

전기철도에서의 통신선 유도전압에 대한 금속관 차폐효과 측정

설일환¹, 최규형^{1*}, 이상무²

¹서울과학기술대학교 철도전기신호공학과, ²한국전자통신연구원

Measurement of Screening Effect by Metal Pipe on Induced Voltage to Communication Cable from Electric Railway

Il-Hwan Seol¹, Kyu-Hyoung Choi^{1*} and Sang-Mu Lee²

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

²Electronics and Telecommunications Research Institute

요약 전기철도 선로변에 포설되어 있는 통신선에는 유도전압이 발생하여, 통신품질 저하와 기기 오작동 및 안전문제를 유발할 수 있다. 이와 같은 유도전압은 전차선과 통신선의 자계결합에 의해 유발되며, 구조물이나 레일 등의 금속물이 근처에 있을 경우 차폐영향을 받는다. 본 논문에서는 통신선 주변에 금속관이 매설되어 있을 경우에 발생하는 차폐효과를 실험을 통해 정량적으로 분석하였다. 고속철도 현장에서의 실험 결과, 금속관이 통신선으로부터 1~2m 거리에 병행매설되어 있을 경우, 금속관의 차폐효과는 20% 정도인 것으로 측정되었다. 또한, 이격거리가 4m 이상인 경우에는 차폐효과가 1% 이내로 미미하다는 것을 확인하였다. 이상의 결과는, 수도관이나 가스관, 구조물의 철근과 같은 금속 설치물의 차폐효과를 분석하는데 활용할 수 있다.

Abstract Electric railway induces interference voltage on wayside communication cable which brings about communication errors, malfunction of devices, and safety problem. The magnitude of the induced voltage depends on the electromagnetic field coupling which is affected by metallic installations such as rail and track structures. This paper provides an experimental analysis of the screening effect of metallic pipe on the inductive voltage caused on communication cable. The measurements at a high-speed rail site show that the screening effect of metallic pipe is about 20 % when the separation distance between the pipe and communication cable is 1~2 m. The screening effects is less than 1 % and can be neglected when the separation distance is more than 4 m. These results are useful to evaluate the screening effects of the metallic installations such as water pipe, gas pipe, and reinforcing bar.

Key Words : Communication cable, Electric railway, Inductive interference, Screening effect,

1. 서론

고속철도와 같은 교류급전방식 전기철도의 전차선 및 궤도에 흐르는 전류는, 철도와 병행하여 설치된 통신선에 전자기결합을 통하여 유도전압을 발생시킨다. 이와 같은 유도전압은 통신품질 저하, 장치 고장/오작동 및 안전문제까지 유발할 수 있으므로 이에 대한 적절한 대책이 필요하다[1-3].

이에 따라, 국내의 표준 및 기술기준에서 전기철도로 부터 전기통신시설에 미치는 영향 및 대책에 관한 권고 가 제시되어 있다. 급전계통 사고시 발생시 나타날 수 있는 위험전압, 전력시설의 정상운용시에 나타날 수 있는 상시유도위험 중전압, 통신기기 등의 오작동을 유발시킬 수 있는 기기오동작 유도 중전압과 선간잡음전압 등으로 구분하여 유지, 관리하여야 할 기준치가 설정되어 있

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 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 February 14, 2014

Revised (1st March 17, 2014, 2nd April 3, 2014)

Accepted April 10, 2014

며, 기준치를 초과할 경우 별도의 감소대책을 강구하도록 하고 있다[4,5].

이상과 같은 전기철도 전차선으로 인한 통신선 유도장에 대책을 수립하기 위하여 유도전압을 정확하게 예측할 필요가 있다. 일반적으로 유도원 전류의 크기로부터 유도원과 피유도체인 통신선간의 상호인덕턴스 값을 이용하여 기본적인 유도전압을 산출하고, 여기에 터널 및 타 궤조, 통신케이블 차폐정도, 통신케이블 조수 등으로 인한 차폐효과를 감안하여 최종적인 유도전압을 계산하고 있다[6,7].

