

# 전기철도 복선화 및 차폐 케이블 적용에 따른 통신선 유도장해 차폐 효과

설일환<sup>1</sup>, 최규형<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>서울과학기술대학교 철도전기신호공학과

## Screening Effects of Double-track Electric Railway and Shielded Cables on Communication-Line Inductive Interference

Il-Hwan Seol<sup>1</sup> and Kyu-Hyoung Choi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Railway Electrical/Signalling Engineering, Seoul National University of Science  
and Technology

**요 약** 전기철도와 인접하여 병행 설치되어 있는 전기통신선에는 전자유도현상에 의한 유도전압이 발생하여 통신 장애 및 안전사고가 발생할 수 있다. 이와 같은 유도장해를 경감시키고 통신신뢰성을 확보하기 위하여, 차폐케이블의 적용과 함께 최근 추진되고 있는 복선전철화에 따른 영향을 검토할 필요가 있다. 본 논문에서는 AT급전방식 전기철도에서 인근 통신선에 유기되는 유도전압에 영향을 미치는 각종 인수 및 산출식을 검토하고, 유도전압 발생 예측치를 시뮬레이션을 통하여 정량적으로 분석하였다. 시뮬레이션 결과, 복선철도에서는 단선철도에 비해 통신선 유도잡음 전압이 18[%] 정도 감소하여 타계조 효과가 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 복선철도를 기준으로, 50% 차폐 통신케이블에서는 유도잡음전압이 1/8로 감소하였으며, 15% 차폐 통신케이블에서는 1/15로 감소함에 따라 차폐효과가 크고 유도잡음전압 영향을 최소화할 수 있는 것으로 나타났다.

**Abstract** The induced voltage on the telecommunication cable generated by nearby electric railway system may bring about telecommunication errors and safety accidents. In order to reduce the induced voltage and to achieve communication reliability, the effect of the shield cables and the recent double-track railway systems on the inductive interference should be investigated. This paper analyzes the parameters which seriously influence the induced voltage on the telecommunication cables which run parallel with a AT-fed electric railway line, and provides a simulation-based approach to estimate the amount of the induced voltage. Simulation results indicate that the induced noise voltage generated by a double-track railway decreases by 18 % compared to that generated by a single-track railway, showing the screening effect by nearby track. The induced noise voltages on the 50%-shielded cable and 15%-shielded cable decrease to 1/8 and 1/15 of the induced voltage on the non-shielded cable, respectively. A meaningful shield effect is achieved and the induced voltage is minimized by the double-track railway and the shielded cable.

**Key Words** : Inductive interference, Electric railway, Telecommunication cable, Shield effect

### 1. 서 론

고속철도를 포함하여 최근 건설되는 철도는 환경 장해 유발요인이 적고, 견인력 증가 및 대용량 수송이 가능한

전기철도로 건설되고 있다. 그러나, 전기철도에서는 열차 견인 전력을 공급하기 위한 전차선 설비가 선로를 따라 건설되는데, 전차선에 흐르는 고전압 대전류로부터 인근에 포설된 통신케이블과의 전자기적인 결합에 의한 유도

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

\*Corresponding Author : Kyu-Hyoung Choi(Seoul National Univ. of Science and Technology)

Tel: +82-2-970-6873 email: khchoi@seoultech.ac.kr

Received September 13, 2013 Revised October 9, 2013 Accepted October 10, 2013

장해가 발생할 수 있다. 통신선에 발생하는 유도전압은 통신품질 저하를 유발하고 통신장치 고장 또는 오동작으로 이어질 수 있으며, 전차선 사고시 과도현상으로 발생한 유도전압은 인체 안전성까지 위협할 수 있다[1].

이상과 같이 전기철도와 병행하여 통신선이 포설될 경우에는, 전자유도로 발생할 수 있는 최대 유도전압을 산출하고, 유도잡음전압에 의한 통신서비스의 품질저하를 방지할 수 있는 대책을 수립할 필요가 있다. 그러나, 전차선으로부터 통신선에 유도되는 유도전압의 크기는, 전기철도 급전 방식, 열차 성능 및 열차운행조건, 레일전류의 비선형분포 등과 관계되어 정확한 값을 산정하기가 매우 어렵다. 특히, 기존의 단선철도를 복선화하여 전철화하는 경우, 전차선 및 궤도 설비가 이중으로 구성되어 전차선으로부터 통신케이블에의 유도전압을 산정하기가 더욱 복잡해지고 있다[2].

