

# ATP 시스템에서 열차속도에 따른 지상자에서 차상자까지의 자계의 세기 및 비트오류율에 관한 연구

논 문
59-10-15

## A Study on the Magnetic Field Intensity and BER from Wayside Device to On-board Device about the Train Speed in ATP System

김민석\* · 이상혁\*\* · 이종우†  
(Min-Seok Kim · Sang-Hyeok Lee · Jong-Woo Lee)

**Abstract** - Electric railway system consists of rolling stock, track, signal and catenary system. ATP system in railway signaling system is the important one grasping the position and velocity of a train. The wayside device of ATP system is installed between rails. Recently, the research about increasing train speed has been developed in total departments of the railroad systems. The study on the information transmission between on-board device and wayside device is required for increasing the train speed in the ATP system. When the train speed is increased as to same transmission distance, the problem on information transmission occurs because the transmission time is decreased. In case that the transmission distance is extended, the transmission time is decreased with respect to the train speed. Therefore, we have to define the standard magnetic field intensity as to the train speed in order to transmit correctly telegram. In this paper, the transmission distance for the telegram is suggested on the basis of the train speed. Also, the standard magnetic field intensity from the wayside device to on-board device is proposed by using transmission distance regarding the train speed in the ERTMS/ETCS system by using Matlab program. Also, BER according to the train speed is presented by calculating electric field intensity from the magnetic field intensity.

**Key Words** : ATP system, Magnetic field intensity, Train speed, Mutual inductance, Bit error ratio

### 1. 서 론

전기철도 시스템은 차량, 궤도, 열차제어 및 전차선 시스템으로 구성되어 있다. 열차제어 시스템은 열차의 간격과 진로를 제어한다.

열차제어시스템에는 ATC(Automatic Train control), ATP(Automatic Train Protection), ATS(Automatic Train Stop)시스템 등이 있으며, 열차제어정보에는 열차위치, 허용속도, 구배, 선행열차와의 거리, 구간정보, 선로변 정보 등이 있다[1]. 열차제어시스템인 ATP 시스템은 열차의 위치 및 구간속도 등 열차제어정보를 차상에서 제어하는 차상신호 시스템이다[2]. ATP 시스템은 각 열차의 차상에서 열차운행과 허용속도 및 지상자로부터 수신되는 정보들을 이용하여 안전운행을 확보한다[2]. 기관사가 조작판넬 상에 표시되는 속도의 제한을 무시하면 차상시스템은 자동적으로 열차의운행을 통제한다.

최근 전세계 철도의 모든 분야에서 열차속도가 500[km/h]이상 되도록 하는 연구개발이 진행 중에 있다. 현재 유럽에서 사용하고 있는 ATP 시스템인 ERTMS/ETCS 시스템의 유로발리스의 경우는 열차속도가 500[km/h]까지 사용이 가능하다. 열차속도가 300[km/h]까지는 표준 텔레그램을 전송할 수 있지만 열차속도가 300[km/h]~500[km/h]에서는 전계의 세기 감소로 인해 기준 비트오류율을 만족하지 못하여 표준 텔레그램을 전송할 수 없어 단축 텔레그램을 이용하여 전송한다[3]. 그러므로 ATP 시스템에서도 열차 속도 증가에 대한 차상자와 지상자 사이의 정보전송에 대한 연구가 필요하다. 동일한 전송거리에 대해 열차속도가 증가하면 전송시간이 감소하여 텔레그램 전송에 문제가 발생할 수 있다. 그러므로 열차속도에 따른 정보 송수신 오류율을 감안하여 열차속도에 대한 기준 자계의 세기를 정의하여 전송거리를 증가시킴으로써 텔레그램 전송이 이루어질 수 있도록 해야 한다.

