bond를 통과할 때 오동작이 발생한다는 점을 고려하여, S-bond를 동판으로 차폐하고 접지를 하였다. 그러나 S-Bond 내의 특정부분에서 이상 주파수가 발생하는 문제점이 발생하였고, 그 설치 효과도 미흡하여 적절한 대책이 아닌 것으로 판명되었다.

그 밖에, 일부 전동차의 ATS차상자가 규정(지상자에서 300[mm]±70[mm]) 보다 낮게 설치되어 있어 높이를 조정한 후 열차운전을 시행하였으나, 효과가 미흡하여 일부개소에서 계속 오동작이 발생하였다. 이상으로부터, 전송로를 차단하는 방법은 효과적이지 못하다는 것을 확인하였다.

4.2 전자파 내성 강화

ATS차상장치의 전자파 내성을 강화시키는 방안으로, 필터의 신뢰도를 높이고 78~130[kHz] 이외의 신호를 받더라도 ATS차상장치가 동작하지 않도록 개량하기 위하여, 발진회로의 필터를 부분적으로 수정하는 대책을 검토하였다. 그러나 필터의 감쇄치를 증가시키면 정상 ATS차상장치에서 필요한 신호값이 너무 낮아지는 문제로 인하여 발진회로를 일부 수정하는 것으로는 한계가 있었고, 이와 같이 수정한

ATS차상장치 모두에서 오동작이 발생하였다. 이를 해결하기 위해서는 발진회로 모듈 전체를 새로 설계하여 제작할 필요가 있으나, 비용 문제 등으로 인하여 현실적으로 불가능하였다.

4.3 전자파 장애원 차폐

간섭원인 AF궤도회로의 신호는 ATS 차상장치를 탑재한 전동차에는 불필요한 신호이므로, ATS 차상자를 탑재한 전동차가 통과할 때만 AF궤도회로 신호 송출을 차단하는 방법을 적용하였다. 이때 ATC차상장치를 탑재한 전동차에 대해서는 AF궤도회로 신호를 단절없이 송출하여야 하므로, 운행되는 전동차의 종류를 판별하여 ATS 차량에 대해서만 송출을 차단 할 필요가 있다. 이에 따라, 운행차량의 검지 및 차량정보 분석을 통한 열차 인식 기능을 포함한 열차점유검지장치(TODS: Train Occupancy Detection System)를 개발하여 적용하였다.

개발된 열차점유검지장치의 구성도를 그림 11에 보인다. 그림에서 SICAS는 SIEMES사의 전자연동장치이며, TWC는 열차 선로간 통신장치(Train Wayside Communication)를 나타낸다. 열차점유검지장치에서 AF궤도회로 신호의 송출을 차단제어하는 송출차단모듈의 회로구성도를 그림 12에 보인다. 송출차단 회로의 계전기는 기본적으로 낙하접점 동작회로 구성이 되어 있어, 평상시 궤도회로까지의 회선은 연결된 상태로 동작하고, 차단 출력 신호에 의해 계전기가 여자되면 회선이 단락되는 회로이다. 단, 회선의 단락이 이루어지면 송출신호 차단 효과 이외의 열차 점유 상태를 수신할 수 없기 때문에 이를 보완하기 위하여 저항자 회로를 계전기 동작 회로와 병렬로 구성하여 열차 점유 검지가 가능한 회로를 구성하고 있다. 열차 점유 검지를 위한 저항자의 저항은 궤도회로 자체의 송신 전압과 관련하여 송출신호가 차단된 상태에서의 열차 점유 검지를 수행할 수 있는 최소한의 저항을 설정하도록 50Ω 단위로 가변회로를 구성하고 있다. ATC신호 송출차단모듈은 1 개의 PCB 당 8 개 궤도에 대해 송출 차단이 가능하도록 모듈 형태를 가지게 하고, 또한 신호기계실의 배선 상태를 최대한 변경하지 않고 현재 결선 구조를 그대로 수용할 수 있도록 하여 설치 및 사용상 편의성을 향상시켰다.

그림 13은 열차점유검지장치를 설치하여 동작시킨 상태에서, ATS차상장치의 발진회로 출력파형을 측정된 것이다. ATS의 기본 발진주파수인 78[kHz]의 크기는 변동이 없는 반면, ±10[kHz] 내외에서 사이드 파가 존재하지만 그 값은 1.5[V] 정도이므로 ATS 동작에 영향을 미치지 않는다. 그 밖에 다른 주파수의 신호도 1[V] 이내로 감쇄되어 있음을 알 수 있다.