본 논문에서는, AT급전방식 전기철도의 전차선 주위에 통신케이블이 포설되어있는 철도환경에서 통신케이블에 영향을 미치는 유도잡음전압을 산출하기 위한 검토를 수행하였다. 이를 위해, 유도잡음전압과 관련된 파라미터들을 고찰하고 국내의 기술기준내용을 분석하였다[3,4]. 또한, 전기철도를 운행하는 레일의 부설형태(단선, 복선)와 통신케이블의 종류(비차폐, 15%차폐, 50%차폐)에 따른 유도잡음전압의 변화를 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 이를 통해, 통신케이블의 차폐율에 따른 유도잡음전압의 변화를 분석하고, 철도 환경에서 전력유도장해를 최소화 할 수 있는 궤조부설형태와 통신케이블의 차폐율에 상관관계를 분석하였다.

## 2. 전력유도전압 산정

### 2.1 기 유도전류

고속전철 부하전압에는 많은 고조파성분이 포함되며, 기본주파수인 60[Hz] 성분에서부터 비교적 높은 주파수인 8.3[kHz]에 이르기까지 넓은 범위에 걸쳐 고조파 성분이 발생하고 있다[5]. 이에 따라, 향후 디지털 통신의 발달로 넓은 대역폭을 사용할 경우 전철에서 발생하는 고조파는 정보통신설비에 영향을 미칠 것으로 예측된다.

전기철도 급전회로에서는 레일을 전류의 귀로도체로 이용하여 전력을 공급하고 있다. 이때, 레일과 대지의 절연이 완전하지 않을 경우 귀로전류의 일부가 대지로 누설되어 흐르게 되는데, 이렇게 대지에 누설된 전류가 통신케이블의 유도장해를 일으키는 기 유도전류로 작용한다[6].

### 2.2 유도잡음전압 산출

전기철도에서 일정거리에 이격되어 있는 통신케이블에 유기되는 유도잡음전압의 산출식은 국내의 기술기준에서 제시하고 있으며, AT급전방식의 단선철도의 경우 식(1)과 같이 산정된다[4,7].

$$V_n = \sum [j\omega \cdot (\text{Amp} \cdot \text{Km}) / D] \cdot J_p \cdot M_{(n)} \cdot L \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8 \cdot \lambda \cdot 10^{-3} \text{ [mV]} \quad (1)$$

여기서,

$\omega$  : 60Hz 또는 800Hz시의 각속도

$(\text{Amp} \cdot \text{Km}) / D$  : 800Hz 때의 전류 I[A]당 단위장 Amp · Km

D : 유도전압이 가장 많이 발생하는 구간의 거리 [Km]

$J_p$  : 전차선의 최대부하전류에 대한 등가방해전류 [A]

$M_{(n)}$  : 800Hz에 대한 전차선과 전기통신회선간의 상호 인덕턴스 [ $\mu\text{H}/\text{km}$ ]

$\ell$  : 전차선과 통신선의 병행거리 [Km]

$\lambda$  : 전기통신회선의 평형도

$K_1$  : 전차차폐선의 차폐계수

$K_3$  : 전기통신선의 차폐계수

$K_4$  : 터널의 차폐계수

$K_6$  : 고가의 차폐계수

$K_7$  : 케이블 조수에 의한 차폐계수

$K_8$  : 타궤조에 의한 차폐계수

복선철도의 경우에는 상행선과 하행선의 유도전압이 합성된 합성유도전압으로 나타나며 식(2) ~ 식(5)와 같이 산출한다.

$$V_n(\text{합성}) = \sqrt{V_{1n}^2(\text{상}) + V_{2n}^2(\text{상}_{12n}) + V_{2n}^2(\text{하}) + V_{1n}^2(\text{하}_{12n})} \quad (2)$$

$$V_{cn}(\text{합성}) = 1.41 \sqrt{V_{1n}^2(\text{상}) + V_{2n}^2(\text{상}_{12n})} \quad (3)$$

$$V_{1n}(\text{상}) = \sqrt{V_{1n}^2(\text{상}) + V_{2n}^2(\text{상}_{12n})} \quad (4)$$

$$V_{2n}(\text{하}) = \sqrt{V_{2n}^2(\text{하}) + V_{1n}^2(\text{하}_{12n})} \quad (5)$$

여기서,

$V_n(\text{합성})$  : 유도잡음전압 [mV]

$V_{cn}(\text{합성})$  : 상행, 하행선의 동일 전류를 공용하는 Amp · Km를 사용하는 때의 합성잡음 전압 [mV]

$V_{1n}(\text{상})$  : 상행선의 유도잡음전압 [mV]

$V_1$ (상<sub>12n</sub>) : 상행선의 앞 열차로부터 뒤 열차까지의 위치를 12Km로 한 곳의 유도잡음전압 [mV]

$V_{2n}$ (하) : 하행선의 유도잡음전압 [mV]