한편, 전기철도에서는 선로변을 따라 통신선이 매설되고 있는데, 전기철도와 통신선 사이에 가스관이나 수도관, 철근 구조물과 같은 금속관(금속도체)이 매설되어 있는 경우가 있다. 이와 같은 금속관은 전차선과 통신선 사이에서 차폐선 역할을 수행하여 통신선 유도전압을 감소시킨다[8]. 그러나, 이와 같은 금속관으로 인한 차폐효과는 금속관의 형상 및 기하학적 배치에 영향을 받기 때문에 예측계산이 곤란하다는 문제가 있다. 이에 따라, 전기철도에서의 통신선 유도전압 산출과정에서는 통신선 주변 금속관의 차폐효과를 실제적으로 반영하지 못하고 있다.

본 논문은 전기철도에서 통신선 인근에 설치되어 있는 금속관의 차폐효과를 실험을 통하여 분석하였다. 고속전철이 운행하는 환경에서 통신선에 나타나는 유도전압을 금속관이 설치된 구간과 금속관이 설치되지 않은 구간으로 나누어 측정하여 비교함으로써 금속관의 차폐효과를 분석하였다. 또한, 금속관과 통신선의 이격거리를 변화시켜가면서 금속관의 차폐효과를 측정함으로써 금속관의 차폐효과 예측에 활용할 수 있도록 하였다.

2. 전기철도에서의 통신선 유도전압

교류전류가 흐르는 주변의 도체에는 유도전류가 발생한다. 이 유도전류의 발생원인은 자계의 커플링, 도체간의 캐퍼시턴스 효과, 저항적 결합에 의해 발생된다. 전기철도의 경우에는 전차선과 평행하게 설치된 통신선 사이의 자계 결합에 의한 영향이 크게 나타나며, 도체간의 캐퍼시턴스 효과는 철탑 등 비교적 큰 도체가 있을 경우가 아니면 무시할 수 있는 수준이라 볼 수 있다.

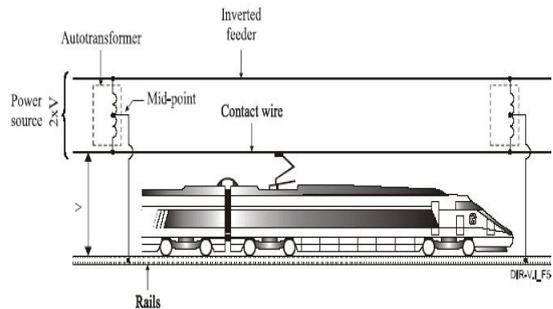
2.1 전기철도에서의 유도전압 기준치

전기철도에서는 전차선을 통하여 주행하는 차량에 전

력을 공급하고 있으며, 레일을 귀선회로로 이용하고 있다. 이때 레일에 흐르는 전류의 일부는 대지로 누설되어 흐르며, 이 누설전류가 기유도원전류가 되어 전기철도 선로를 따라 평행하게 설치된 통신선에 유도전압을 발생시킨다[9].

이를 경감하기 위해 고속철도에서는 Fig 1과 같은 구성의 AT(Auto Transformer)급전방식을 사용하고 있다. AT급전방식의 설치목적은 전차선로의 전력공급효율을 높이고 가능한 귀로전류를 부급전선으로 되돌려서 대지에 접하고 있는 레일로부터의 누설전류를 최소화 하는데 있다[10]. 그러나 이방식도 근본적으로 레일에 의한 누설전류 및 급전계통의 불평형을 유발하여 전차선로에 인접한 통신선에 악영향을 주는 유도전압을 발생시킨다. 또한, 최근 도입되고 있는 전기철도 차량의 구동시스템에는 컨버터와 인버터가 사용되고 위상제어 및 펄스폭 변조방식 등에 의하여 제어되기 때문에 통신품질에 영향을 주는 고조파 잡음을 발생시킨다[11].

이상과 같은 전기철도로 인한 통신선에의 유도전압의 허용치는 상시 유도 종전압이 60V, 급전계통고장 등의 이상시 유도전압이 650V, 유도잡음전압이 0.5mV로 규정되어 있다[12]. 이 값을 초과할 것으로 예상되거나 실제 초과하는 경우에는 전력유도대책을 시행하여 기준치를 충족시켜야 한다.