이상과 같은 열차점유검지장치를 설치하여 운영함으로써, ATS의 오동작 현상은 완전하게 해소되었으며 ATC시스템의 중첩 운영으로 인하여 전자파 장애가 발생하는 문제를 해결하였다. 특히, 기존 신호설비의 변경 또는 교체 없이, 기존 신호설비로부터 현장 신호정보를 전송받아 열차진행상황을 파악하고 운행열차의 차량 종류를 구분하여 ATS 차상장치의 오동작을 방지할 수 있도록 함으로써, ATS시스템과 다른 철도신호시스템이 중첩운영되는 모든 노선에 적용하기 용이하도록 하였다.

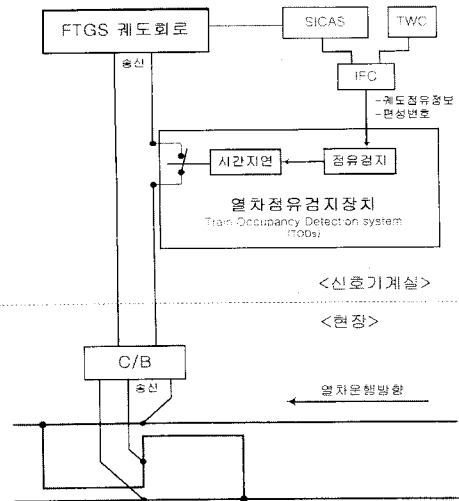


그림 11 열차점유검지장치 구성도
Fig. 11 Configuration of TODS

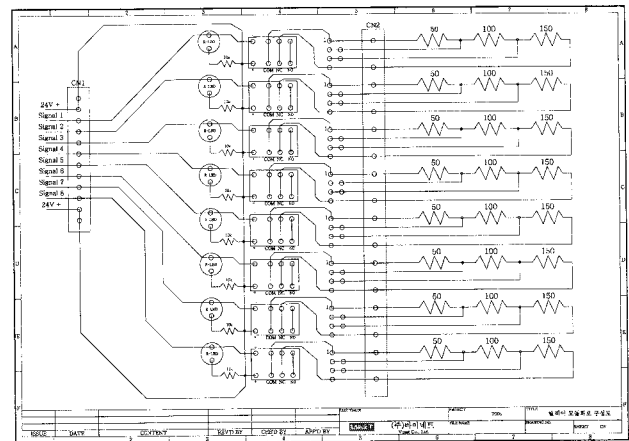


그림 12 ATC 신호 송출차단모듈 구성도
Fig. 12 Circuit diagram of ATC signal blocking modul

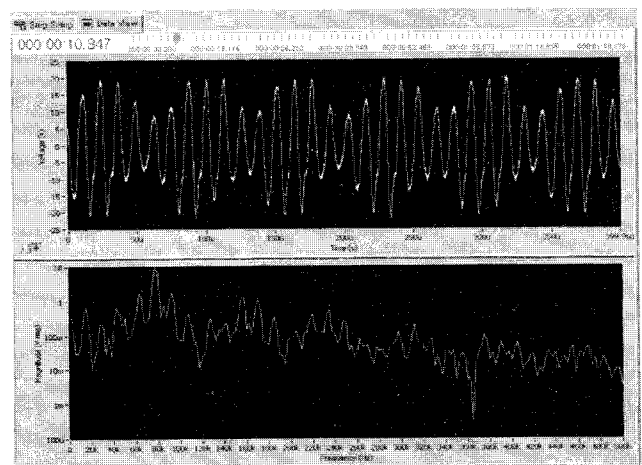


그림 13 열차점유검지장치 설치후의 ATS 발진회로 출력
Fig. 13 Waveform and frequency spectrum of ATS oscillator circuit output after installing TODS

5. 결 론

ATS시스템과 ATC시스템의 중첩운영 과정에서, ATS차상장치에 오동작이 발생하는 현상을 규명하고 그에 대한 대책을 다음과 같이 도출하였다.

1) ATS시스템과 ATC시스템의 중첩운영에서 발생하는 ATC차상장치의 오동작은 ATC시스템의 AF케도회로 신호가 간섭원이 되어 발생하는 전자파 장애 현상이다.