$V_{2n}$ (하<sub>12n</sub>) : 하행선의 앞 열차로부터 뒤 열차까지의 위치를 12Km로 한 곳의 유도잡음전압 [mV]

### 3. 파라미터 분석

#### 3.1 등가방해전류

전차선 부하 전류에는 다수의 고조파성분이 포함된다. 고조파 성분은 각 고조파의 에너지를 800Hz로 환산한 전력의 합으로 등가화하고 이를 800Hz, 100A에 대하여 산정한 유도전류의 환산계수로 변환하여 식(6)과 같이 등가방해전류를 산출한다[8].

$$J_p = \sqrt{\sum_{nf=1,3,5}^{3400/f} (I_{nf} \cdot S_{nf} \cdot H_{nf})} \quad [A] \quad (6)$$

여기서,

$I_{nf}$  : 고조파 함유율 =  $K_R \cdot 1/n^2$

$S_{nf}$  : 유도전압에 대한 감청 특성, 즉 청각율

$H_{nf}$  : 통신선의 차폐정도에 따른 보정 계수,  
 $K_T \cdot nf/800$

실제로 유도잡음전압을 산출하는데 적용되는 등가방해전류는 열차종류에 따라 다르게 나타난다. 열차중에서 가장 큰 부하전류를 갖고 있는 차량을 기준으로 최대 부하전류를 290[A], 최대 등가방해전류를 8[A]로 상정하고 보정률(예측치/실측치) 0.34를 고려하여 2.72[A]를 적용하였다.

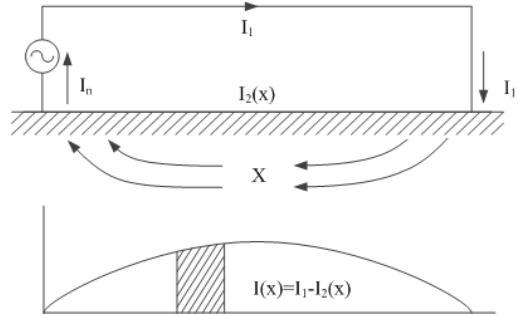
#### 3.2 열차위치에 따른 Amp·Km 분석

유도잡음전압을 산출하는 식(1)의 중요한 요소인 Amp·Km는, 부하전류 또는 등가방해전류 1 A가 흘렀을 때, 어느 일정 소구간에서 발생하는 기 유도전류 평균치와 해당 구간 길이를 곱한 것으로 정의된다[9].

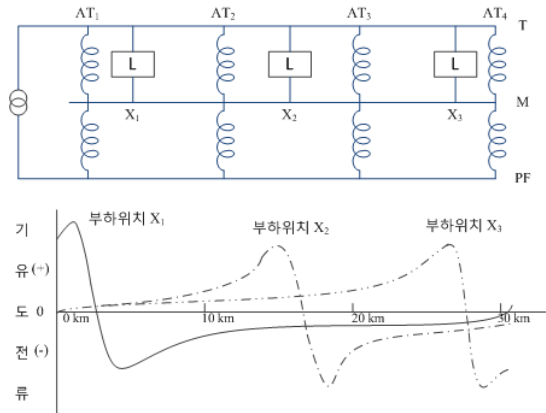
전기철도에서 유도장해를 일으키는 기유도전류는 레일로부터 대지로 흐르는 누설전류로서 Fig. 1와 같이 분포정수회로로 나타난다. 따라서, 소 구간 ( $\ell$  1~ $\ell$  2)에 대한 Amp·Km의 평균치는 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$Amp \cdot Km = I_1(x) - \int_{\ell_1}^{\ell_2} I_2(x) dx \quad (7)$$

AT 급전회로의 기 유도 전류는 부하(열차)의 위치 및 운전상태에 따라 변화한다. Fig. 2는 부하위치가 급전회로의 시단, 중앙, 종단 부근의 3지점에서 열차가 진행할 경우의 기 유도전류를 나타낸다.



[Fig. 1] Earth leakage current from rail

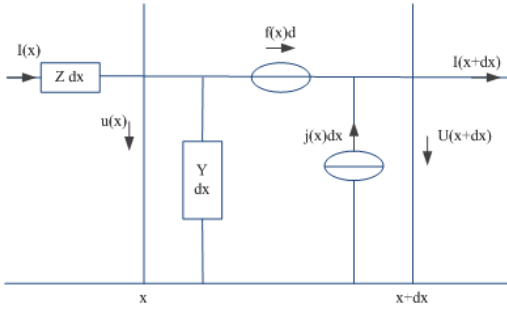


[Fig. 2] Inducing current of the AT-fed power system

이상과 같이 AT급전방식에서는 급전회로가 복잡하고 부하위치에 따라 기 유도전류가 변화하게 된다. 이러한 복잡성 때문에 분포정수에 의한 다도체 계산법을 적용하여 계산하고 있다. 대지귀로전류를 갖는 선로에서의 분포정수회로는 Fig. 3과 같이  $\pi$  회로로 등가화하여 다음 식과 같이 해석할 수 있다.