[Fig. 1] AT traction power system for high-speed rail

2.2 차폐물에 의한 차폐효과

유도전압의 계산은 식(1)에 보이는 것처럼, 유도원과 피유도체간의 자계 결합을 나타내는 상호인덕턴스 및 차폐계수로부터 구할 수 있다[13].

$$V = M \frac{dI}{dt} = j\omega M I I K [V] \quad (1)$$

여기서,

j : 허수 기호 ($j = \sqrt{-1}$)

ω : 각속도 ($\omega = 2\pi f$), f = 주파수

M : 유도원과 피유도체간의 단위길이당 상호인덕턴스

l : 유도원과 피유도체와의 병행거리

I : 유도원 전류

K : 차폐계수

차폐계수 K 는 각종 차폐요인으로 인해 유도전압이 경감되는 비율을 나타내는 계수로서, 완전차폐의 경우에는 0, 비차폐에서는 1의 값을 갖는다. 전기철도에서의 차폐요인으로서의 차폐계수를 적용, 터널 구조물, 고가 구조물, 동일 관로내의 케이블 조수 및 타 궤조 등을 고려한다.

이상으로부터, 전기철도로 인한 통신선에의 유도전압은 각종 차폐계수를 반영하여, 다음과 같이 유도위험전압, 상시유도중전압, 유도잡음전압으로 구분하여 계산한다.

$$V_a = \sum \left\{ j\omega \frac{Amp \cdot Km}{D} I_a \times Ml K_3 K_4 K_6 K_7 \right\} \times 10^{-6} \quad (2)$$

$$V_L = \sum \left\{ j\omega \frac{Amp \cdot Km}{D} I_L \times Ml K_3 K_4 K_7 K_8 \right\} \times 10^{-6} \quad (3)$$

$$V_n = \sum \left\{ j\omega_n \frac{Amp \cdot Km}{D} J_p \times M_n l K_{3n} K_4 K_6 K_7 K_8 \lambda \right\} \times 10^{-3} \quad (4)$$

여기서,

$Amp \cdot Km$: 부하전류에 의한 기유도 전류

K_3 : 전기통신선의 차폐계수

K_4 : 터널의 차폐계수

K_6 : 고가 차폐계수

K_7 : 통신케이블 조수에 의한 유도저감계수

K_8 : 타궤조에 의한 차폐계수

D : 유도전압이 가장 많이 발생하는 구간의 거리[Km]

I_a : 지락사고시의 고장 전류

I_L : 부하 전류

J_p : 최대부하전류에 대한 등가방해 전류

식(2)~(4)로부터 차폐계수의 크기에 따라 유도전압 값이 크게 변동하게 되며, 유도전압의 정확한 계산을 위

해서는 차폐계수를 정확하게 반영하여야 한다는 것을 알 수 있다.

전기철도를 따라 포설되어 있는 통신선 주변에 수도관이나 가스관 같은 금속관이 매설되어 있는 경우, 이 금속관은 전차선과 통신선 사이에서 차폐 역할을 수행하여 통신선에 유도되는 유도전압을 감소시킨다. 따라서, 통신선 주변에 금속관들이 있을 경우에는, 이 금속관들의 차폐계수를 구하여 유도전압의 계산에 반영할 필요가 있다.

3. 금속관에 의한 차폐효과

전기철도와 통신선 사이에 금속관이 설치되어 차폐 역할을 수행할 경우, Fig. 2와 같이 유도원이 되는 전차선과 피유도원인 통신선 사이에 단일 차폐선이 설치된 것으로 모델링할 수 있다. 여기서 전차선과 차폐선, 통신선의 전압, 전류 및 임피던스는 다음과 같다.

I_e : 전차선에 흐르는 전류(기전류)

I_t : I_e 에 의해 통신선에 유기된 전류

I_1 : I_e 에 의해 차폐선에 유기된 전류

V_t : I_e 에 의해 통신선에 유기된 전압 (차폐선이 없을 때)