본 논문에서는 열차속도를 기준으로 요구되는 텔레그램 전송거리를 제시하였다. 또한 ATP 시스템인 ERTMS/ETCS 시스템에서의 열차속도에 대한 정해진 전송거리를 이용하여 지상자에서 차상자로의 판독 자계의 세기를 제시하였다. 판독 자계의 세기를 이용하여 전계의 세기를 계산하여 비트오류율을 비교하였다. 이를 Matlab 프로그램으로 입증하였다. 그리고 이는 ATP 시스템 설계 및 부설시 신호시스템 기준안을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

\* 정 회 원 : 서울과학기술대학교 철도전문대학원  
철도전기신호공학과 박사과정

\*\* 준 회 원 : 서울과학기술대학교 철도전문대학원  
철도전기신호공학과 석사과정

† 교신저자, 정회원 : 서울과학기술대학교 철도전문대학원  
철도전기신호공학과 교수

E-mail : saganlee@snut.ac.kr

접수일자 : 2010년 8월 6일

최종완료 : 2010년 9월 13일

2. 열차속도에 대한 전송시간 및 거리

차상자와 지상자 사이의 텔레그램 전송시간은 LEU(Line-side Electronic Unit)의 샘플링 시간에 영향을 받는다. 텔레그램은 LEU의 신호에 따라 전송이 되는데 LEU의 신호가 샘플링 시간 이후에 변하면 텔레그램은 전송되지만 샘플링 시간 이내에 변하게 되면 텔레그램은 전송이 되지 않는다. 본 논문에서는 오직 텔레그램 전송이 이루어지는 시간만 고려하므로 텔레그램 전송시간은 총 전송할 비트수와 전송속도에만 영향을 받는다. Fig. 1은 텔레그램의 흐름을 나타낸다[4].



그림 1 ATP시스템에서의 텔레그램 흐름  
Fig. 1 Telegram flow in ATP system

차상자와 지상자 사이의 텔레그램 전송시간은 식(1)과 같다[5].

$$T_r = \frac{l_t}{r_t} \tag{1}$$

$l_t$ 는 전송할 텔레그램의 비트수를 나타내며,  $r_t$ 는 전송속도를 의미한다. 식(1)을 이용하여 열차속도에 대한 지상자의 동작이 확보되어야 할 전송거리를 계산하면 식(2)와 같다.

$$D_t = T_r \times V_s \tag{2}$$

$V_s$ 는 열차속도를 의미한다. Fig. 2는 차상자가 지상자 위를 지나갈 때 데이터 전송이 이루어지는 수평거리를 나타낸다.

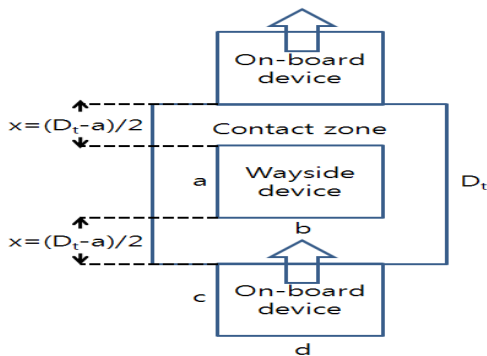


그림 2 차상자와 지상자의 판독 수평거리  
Fig. 2 Length for decoding between wayside device and on-board device

$a$ 는 지상자의 길이를 의미하고,  $b$ 는 지상자의 폭을 의미한다.  $c$ 는 차상자의 길이를 의미하고,  $d$ 는 차상자의 폭을 의미한다.

식(2) 및 Fig. 2를 참고하여 판독 수평거리를 계산하면 식(3)과 같다.

$$x = \frac{(D_t - a)}{2} \tag{3}$$

3. 판독 자계의 세기 및 비트오류율 계산

3.1 판독 자계 및 전계의 세기

ATP 시스템 중 하나인 ERTMS/ETCS시스템의 구성은 Fig. 3이다. 또한 ATP 시스템은 RFID(Radio Frequency Identification)의 응용 시스템이므로 차상자와 지상자는 Fig. 4와 같이 차상자와 지상자의 자기결합에 의해 정보신호가 전송된다[6].