$$-\frac{dU(x)}{dx} = ZI(x) - f(x) \quad (8)$$

$$-\frac{dI(x)}{dx} = YU(x) - j(x) \quad (9)$$



[Fig. 3] Distributed constant circuit model

Propagation Coefficient  $r = \sqrt{ZY}$ 를 식(8), (9)에 대입하면,

$$\frac{d^2 I(x)}{dx^2} - r^2 I(x) = \frac{dj(x)}{dx} - Yf(x) \quad (10)$$

$$\frac{d^2 U(x)}{dx^2} - r^2 U(x) = \frac{df(x)}{dx} - Zf(x) \quad (11)$$

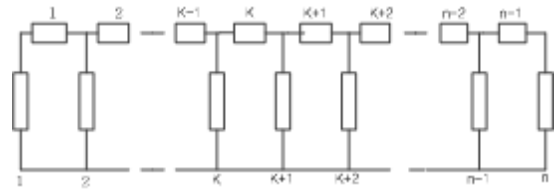
이 되고, 특성 임피던스  $Z_C = \sqrt{\frac{Z}{Y}}$ 를 적용하여 계산하면 다음과 같다.

$$U(x) = \left(\frac{e^{-\gamma x}}{2} \int_0^x [f(a) + Z_C \mathcal{I}(a)] e^{\gamma a} da + \frac{e^{\gamma x}}{2} \int_0^x [f(a) - Z_C \mathcal{I}(a)] e^{\gamma a} da + C e^{-\gamma x} - D e^{\gamma x}\right) \quad (12)$$

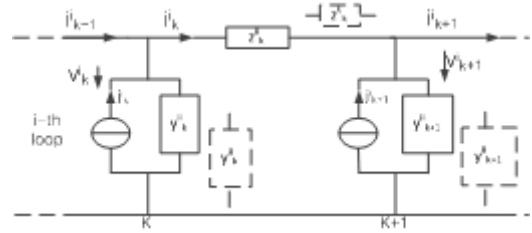
$$I(x) = \frac{1}{Z_C} \left(\frac{e^{-\gamma x}}{2} [f(a) + Z_C \mathcal{I}(a)] e^{\gamma a} da - \frac{e^{\gamma x}}{2} [f(a) - Z_C \mathcal{I}(a)] e^{-\gamma a} da + C e^{-\gamma x} + D e^{\gamma x}\right) \quad (13)$$

다중도체 계산법은, M개의 평행한 전송선으로 구성되는 다중도체를 짧게 잘라서 (N-1)개의 셀로 나누고, 각 셀에서의 전압 및 전류가 일정한 것으로 가정하여 회로를 해석하는 계산법이다[10]. AT급전회로의 경우에는 전차선, 레일 및 급전선이 다중도체로 되며, Fig. 4와 같이 전체선로를 (N-1)개의 셀로 분리하고, 각 셀마다 Fig. 5와 같은  $\pi$  등가회로로 계산할 수 있다.

도체 i의 K번째 포인트에서의 전위벡터  $[V]_k$ 는 다음 관계식에서 산출할 수 있다.



[Fig. 4] Cell Separation of multi-conductor line



[Fig. 5] Equivalent circuit of cell circuits

$$[Z]_k [J]_k = V_k - [V]_{k+1} + [F]_k \quad (k = 1, 2, \dots, n-1) \quad (14)$$

$$[Y]_1 [V]_1 = -[J]_1 + [J]_1 \quad (15)$$

$$[Y]_k [V]_k = [J]_{k-1} - [J]_k - [J]_k \quad (k = 2, \dots, n-1) \quad (16)$$

$$[Y]_n [V]_n = [J]_{n-1} - [J]_n \quad (17)$$

$$\begin{bmatrix} [M]_1 & [H]_1 & [0] & [0] & \dots & [0] & [0] & [0] \\ [D]_2 & [M]_2 & [H]_2 & [0] & \dots & [0] & [0] & [0] \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots \\ [0] & [0] & [0] & [0] & \dots & [D]_{n-1} & [M]_{n-1} & [H]_{n-1} \\ [0] & [0] & [0] & [0] & \dots & [0] & [D]_n & [M]_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [V]_1 \\ [V]_2 \\ \vdots \\ [V]_{n-1} \\ [V]_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [x]_1 \\ [x]_2 \\ \vdots \\ [x]_{n-1} \\ [x]_n \end{bmatrix} \quad (18)$$

여기서,  $[V]_k$ 는 포인트 k에서 전위벡터로서, 모든 전위는 N개의 벡터  $[V]_k$ 로 구성되며, 각 벡터는 m개의 도체 전위로 구성된다. 또한,  $[J]_k$ 는 소구간 k에서의 전류벡터이며, 전체선로 전류는 (N-1) 개의 벡터  $[J]_k$ 로 표시되고, 각 벡터는 소구간 k에서의 m개의 도체 전류로 구성된다.