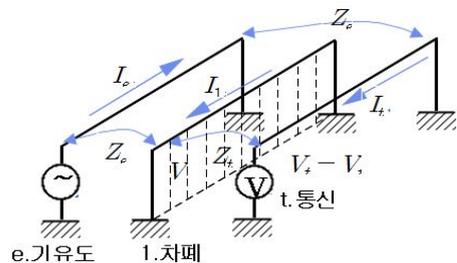
V_t' : I_1 에 의해 통신선에 유기된 전압

Z_{et} : 전차선과 통신선 간의 대지귀로 상호임피던스

Z_{e1} : 전차선과 차폐선 간의 대지귀로 상호임피던스

Z_{11} : 심선과 차폐선 간의 대지귀로 상호임피던스

Z_{1t} : 차폐선의 대지귀로 자기임피던스



[Fig. 2] Configuration of single screening conductor

Fig. 2에서 통신선에 유기되는 유도전압 V 는 차폐선이 없을 때의 유도전압 V_t 에서 차폐선 전류 I_1 에 의해 통신선에 유기된 전압 V_t' 를 뺀 것으로서 다음과 같이 계산

된다.

우선, 차폐선이 없을 때의 전차선으로부터 통신선에의 유도전압은 다음과 같다.

$$V_t = Z_{et} \cdot I_e \quad (5)$$

한편, 차폐선이 있을 경우에는 다음과 같이 차폐선에 유도전압이 발생하므로

$$V_1 = Z_{e1} \cdot I_e = Z_{11} \cdot I_1 \quad (6)$$

차폐선 전류는

$$I_1 = \frac{Z_{1t} \cdot I_e}{Z_{11}} \quad (7)$$

이 되고, 차폐선 전류로 인한 통신선 유도전압이

$$V'_t = Z_{t1} \cdot I_1 = Z_{t1} \frac{Z_{1t} \cdot I_e}{Z_{11}} \quad (8)$$

이 되므로, 통신선에 나타나는 유도전압은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V &= V_t - V'_t \\ &= Z_{et} \cdot I_e - Z_{t1} \frac{Z_{1t}}{Z_{11}} I_e \\ &= Z_{et} \cdot I_e \left(1 - \frac{Z_{1t} \cdot Z_{t1}}{Z_{et} \cdot Z_{11}}\right) \end{aligned} \quad (9)$$

이상으로부터 차폐계수 K 는 다음 식과 같이 구해진다.

$$K = \frac{V}{V_t} = 1 - \frac{Z_{1t} \cdot Z_{t1}}{Z_{et} \cdot Z_{11}} \quad (10)$$

식(10)으로부터, 차폐선의 위치에 따른 차폐계수 K 의 변화특성은 다음과 같다.

- (1) 차폐선이 유도원인 전차선이나 피유도원인 통신선에 가까이 갈수록 차폐효과가 크다.
- (2) 전차선과 통신선 사이의 거리가 가까울수록 차폐효과가 크다.
- (3) 차폐선이 전차선이나 통신선 바깥에 위치하여도

차폐효과가 나타난다. 단, 일정거리 이상이면 효과가 발생하지 않는다.

금속관이 통신선과 근접하여 매설되어 있고, 기유도원인 전차선과 충분한 이격거리가 있는 경우에는 다음과 같이 근사적으로 계산할 수 있다.

$$Z_{e1} \approx Z_{et} \quad (11)$$

이에 따라, 식(10)에 보이는 금속관의 차폐계수 K 는 다음 식과 같이 근사적으로 계산할 수 있다.

$$K = 1 - \frac{Z_{11}}{Z_{11}} = \frac{Z_{11} - Z_{11}}{Z_{11}} \quad (12)$$

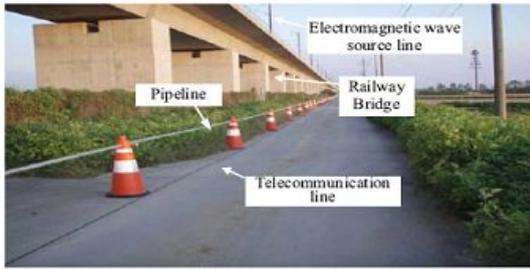
식(12)로부터, 통신선과 근접하여 금속관이 설치되어 있는 경우에 금속관의 차폐효과는 금속관의 자기 임피던스와 금속관과 통신선 간의 상호인덕턴스에 영향을 받으며, 기유도원과 금속관간의 상호임피던스에는 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다. 이에 따라 금속관의 차폐계수를 산정하는데 있어서는, 금속관과 통신선 사이의 상호임피던스에 크게 영향을 미치는 이격거리가 주요 결정 변수가 된다.