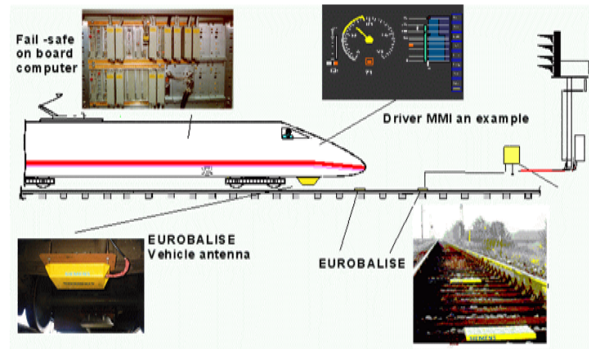


그림 3 ERTMS/ETCS 시스템  
Fig. 3 ERTMS/ETCS system

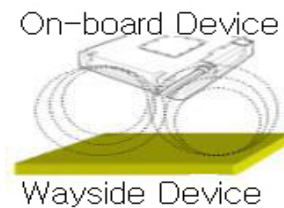


그림 4 차상자와 지상자의 자기결합  
Fig. 4 Magnetic coupling between on-board device and wayside device

정보전송은 Fig. 4와 같이 차상자와 지상자의 자기결합에 영향을 받기 때문에 판독 자계의 세기가 중요하다. ATP 시스템은 지상자에서 차상자로 데이터를 송신하게 되는데 본 논문에서는 ERTMS/ETCS시스템의 표준 지상자에서 차상자로의 정보전송시에 자계의 세기 기준을 제시한다.

ERTMS/ETCS시스템에서 표준지상자의 코일은 직사각형 형태의 루프로 구성되어 있다. 길이와 폭이  $a$ 와  $b$ 인 직사각형 도체 루프의 판독 수평거리  $x$ 와 수직거리  $y$ 인 지점에서 자계의 세기는 식(4)와 같다[7][8].

$$H(I_w) = \frac{N_w \times a \times b \times I_w}{4\pi \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2 + x^2 + y^2}} \times \left( \frac{1}{\left(\frac{a}{2}\right)^2 + x^2 + y^2} + \frac{1}{\left(\frac{b}{2}\right)^2 + x^2 + y^2} \right) \tag{4}$$

$N_w$ 은 지상자 코일의 턴수를 의미하고,  $I_w$ 는 지상자에 흐르는 전류의 크기이다. 판독 자계의 세기를 계산하기 위해서는 차상자와 지상자의 자기 인덕턴스와 상호 인덕턴스가 계산되어야 하므로 식(4)를 이용해서 지상자와 차상자의 자기인덕턴스 및 상호인덕턴스는 식(5) 및 식(6)과 같다[9].

$$L_w = \frac{N_w \times \Phi_w}{I_w} = \frac{N_w \times \mu_0 \times H(I_w) \times a \times b}{I_w} \quad (5)$$

$$L_n = \frac{N_n \times \Phi_n}{I_n} = \frac{N_n \times \mu_0 \times H(I_n) \times c \times d}{I_n}$$

$$M = \frac{B_n(I_w) \times N_n \times c \times d}{I_w} = \frac{\mu_0 \times H(I_w) \times N_n \times c \times d}{I_w} \quad (6)$$

$\Phi_w$ 는 지상자를 통과하는 자속을 의미하고,  $\mu_0$ 는 자유공간에서의 투자율을 의미한다.  $\Phi_n$ 는 차상자를 통과하는 자속을 의미하고,  $N_n$ 은 차상자 코일의 턴수를 의미하고,  $I_n$ 는 차상자에 흐르는 전류의 크기이다.  $c$ 는 차상자 코일의 가로 길이를 의미하고,  $d$ 는 차상자 코일의 세로 길이를 의미한다.

Fig. 4의 자기결합을 전기적 등가회로로 나타내면 Fig. 5이다[10].

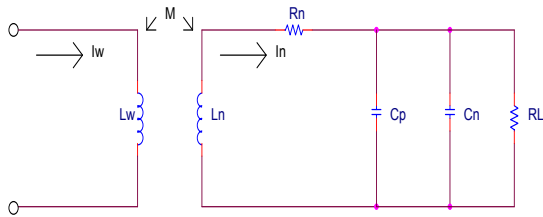


그림 5 전기적 등가모델  
Fig. 5 Electrical equivalent model

$R_n$ 은 차상자의 내부저항을 의미하고,  $C_p$ 는 기생 커패시터를 의미한다.  $R_L$ 은 차상자의 부하저항을 의미하고,  $C_n$ 은 동조 커패시터를 의미한다.