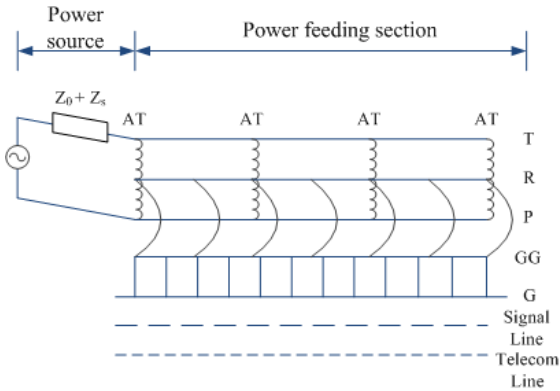
포인트가 N개인 경우, N개의 전압 벡터로부터 다음과 같은 복소수 연립방정식이 성립하고, 이로부터 해를 구할 수 있다.

$$[J]_k = [Z]_{k-1}^{-1} ([V]_k - [V]_{k+1} + [F]_k) \quad (k = 1, 2, \dots, n-1) \quad (19)$$

이상과 같이, AT방식 급전회로에서는 Fig. 6과 같이 전차선, 레일, 급전선이 병렬로 연결된 3선조 다중도체에 수킬로미터 간격으로 단권변압기가 연결된 사다리형 회로망을 이용하여 기 유도전류(Amp·Km)를 산출할 수 있다.

$$(AMP \cdot KM) = \int^D [I_T(k) + I_P(k) + I_R(k) + I_y(k)] dk \quad (20)$$

여기서,  $I_T$ : 전차선 전류,  $I_P$ : 급전선 전류,  $I_R$ : 레일 전류



[Fig. 6] Circuit model of AT-fed traction power system

### 3.3 상호인덕턴스

상호 인덕턴스는 Carson- Pollaczek 공식을 적용하여 식 (21)과 같이 산출할 수 있다. 여기서, 상호 인덕턴스를 변화시키는 요소인 기유도체와 피유도체의 직선거리는 식 (22)로 계산하고,  $k$ 와의 적으로 환산하여 적용한다. 상호 인덕턴스 관련식은 조건이  $kd < 0.5$ ,  $10 \geq kd \geq 0.5$ ,  $kd > 10$  경우 서로 상이하므로, 본 논문에서는  $kd < 0.5$  조건을 기준으로 다음 식과 같이 상호인덕턴스를 산정하였다.

$$M = (4.6 \log_{10} \frac{2}{kd} - j \frac{\pi}{2}) \times 10^{-4} \quad (21)$$

여기서,

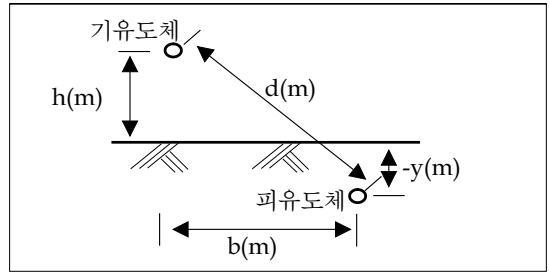
$$d = \sqrt{b^2 + (h-y)^2} \quad (22)$$

$h$ : 기유도체의 지상고 [m]

$y$ : 피유도체의 지상고 [m]

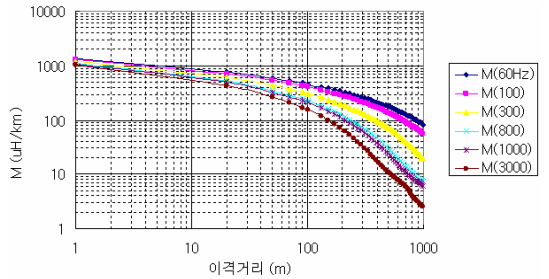
$$k = 2\pi \sqrt{2j\delta \times 10^{-7}} = \sqrt{4\pi\omega\delta \times 10^{-7}} \quad (23)$$

$\delta$ : 대지도전율[S/m]



[Fig. 7] Separation distance between inducing object & induced object

Fig. 8에서 전철선로와 이격거리가 300[m]인 통신선로와 이격거리가 약 20[m]인 통신선로의 상호인덕턴스비는 60[Hz]에서 33[%] 이며 800[Hz]에서 14[%] 정도의 값을 갖는다.