4. 측정 및 분석

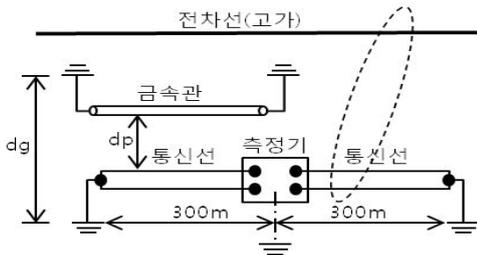
고속철도가 통과하는 고가교 하단에 금속관과 통신선을 설치하고, 금속관과 통신선의 거리를 변경시켜가면서 통신선에 유도되는 유도전압 크기를 측정하여 금속관의 차폐효과를 실험적으로 분석하였다.

4.1 측정 조건

고속열차가 통과하는 구간의 전차선로 하단에 금속관과 통신선을 Fig. 3과 같이 설치하여 측정 하였다. 회로 구성은 Fig. 4와 같이 통신선을 콘크리트 포장도로의 표면에 설치하고 금속관은 플라스틱 콘을 이용하여 공중에 뜬 상태로 설치하였다. 통신선은 직경 0.5mm의 JF-FS 25p 케이블로서 양쪽 측면을 집지하고 그중 하나의 페어는 측정 장치에 연결하였다. 금속관은 직경 5cm, 두께 2mm 인 탄소 철 금속인 6m 금속관을 50개 연결하였다. 금속관의 DC 저항은 전체길이에서 1Ω보다 낮게 측정되었다.



[Fig. 3] Experiment components of traction system



[Fig. 4] Configuration of measurement circuit

통신선을 두 부분으로 구분하여 한 측은 금속관을 통신선과 병행하여 300m 설치하고 다른 측은 금속관 없이 통신선만 300m 설치하였다. 중앙에서 양측 통신회선의 유도전압을 동시에 측정하여 양측 통신선의 유도전압을 비교하고, 금속관의 차폐효과를 분석하였다.

이상의 측정결과로부터, 금속관의 차폐계수 K 및 차폐효과 $E_{\%}$ 는 다음 식과 같이 산정할 수 있다.

$$K = \frac{\overline{V_p}}{\overline{V_o}} \quad (13)$$

$$E_{\%} = (1 - K) \times 100(\%) \quad (14)$$

여기서,

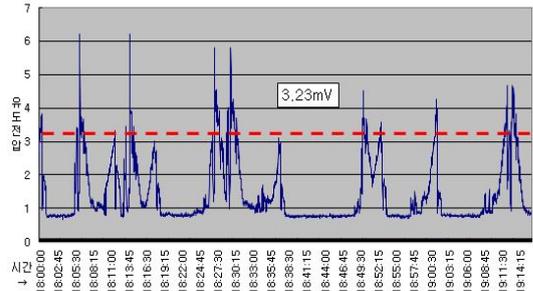
$\overline{V_o}$: 통신선 단독구간의 유도전압 평균치[mV]

$\overline{V_p}$: 금속관이 병행설치된 통신선 구간의 유도전압 평균치[mV]

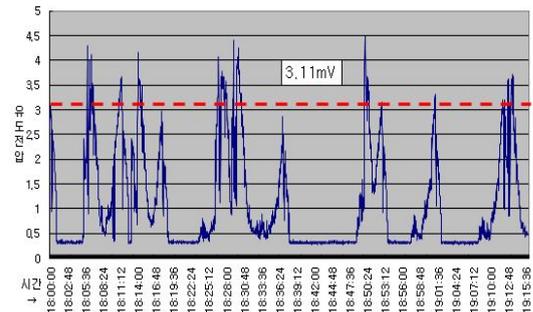
4.2 비접지상태에서의 차폐효과

금속관을 접지하지 않은 상태에서 통신선 유도전압을 측정하였다. 열차의 운전상태에 따라 부하전류가 변동하며, 그에 따라 통신선의 유도전압도 변동하고 있다. Fig.

5는 통신선 단독포설구간의 유도전압으로서, 2.5mV 이상 성분의 평균전압은 3.23mV로 나타났다. Fig. 6은 금속관을 병행 포설한 통신선의 유도전압으로서 2.5mV 이상 성분의 평균전압은 3.11mV로 나타났다. 이에 따라, 비접지된 금속관의 차폐효과는 3.72%로 나타났다.