유도된 전압은 차상자 코일  $L_n$ 에 의해 발생된다. 그러므로 유도된 전압은 Fig. 5의 등가회로 모델에 있는 부하저항  $R_L$ 에서 식(7)과 같이 측정된다.

$$u_n = \frac{u_Q}{1 + (j\omega L_n + R_n) \left( \frac{1}{R_L} + j\omega(C_p + C_n) \right)} \quad (7)$$

$\omega$ 는 지상자의 각주파수를 의미하고,  $k$ 는 차상자와 지상자 사이의 결합계수를 의미한다.  $u_Q$ 는 유도 기전력을 의미하고, 공기 중에서 균일한 정형파 자계를 가정하면 유도 기전력은 식(8)과 같다.

$$u_Q = \mu_0 \times c \times d \times N_n \times \omega \times H_{min} \quad (8)$$

$H_{min}$ 은 차상자의 판독 자계의 세기이다. 판독 자계의 세기란 유도된 전압이 데이터 전송을 위해 차상자와 지상자 사이의 최대 거리에서의 자계의 세기를 의미한다. 차상자의

판독 자계의 세기를 계산하기 위해 차상자의 유도된 전압을 이용한다. 식(7)에 유도 기전력을 대입하면 식(9)와 같다.

$$u_n = \frac{j\omega \times \mu_0 \times H_{min} \times c \times d \times N_n}{1 + (j\omega L_n + R_n) \left( \frac{1}{R_L} + j\omega(C_p + C_n) \right)} \quad (9)$$

식(9)에서 유리화 후에  $H_{min}$ 에 대해 정리하면 식(10)과 같다.

$$H_{min} = \frac{u_n \times \left( \sqrt{\left( \frac{\omega L_n}{R_L} + \omega R_n(C_p + C_n) \right)^2} + \sqrt{\left( 1 - \omega^2 L_n(C_p + C_n) + \frac{R_n}{R_L} \right)^2} \right)}{\omega \times \mu_0 \times c \times d \times N_n} \quad (10)$$

식(10)을 참고하면, 판독 자계의 세기는 차상자 코일의 면적과 턴수, 유도된 기전력, 공진주파수에 의존한다. 이는 차상자 공진회로의 공진주파수에서 유도된 기전력의 공진 증가를 결정했기 때문이다. 또한 판독 감도를 최적화하기 위하여 차상자의 공진주파수는 지상자의 전송 주파수에 정확히 정합되어야 한다. 공진주파수가 정확히 정합됨에 따라 식(10)의 분모가 최소가 되어 판독 자계의 세기가 최소값에 존재하게 된다. 공진주파수의 편이는 더 높은 차상자의 판독 자계의 세기가 되며, 따라서 동작 범위는 더 짧아진다. 지상자의 출력 에너지 제한 블록은 지나치게 강한 상향 신호가 4.5[MHz] 송신기 루프로 공급되는 것을 방지하고 있다. 이를 위해 식(10)의 판독자계의 세기를 통해 전체의 세기를 계산한다. 그리고 자유공간에서 전체의 세기는 식(11)로 계산되며, 전체의 세기는 비트오류율을 계산하는 경우에 사용된다. 또한 최대전압 이상의 전압이 유도되는 것을 방지하는 지상자의 에너지 제한 블록에서 기전력 계산시 사용된다.

$$E_{min} = H_{min} \times \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} \quad (11)$$

$\epsilon_0$ 는 자유공간에서의 유전율을 의미한다.