[Fig. 8] The ratio of mutual inductance between the inducing object & induced object

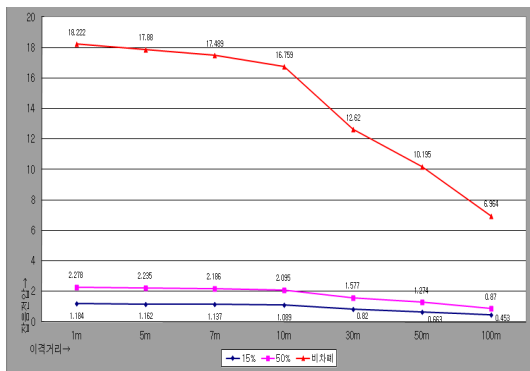
### 3.4 차폐계수

차폐계수는 각종 차폐요인으로 인해 통신케이블의 유도전압이 경감되는 비율을 나타내는 계수로서, 차폐계수의 값은 0(완전 차폐)에서 1(비차폐) 사이에서 변화한다. 전기철도에서는, 전차선의 차폐계수( $K_1$ ), 통신케이블의 차폐계수( $K_3$ ), 터널 차폐계수( $K_4$ ), 고가 차폐계수( $K_6$ ), 케이블 조수에 의한 차폐계수( $K_7$ ), 타래조 차폐계수( $K_8$ ), 및 도시 차폐계수( $K_x$ ) 등을 고려한다. 차폐계수와 관련된 식은 ITU-T Directives Volume II와 국내 철도환경을 고려하여 방송통신위원회에서 고시한 차폐계수, 통신케이블의 평형도( $\lambda$ ), 유도잡음경감계수( $\alpha$ )의 값을 고려하여 유도잡음전압을 산출하였다.

### 4. 시뮬레이션

AT급전방식 전기철도에서, 전력유도에 영향을 미치는 등가방해전류, Amp·Km와 상호인덕턴스, 차폐계수 등에 대한 검토 결과를 토대로, 통신선에의 유도잡음전압을 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 토공구간에서 타궤조가 있는 지역의 유도잡음전압을 산정 후, 단선궤조일 경우와 복선궤조일 경우의 유도잡음전압 변화를 산정하였다. 또한, 철도와 인접하여(0~100[m]) 설치되어 있는 통신케이블의 차폐율(비차폐, 50%차폐, 15%차폐)에 따른 유도잡음전압의 변화량을 고찰하였다.

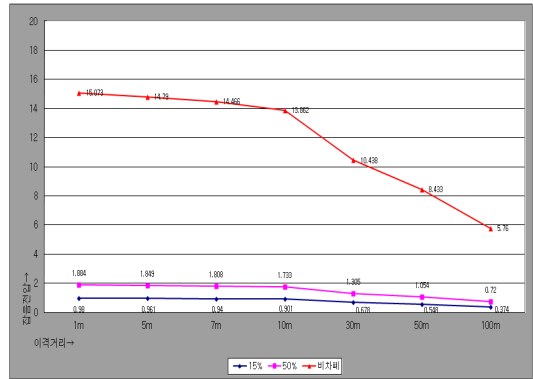
여기서, 전동차 부하전류는 290[A], 등가방해 전류는 2.72[A]로서, 필요한 차량 데이터는 철도차량제작사의 차량제원을 적용하였다. Amp·Km는 철도의 전차선, 레일, 급전선이 직렬로 연장된 3선조에 수 킬로미터 간격으로 단권변압기를 직렬로 연결한 사다리형 회로망으로부터 유도전류를 산출하여 구하였다. 상호인덕턴스는 대지저항을 측정 후 Log-Log 그래프로 분석하여 100[Ω·m]의 대지고유저항을 산정 후 식(21)을 이용하여 산출하였다. 유도잡음을 경감시키는 각종 차폐계수 (K3, K3n, K4, K7, K8) 와 평가잡음계수, 전기통신회선의 평형도, 유도잡음경감계수 등은 방송통신위원회의 고시값을 적용하였다. 차폐케이블(JF-F/S)의 차폐계수는, 60Hz인 경우 접지저항이 2[Ω/Km]를 기준으로 50% 차폐케이블은 0.5, 15% 차폐케이블은 0.15를 적용하였고, 800Hz인 경우 50% 차폐케이블은 0.075, 15% 차폐케이블은 0.039를 적용하였다.