2) 현장에서의 시험측정결과, AF케도회로의 신호가 ATS차상장치로 유입되는 것을 확인하였고, 또한 ATS차상장치에서 동작 주파수 범위를 초과하는 40[kHz] 대역의 잡음이 발생하는 것을 확인하였다. ATS차상장치는 78~138[kHz]를 초과하는 신호가 출력되면 비상제동을 체결하도록 구성되어 있기 때문에, 40[kHz]의 잡음이 오동작을 유발하는 직접 원인으로 판명되었다.

3) 이상과 같은 전자파 장애현상에 대해, 간섭원으로 작용하는 AF케도회로 신호의 송출을 한시적으로 차단하는 장치를 개발하여 적용함으로써 효과를 얻을 수 있었다.

4) ATS시스템에서는 공진을 이용한 주파수 변주회로를 이용하여 열차허용속도정보를 송수신하고, 필터도 아날로그 회로로 구성되어 있는 등 전자파 내성이 낮기 때문에, 장기적인 관점에서는 ATS차상장치의 전자파 내성을 강화시키는 대책이 필요하다.

참 고 문 헌

[1] T. Takashige, "Signalling Systems for Safe Railway Transport", Japan Railway & Transportation Review vol. 21, pp.44-52, 1999.

[2] F. Guenab, J. L. Boulanger, W. Schon, "Safety of Railway Control System : A Preliminary Risk Analysis Approach", IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Singapore, 2008.

[3] H. Arai, K. Sato, "Investigation of the Safety of Automatic Train Stop System", RTRI Report vol.14, no.2, 2000, pp.35-40.

[4] M. Matsumoto, "The Revolution of Train Control System in Japan", Proc. of 7th ISADS, 2005, pp.599-606.

[5] T. Takashige, "Overview of Recent Signalling and Telecommunications Technologies", Quarterly Report of RTRI, vol.43, no.4, 2002, pp.153-154.

[6] T. Kiyoshi, H. Nakamura, "Automatic protection system depending on data oriented control method", Proceedings of IEEE Railroad Conference, Pittsburg USA, 1993, pp.51-57.

[7] N. Watanabe, "Current Status and vision of automatic train operation at urban transit", IEEJ Journal vol. 123, no. 1, 2003, pp.24-27.

[8] 정락교 외, "서울메트로 2호선 ATP/ATO 차량도입에 따른 기존 신호설비와의 적합성검토", 한국철도기술연구원 연구보고서, 2008.

[9] H. Arai, S. Okamoto, "Development of the compact maintenance system for railway signalling equipment using the multiplex system and FFT analysis",

International Conference on Developments in Mass Transit Systems Conf. Publ. No. 453, 1998, pp.184-189.

[10] 고영환, 최규형, "신호장치에 의한 ATS 오동작 방지에 대한 연구", 한국철도학회 추계학술대회 논문집, 2007.

[11] K. Mabe, K. Sato, M. Fukuda, S. Takahashi, "Development of new on-board speed checking type ATS", Tetsudo Saibane, Shinpojiumu Ronbunshu, vol.39, no.1, 2002, pp.1-4.

[12] E. H. Armstrong, "The Super-Heterodyne-its Origin, Development, and Some Recent Improvements", Proc. of the IRE, vol.12, no.5, 1924, pp.539-552.

[13] P. F. Weston, J. Chen, E. Stewart, S. Roberts, "Condition Monitoring of Audio Frequency Track Circuits", International Conference on Railway Engineering, 2008, pp.1-6.

[14] R. T. Sewell, "Evolution of Electronics in railway signaling from the track circuit standpoint", IEEE 35th Vehicular Technology Conference, Vol.35, May 1985, pp.292-298.

[15] K. Heummer, "Interference-free Track Vacancy Detection", International Conference on Mainline Railway Electrification, York, UK, pp. 47-52, 1999.

[16] E. H. Armstrong, "Some Recent Developments of Regenerative Circuits", Proc. of the IRE, vol.10, no.4, 1922, pp.244-260.

저 자 소 개



고 영 환 (高永煥)

1955년 2월 19일생. 2009년 3월 서울산업대학교 철도전문대학원 철도전기신호공학 석사과정 졸업. 1983년~현재 서울메트로 신호팀 부장.



윤 선 호 (尹璿皓)

1981년 3월 1일생. 2007년 서울산업대학교 공과대학 전자정보공학과 졸업. 2008년~현재 서울산업대학교 철도전문대학원 철도전기신호공학과 석사과정



최 규 형 (崔圭亨)

1959년 1월 31일생. 1981년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1982년 홋카이도(北海道)대학 전기공학전공 박사과정 졸업(공학). 2005년~현재 서울산업대학교 철도전문대학원 철도전기신호공학과 교수.