### 3.2 비트오류율

ERTMS/ETCS시스템에서는 FSK(Frequency Shift Keying)변조방식을 사용하고 있다. ERTMS/ETCS시스템에서는 주파수를 가진 신호파형에 대해 각각 envelope detector를 설치해서 그 출력들 중 최대치에 해당되는 신호 파형이 들어온 것으로 판별한다[11]. FSK변조방식에서의 신호 대 잡음비를 계산하면 식(12)와 같다[11].

$$SNR_b = \frac{E_{min}}{N_0/2} \quad (12)$$

FSK변조방식에서 비트오류율을 계산하면 식(13)과 같다 [11].

$$P_e = \frac{M/2}{M-1} \sum_{m=1}^{M-1} (-1)^{m+1} \binom{M-1}{m} \frac{1}{m+1} e^{-mbSNR_r/2(m+1)} \quad (13)$$

M은 변조차수를 의미하고, b는 심볼당 비트를 의미한다. m은 수신된 신호의 수를 의미한다. ERTMS/ETCS시스템에서 사용하고 있는 변조 차수가 2인 경우에 비트오류율을 계산하면 식(14)이다.

$$P_e = \frac{1}{2} e^{-SNR_r/4} \quad (14)$$

#### 4. 시뮬레이션

ATP 시스템 중에서 ERTMS/ETCS시스템의 차상자 및 지상자 특성은 Table 1이다. 지상자의 경우에는 횡방향으로 설치한 경우로 한다[12][13]. 열차속도에 따라 기준 자계 및 전계의 세기가 변화하므로 차상자와 지상자의 수평거리는 열차속도에 따라 달라진다.

표 1 ERTMS/ETCS시스템 차상자 및 지상자 특성

Table 1 Characteristic of on-board device and wayside device in ERTMS/ETCS system

구분	값
지상자의 전송속도( $r_t$ )	564kbit/s
표준 텔레그램 길이( $l_t$ )	1023bit
차상자 코일의 가로 길이(c)	40[mm]
차상자 코일의 세로 길이(d)	40[mm]
차상자의 내부저항( $R_n$ )	0.3[Ω]
차상자의 부하저항( $R_L$ )	50[Ω]
기생커패시터+동조커패시터( $C_p + C_n$ )	1.474[nF]
차상자의 인덕턴스( $L_n$ )	960[nH]
차상자 코일의 턴수( $N_n$ )	7[turn]
지상자 코일의 가로 길이(a)	40[mm]
지상자 코일의 세로 길이(b)	40[mm]
지상자 코일의 턴수( $N_w$ )	7[turn]
지상자의 인덕턴스( $L_w$ )	960[nH]
지상자의 전류크기( $I_w$ )	10[mA]
지상자의 전송주파수( $f$ )	4.23[MHz]
차상자와 지상자의 수직거리( $y$ )	200[mm]

전송속도 및 텔레그램 길이는 텔레그램 전송시간을 계산하는 경우에 필요한 파라미터이고, 차상자 및 지상자 코일의 길이, 지상자 전류의 크기, 차상자와 지상자의 수직거리, 지상자 코일의 턴수는 지상자 자계의 세기 및 상호인덕턴스를 계산하는 경우에 필요한 파라미터이다. 지상자의 전송주파수, 차상자의 저항, 인덕턴스 및 커패시터는 판독 자계의 세기를 계산하는 경우에 필요한 파라미터이다.

#### 4.1 열차속도에 대한 전송시간 및 전송거리

Table 1을 기준으로 식(1)에 대입하여 전송시간을 계산하면 다음과 같다.

$$T_r = \frac{l_t}{r_t} = 1.8138[ms]$$

식(2)을 이용하여 열차속도가 100[km/h]인 경우 전송거리는 50.38[mm]이고, 600[km/h]인 경우 302.3[mm]까지 증가한다. Fig. 7의 결과를 식(3)에 대입하여 판독 자계의 세기를 계산하기 위한 직선구간에서 판독 수평거리를 100[km/h]마다 계산한 경우에 지상자와 차상자 사이의 판독 수평거리를 Table 2이다.

표 2 ERTMS/ETCS시스템 차상자 및 지상자 특성

Table 2 Characteristic of on-board device and wayside device in ERTMS/ETCS system

열차속도[km/h]	판독 수평거리[mm]
100	5.19
200	30.38
300	55.58
400	80.77
500	106
600	131.2

Table 2를 보면 전송시간은 일정하기 때문에 열차속도가 증가함에 따라 판독 수평거리가 증가한다.