[Fig. 9] Simulation result for induced noise voltage by single-track railway

시뮬레이션 결과, 단선철도인 경우 유도잡음전압이 Fig. 9와 같이 나타났으며, 복선철도인 경우에는, Fig. 10과 같이 나타났다. 전차선으로부터 100m 이내에 포설되

어 있는 통신케이블(비차폐, 15% 차폐, 50% 차폐)에 유도되는 유도잡음전압은 복선철도의 유도잡음전압이 단선철도에 비해 18[%] 낮게 나타났다. 또한 복선철도를 기준으로, 비차폐 통신케이블에 비해서, 50% 통신차폐케이블에서는 유도잡음전압이 1/8로 감소하였으며, 15% 차폐 통신케이블은 1/15로 감소하여 나타났다. Table 1은 이상과 같은 시뮬레이션 결과를 토대로 작성한 유도잡음 예측계산서를 보인다.



[Fig. 10] Simulation result for induced noise voltage by double-track railway

### 5. 결론

전기철도에서 레일 전류의 일부가 대지로 누설되어 흐르는 누설 전류는 레일 주변에 포설된 통신케이블에 유도잡음전압을 유발시키며, 파라미터 분석 및 시뮬레이션을 통하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

AT급전방식의 전기철도에서, 타궤조 효과에 의하여 복선철도의 유도잡음전압이 단선철도에 비해 18[%] 낮게 나타났다. 또한 복선철도를 기준으로 차폐케이블의 차폐효과를 분석한 결과, 50% 통신차폐케이블에서는 유도잡음전압이 1/8로 감소하였으며, 15% 차폐 통신케이블에서는 1/15로 감소하여 나타났다.

이상의 결과는 Amp·Km가 최대로 나타나는 열차 위치 조건에서 구한 것으로서, 변전소로부터 거리가 먼 구간에서는 Amp·Km가 작고 통신선 유도잡음전압은 차폐율 및 궤조 형태와 무관하게 나타났다. AT급전방식 전기철도 주변에 포설된 통신케이블의 유도잡음전압은 Amp·Km의 변화량에 비례하며, 복선철도일 경우 타궤조 차폐계수(K<sub>8</sub>) 효과에 의해 유도잡음전압이 적게 발생하여 15% 차폐 통신케이블을 포설할 경우 유도잡음전압을 최소화

할 수 있음을 확인할 수 있었다.

향후에는 교류전철시설에 의한 유도전압 예측계산식에서 전기철도를 복선화할 경우의 타궤조 효과에 의한 유도저감계수를 산정하기 위한 연구가 필요하다. 또한, 차폐케이블의 적용 효과에 있어서, 철도현장에서 실측 등을 통하여 시뮬레이션 결과를 검증하고 차폐효과를 분석할 필요가 있다.

[Table 1] Estimation report for induced noise voltage

유도전압 예측 계산서(비차폐)																			
통신선도관리번호: 0		관련 이격도 번호: 0										최선 평행도(A): 52 [dB]							
급전 구간 번호: 1		통신 선로명: 0										잡음 경감율: 0.4							
시설 관리 기관: 0																			
대지 고유 번호	A	방행 거리 f (Km)	수평 이격거리 (m)	상호 인덕턴스 (μH/Km)	M-ε (μH)	K							M-ε (μH)	Mn-ε (μH)	유도잡음전압	비고			
0	1	b1	b2	M	Mn	M-ε	Mn-ε	K3	K3n	K4	K6	K7	K8	M-ε (μH) <td>Mn-ε (μH) <td>ANR (mV/μm) <td>VNR (mV) </td></td></td>	Mn-ε (μH) <td>ANR (mV/μm) <td>VNR (mV) </td></td>	ANR (mV/μm) <td>VNR (mV) </td>	VNR (mV)		
ZV																			
182	2	1	0.1	10	898.06	894.709	89.806	89.471	1	0.6	1	1	1	0.87	89.288	28.816	8.0	18.241	0.482
182	4	30	0.1	10	898.06	894.709	89.806	89.471	1	0.6	1	1	1	0.87	89.288	28.816	17.448	0.447	

유도전압 예측 계산서(50%차폐)																			
통신선도관리번호: 0		관련 이격도 번호: 0										최선 평행도(A): 52 [dB]							
급전 구간 번호: 1		통신 선로명: 0										잡음 경감율: 0.4							
시설 관리 기관: 0																			
대지 고유 번호	A	방행 거리 f (Km)	수평 이격거리 (m)	상호 인덕턴스 (μH/Km)	M-ε (μH)	K							M-ε (μH)	Mn-ε (μH)	유도잡음전압	비고			
0	1	b1	b2	M	Mn	M-ε	Mn-ε	K3	K3n	K4	K6	K7	K8	M-ε (μH) <td>Mn-ε (μH) <td>ANR (mV/μm) <td>VNR (mV) </td></td></td>	Mn-ε (μH) <td>ANR (mV/μm) <td>VNR (mV) </td></td>	ANR (mV/μm) <td>VNR (mV) </td>	VNR (mV)		
ZV																			
182	2	1	0.1	10	898.06	894.709	89.806	89.471	0.6	0.716	1	1	1	0.87	29.882	3.188	8.0	18.241	0.558
182	4	30	0.1	10	898.06	894.709	89.806	89.471	0.6	0.716	1	1	1	0.87	29.882	3.188	17.448	0.558	