[Fig. 5] Induced voltage on communication cable without screening pipe(Vo)



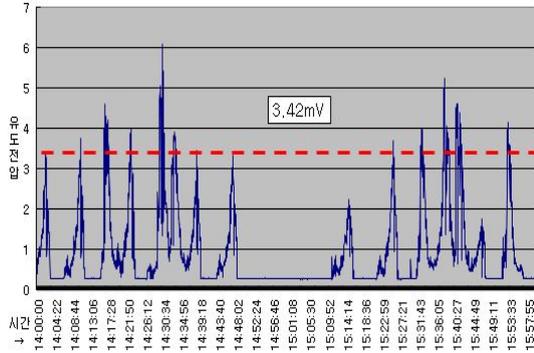
[Fig. 6] Induced voltage on communication cable with ungrounded screening pipe(Vp)

4.3 접지 이격거리에 따른 차폐효과

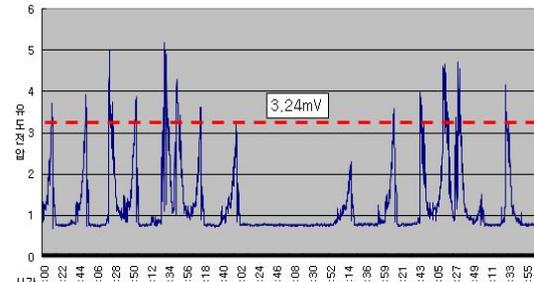
금속관이 병행설치된 통신선의 접지를 금속관 접지와 동일지점에 설치하고 유도전압을 측정하였다. Fig. 7은 금속관이 설치되지 않은 구간의 유도전압 측정치로서, 2.5mV 이상 성분의 평균유도전압은 3.42mV로 나타났다. Fig. 8은 금속관이 설치된 구간의 유도전압 측정치로서, 2.5mV 이상 성분의 평균유도전압은 3.24mV로 나타났다. 이로부터, 통신선과 동일지점에 접지된 금속관의 차폐효과는 5.3%로 분석되었다.

금속관 접지와 통신선 접지 사이의 이격거리(dg)를 0~10m까지 변화시켜가면서 측정한 결과, 2.5mV 이상 성분의 평균유도전압 및 차폐효과는 Table 1과 같이 나타났다. 금속관과 통신선의 접지 이격거리가 증가함에 따라 금속

관의 차폐효과가 감소하여, 접지간 이격거리가 10m를 넘는 경우에는 차폐효과가 없어지는 것으로 나타났다.



[Fig. 7] Induced voltage on communication cable without screening pipe(Vo)



[Fig. 8] Induced voltage on communication cable with separately grounded screening pipe(Vp)

[Table 1] Screening effect in terms of separation distance between groundings(dg)

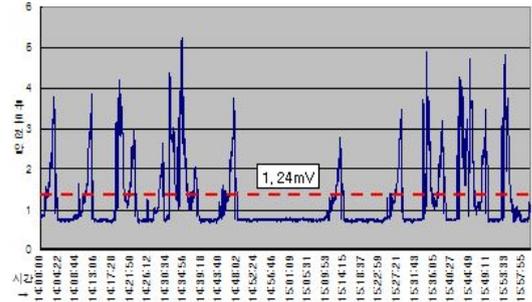
dg	Vo	Vp	K	E%
0	3.42	3.24	0.947	5.3
5	3.36	3.24	0.964	3.6
10	3.32	3.30	0.994	0.6

4.4 금속관과 통신선 이격거리에 따른 차폐효과

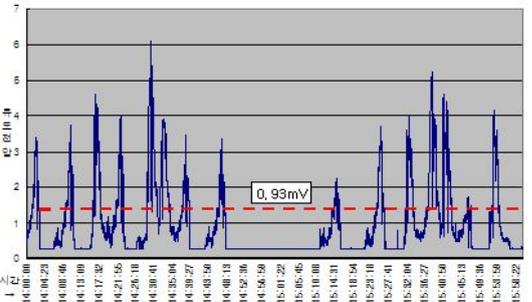
금속관과 통신선의 접지체를 동일위치에 매설하고 통신선을 금속관과 이격시키면서 측정할 유도전압을 측정하였다. Fig. 9는 금속관이 설치되지 않은 구간의 유도전압측정치로서, 2.5mV 이상 성분의 평균전압은 1.24mV로 나타났다. Fig. 10은 금속관이 설치된 구간의 유도전압측정치로서, 2.5mV 이상 성분의 평균전압은 0.93mV로 나타났다. 이로부터 차폐계수는 0.75로서 차폐효과가 높은 것으로 분석되었다.