#### 4.2 차상자와 지상자 사이의 상호인덕턴스

차상자와 지상자 사이의 판독 수평거리에서의 상호인덕턴스는 식(4)와 식(6)을 이용하여 계산한다. Table 1과 Table 2를 기준으로 열차속도에 대한 판독 수평거리에서의 상호인덕턴스를 해석하면 Fig. 6과 같다.

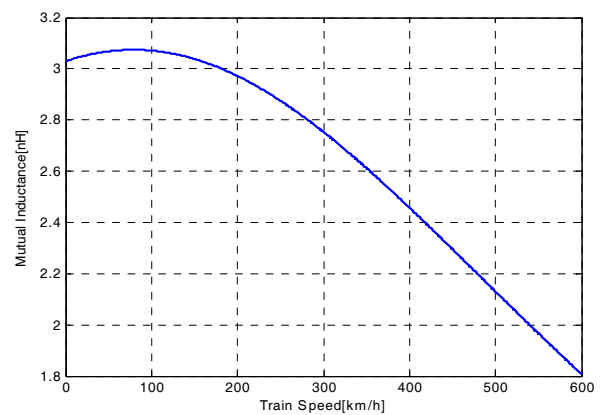


그림 6 열차속도에 대한 상호인덕턴스

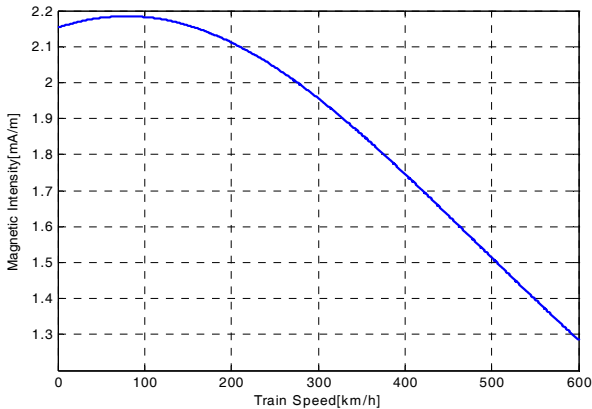
Fig. 6 Mutual inductance according to train speed

Fig. 6을 해석하면, 열차의 속도가 75[km/h]전까지는 열차의 속도가 증가함에 따라 상호인덕턴스가 약간 증가한다. 이는 판독 수평거리가 0이하의 값이 산출되어 열차속도가 증가하면 판독 수평거리가 증가하기 때문에 약간 증가되는 것이다. 열차속도가 75[km/h]이상부터는 열차속도가 증가함에 따라 상호인덕턴스의 크기가 줄어든다. 이는 차상자와 지상자의 직사각형 코일의 루프를 통과하는 자속량이 판독

수평거리가 증가함에 따라 줄어들기 때문이다.

**4.3 판독 자계 및 전계의 세기**

Table 1 및 Table 2를 기준으로 차상자와 지상자 사이의 상호인덕턴스를 이용하여 열차속도에 대한 판독 자계의 세기를 계산한다. 식(10)과 식(11)을 이용하여 열차속도에 대한 판독 자계의 세기를 해석하면 Fig. 7이고, 전계의 세기를 계산하면 Table 3이다.



**그림 7** 열차속도에 대한 판독자계의 세기  
**Fig. 7** Magnetic field intensity for decoding according to train speed

**표 3** 열차속도에 대한 판독전계의 세기

**Table 3** Electric field intensity for decoding according to train speed

열차속도[km/h]	판독전계의 세기[V/m]
100	0.822
200	0.796
300	0.737
400	0.658
500	0.570
600	0.484

Fig. 7을 해석하면 판독자계의 세기가 상호인덕턴스와 비례적인 관계이므로 상호인덕턴스와 같은 형태로 나타난다. 열차속도가 증가함에 따라 판독 자계의 세기는 감소한다. 또한 Table 3을 보면, 열차속도가 증가됨에 따라 지상자의 에너지 제한블록에서 최대 전압 이상의 전압이 유도되는 것을 막기 위한 전계의 세기가 감소한다. 그러므로 송신기 루프로 공급되는 신호의 세기가 감소한다. 열차의 속도가 증가함에 따라 안테나의 판독 자계 및 전계의 세기가 더 작은 범위에서 동작할 수 있어야 하거나 지상자의 전류의 크기를 증가시킨다. 또한 지상자의 코일 턴수와 비례적인 관계이므로 전류의 크기를 높이거나 코일 턴수를 증가시키는 방법이 있다.