유도전압 예측 계산서(15%차폐)																			
통신선도관리번호: 0		관련 이격도 번호: 0										최선 평행도(A): 52 [dB]							
급전 구간 번호: 1		통신 선로명: 0										잡음 경감율: 0.4							
시설 관리 기관: 0																			
대지 고유 번호	A	방행 거리 f (Km)	수평 이격거리 (m)	상호 인덕턴스 (μH/Km)	M-ε (μH)	K							M-ε (μH)	Mn-ε (μH)	유도잡음전압	비고			
0	1	b1	b2	M	Mn	M-ε	Mn-ε	K3	K3n	K4	K6	K7	K8	M-ε (μH) <td>Mn-ε (μH) <td>ANR (mV/μm) <td>VNR (mV) </td></td></td>	Mn-ε (μH) <td>ANR (mV/μm) <td>VNR (mV) </td></td>	ANR (mV/μm) <td>VNR (mV) </td>	VNR (mV)		
ZV																			
182	2	2	0.1	10	898.06	894.709	89.806	89.471	0.16	0.039	1	1	1	0.87	8.908	1.888	8.0	18.241	0.33
182	4	30	0.1	10	898.06	894.709	89.806	89.471	0.16	0.039	1	1	1	0.87	8.908	1.888	17.448	0.328	

References

[1] R. J. Hill, "Electric Railway Traction : Part 7 Electromagnetic Interference in Traction Systems", *Power Engineering Journal*, pp.259-266, Dec. 1997. DOI: <http://dx.doi.org/10.1049/pe:19970610>

[2] G. Lucca, M. Moro, C. Ferrero, M. Giunta, "Evaluation of Electromagnetic Interference on Telecommunication Cables from an AC Railway Line: Measurements and Calculations, *ETEP*, vol. 13, no. 5, pp.285-290, Sept/Oct., 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/etep.4450130503>

[3] National Radio Research Agency, Notice no. 2012-10, May, 2012.

[4] ITU-T, "Directives Concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified Railway lines", *Vol. III*

: *Capacitive, Inductive and Conductive Coupling: Physical Theory and Calculation Methods*, pp. 206-243, 1989.

[5] T. H. Lee, C. S. Park, Y. C. Im, S. H. Choi, "Substation Power quality Test of Hanvit 350 Running", *Autumn Annual Conference of Korea Society for Railway*, pp.1473-1475, Nov., 2007.

[6] H. S. Oh, S. Y. Kang, H. C. Kim, K. Choi, "A Study on the Induced Voltages on Subscriber Telecommunication Lines from High-Speed Electrified Railway Line", *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, vol.45, no.10, pp. 849-857, October, 2008.

[7] J. W. Ahn, Y. B. Chu, Y. M. Hwang, "Calculation of the Inductive Voltage in AT feeding Railway System", *Summer Annual Conference of the Korean Institute of Electrical Engineers*, pp.981-983, July, 1993.

[8] National Radio Research Agency, Notice no. 2003-5, January, 2003.

[9] S. M. Lee, Y. H. Lee, "The Study on the Amp · km Calculation Method in the Estimation of Induced Voltage by Super-speed Express Railway on Telecommunication Line", *Electronics and Telecommunications Trends*, pp. 75-82, vol. 18, no. 3, June, 2003.

[10] S. M. Lee, Y. H. Lee, Y. H. Kim, "Study on the Calculation Method for the Predetermination of Induced Voltage on Telecommunication Line", *Electronics and Telecommunications Trends*, vol. 17, no. 4, pp. 135-134, Oct., 2002.

설 일 환(il-Hwan Seoul)

[정회원]



- 2001년 8월 : 서울시립대학교 산업대학원 전기전자공학과 (공학 석사)
- 2011년 8월 : 서울과학기술대 철도전문대학원 철도전기신호공학과 박사과정 수료
- 1995년 5월 ~ 현재 : 문엔지니아어링(주) 부사장

<관심분야>  
철도정보통신, 전력유도

최 규 형(Kyu-Hyoung Choi)

[정회원]



- 1981년 2월 : 서울대학교 전기공학과 (공학사)
- 1992년 3월 : 호카이도대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)
- 1996년 8월 ~ 2005년 2월 : 한국철도기술연구원 수석연구원
- 2005년 3월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 철도전기신호공학과 교수

<관심분야>

철도정보통신, 철도전기