**4.4 비트오류율**

식(14) 및 Table 3을 참고하여 자유공간에서 차상자와 지

상자의 거리에서 잡음이 ERTMS/ETCS시스템의 경우에 유럽에서 시험한 결과는 약 18.4[mV/m]이고, 비트오류율을 계산하면 Table 4이다[12].

**표 4** 열차속도에 대한 비트오류율

**Table 4** Bit error ratio according to train speed

열차속도[km/h]	비트오류율
100	$1 \times 10^{-10}$
200	$2.135 \times 10^{-10}$
300	$1.035 \times 10^{-9}$
400	$9.105 \times 10^{-9}$
500	$9.749 \times 10^{-8}$
600	$9.433 \times 10^{-7}$

열차의 속도가 증가함에 따라 전계의 세기가 감소함에 따라 신호의 세기가 감소하여 정보 송수신 오류율이 비례적으로 낮아진다. 열차속도가 100[km/h]인 경우와 600[km/h]인 경우에 비트오류율은 약 100배 차이가 난다. ETRMS/ETCS 시스템의 비트 오류율 기준은  $10^{-9}$ 이므로 열차속도가 300 [km/h]이상에서는 표준 텔레그램을 전송하지 못하고, 단축 텔레그램을 전송한다[6]. 열차속도가 증가하더라도 표준 텔레그램을 전송하기 위해서는 전계의 세기가 0.737[V/m] 이상 되어야 하고, 이를 위해서는 자계의 세기가 1.5배 증가되어야 한다.

**5. 결 론**

본 논문에서는 정해진 텔레그램 전송시간을 기준으로 열차속도에 대한 텔레그램 전송거리를 계산하였다. 이를 이용하여 ATP 시스템인 ERTMS/ETCS시스템에서의 차상자와 지상자 사이의 판독 자계 및 전계의 세기를 제시하였다. 또한 전계의 세기를 이용하여 FSK변조방식에서의 비트오류율을 열차속도에 대해 해석하였다.

열차속도가 100[km/h]에서 600[km/h]로 증가함에 따라 전송거리가 50.38[mm]에서 302.3[mm]까지 증가하였다. 이에 대해 판독 수평거리도 열차속도가 증가함에 따라 증가되었다. 판독 수평거리가 증가함에 따라 상호인덕턴스가 감소한다. 판독 수평거리가 증가함에 따라 자속이 통과하는 양이 적어지기 때문이다. 판독 자계의 세기와 상호인덕턴스는 비례관계이므로 열차 속도가 증가함에 따라 판독 자계의 세기가 감소하였다. 열차속도가 100[km/h]인 경우와 600[km/h]인 경우에 판독 자계의 세기가 약 1.5배 차이가 나며 전계의 세기가 감소하여 비트오류율도 약 100배 차이가 난다.

해석결과를 통해 실제 ATP시스템 설계시에 열차속도가 600[km/h]까지 기준 비트오류율을 만족하기 위해서는 자계의 세기가 약 1.5배 증가해야 한다. 자계의 세기가 1.5배 증가함에 따라 전계의 세기도 1.5배 증가한다. 두 번째 방법으로는 열차속도가 증가함에 따라 표준 텔레그램 전송을 정상적으로 하기 위해 0.484[V/m]를 감지할 수 있는 안테나를 제작한다. 세 번째 방법으로는 차상자와 지상자 코일의 턴수 및 직사각형 루프의 크기를 약 2배 증가시킴으로써 차상

자와 지상자 사이의 상호인덕턴스의 크기를 증가시킨다. 네 번째 방법으로는 지상자 전류의 크기를 약 2배 증가시켜 판독 자계의 세기를 증가시킨다. 모든 방법에서 고려해야 할 것은 판독 자계의 세기를 증가시키는 경우에 지상자의 최대 전압 이상의 전압이 유도되지 않는 크기와 송신기 루프로 공급되지 않는 크기 내에서 해야 한다. 또한 에너지 제한 블록 설계시에 전계의 세기 기준을 기준 비트오류율을 만족하는 0.737[V/m]이하로 설계해야 한다.

본 연구는 향후 고속열차 혹은 자기부상열차에 ATP 시스템을 적용 시에 활용될 수 있으며, ATP 시스템 설계 및 부설시 신호시스템 기준안을 위한 기초자료를 제시하고자 한다. 또한 곡선구간에서는 차상자와 지상자가 정확히 일치되지 않기 때문에 곡선구간에서의 판독 자계의 세기에 대한 연구가 필요하고, 차상자에서 지상자로의 데이터 전송에 대한 자계의 해석도 필요하다.

### 참 고 문 헌

[1] Minseok Kim, Sanghyeok Lee, Jongwoo Lee, "A Study on Coupling coefficient Between Rail and Reinforcing Bars in Concrete Slab Track", Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 12, No.3, pp. 405-411, 2009.

[2] Minseok Kim, Inmo Yoon, Junseog Ko, Jongwoo Lee, "The Influence of Frequency on Wayside device of ATP System upon Reinforcing Bars in Concrete Slab Track", Journal of the Korean Society for Railway, Vol.11, No.6, pp.536-542, 2008.

[3] UIC, "ERTMS Training Programme 2009: Handbook", pp.342-367, 2009.

[4] Alcatel, Alstom, Siemens, "ERTMS/ETCS-Class 1: System Requirements Specification Chapter 3 Principles", pp.77-89, 2002.

[5] Morten Lisborg Jorgensen, "Analysis and Enhancement of Safety-Critical Communication for Railway Systems", AALBORG University, pp.46-47, 2008.

[6] Alcatel, Alstom, Siemens, "ERTMS/ETCS-Class 1: Test Specification for Eurobalise FFFIS", pp.286-297, 2003.

[7] W. H. Hayt, "Engineering Circuit Analysis", McGraw-Hill, Sixth Edition, pp.433-435, 2002.

[8] Minseok Kim, Jongwoo Lee, "A Study on the Distance Between Track Circuits Using Identical Frequency in Railway Track Circuit System", Journal of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol.58 No.11, pp.2168-2174, 2009.

[9] Sadiku, "Elements of Electromagnetics", Oxford University, Second Edition, pp.354-359, 1995.

[10] Youbok Lee, "Antenna circuit design, AN710, application note, microID 13.56MHz-RFID system design guide", pp.65-71, 1999.

[11] Won Y. Yang, "Matlab/Simulink for Digital Communication", pp.180-184, 2009.

[12] Alcatel, Alstom, Siemens, "ERTMS/ETCS-Class 1: FFFIS for Eurobalise", pp.60-82, 2005.

[13] Korea Rail Network Authority, "A Study on Improving the Interface Performance in the Concrete Slab Tracks", pp.153-160, 2008.

## 저 자 소 개



### 김민석 (金旻奭)

1983년 4월 3일생. 2006년 서울기술대학교 전자정보공학과 졸업. 2008년 서울기술대학교 철도전문대학원 철도전기신호공학과 졸업. 2008년~현재 철도전문대학원 철도전기신호공학과 박사과정  
Tel : 02-970-6874  
Fax : 02-978-6874  
E-mail : kms0403@snut.ac.kr



### 이상혁 (李相赫)

1985년 2월 10일생. 2009년 서울기술대학교 전자정보공학과 졸업. 2009년~현재 서울기술대학교 철도전기신호공학과 석사과정  
Tel : 02-970-6874  
Fax : 02-978-6874  
E-mail : dodary1957@naver.com



### 이종우 (李鍾宇)

1959년 3월 20일생. 1983년 한양대학교 기계설계과 졸업. 1986년 Ecole Centrale de Nantes 졸업, 1993년 Paris VI 졸업 (공학). 2005년~현재 서울기술대학교 철도전기신호공학과 교수  
Tel : 02-970-6874  
Fax : 02-978-6874  
E-mail : saganlee@snut.ac.kr