Table 2는 금속관과 통신선의 접지간 이격거리(dp)에

따른 차폐효과를 정리한 것으로서, Fig. 12는 이를 그래프로 나타낸 것이다. 이로부터 금속관과 통



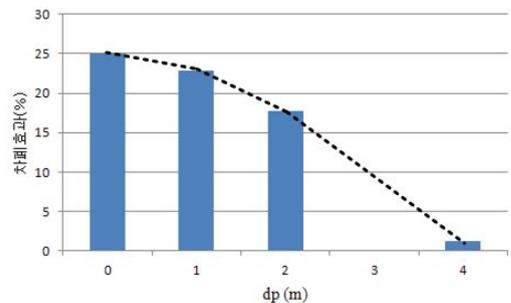
[Fig. 9] Induced voltage on communication cable without screening pipe(Vo)



[Fig. 10] Induced voltage on communication cable with screening pipe grounded together with cable(Vp)

[Table 2] Screening effect in terms of separation distance between cable and screening metal pipe(dp)

dp	Vo	Vp	K	E%
0	1.24	0.93	0.750	25.0%
1	1.23	0.95	0.772	22.8%
2	1.35	1.11	0.822	17.8%
4	1.57	1.55	0.987	1.3%



[Fig. 11] Screening effect in terms of separation distance between screening pipe and cable(dp)

신선 이격거리를 증가시킬수록 금속관의 차폐효과가 감소하며, 4 m 이상의 이격거리에서는 차폐효과가 1% 정도로 무시할 수 있는 수준인 것으로 나타났다. 한편, 이격거리가 1~2 m 이내의 범위에서는 차폐효과가 18~23% 정도로 높게 나타나기 때문에, 통신선 유도전압 예측계산에 반영할 필요가 있다.

5. 결론

고속철도 선로변에 포설되어 있는 통신선에는 전차선과의 자계결합에 의한 유도전압이 발생하며, 통신선 주변에 금속관이 매설되어 있을 경우의 금속관에 의한 통신선 유도전압 차폐효과를 실험을 통해 확인하였다.

실험에서 통신선 구간을 2개로 나누어 한쪽 구간에만 금속관을 병행 포설함으로써, 동일한 전차선전류에 대하여 금속관으로 차폐된 통신선의 유도전압과 차폐되지 않은 통신선의 유도전압을 측정하여 비교함으로써 금속관의 차폐효과를 정량적으로 분석하였다.

실험 결과, 금속관이 통신선으로부터 1~2 m 거리에 병행매설되어 있을 경우, 금속관의 차폐효과는 20% 정도인 것으로 측정되어 무시할 수 없는 수준인 것으로 나타났다. 한편, 이격거리가 4m 이상인 경우에는 차폐효과가 미미하다는 것을 확인하였다.

이상의 결과는 전차선로부터 통신선에 유도되는 유도전압 예측계산에서 수도관이나 가스관, 토목·건축구조물의 철근(지하차도, 지하상가, 빌딩 등)과 같은 금속물의 차폐효과를 분석하는데 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] K. J. Satsios, D.P. Labridis, P. S. Dokopoulos, "Inductive Inference caused to Tele-communication Cables by Nearby AC Electric Traction Lines. Measurements and FEM Calculations", *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 14, no. 2, pp.588-594, April, 1999. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/61.754107>
- [2] 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.
- [3] B Mellitt, J. Allan, Z. Y. Sao, et. al., "Computer-based Methods for Induced-Voltage Calculations in AC railways", *IEE Proc.* vol. 137, no. 1, pp. 59-72, January, 1990.
- [4] National Radio Research Agency, Notice no. 2012-10, May, 2012.
- [5] ITU-T, "Directives Concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified Railway lines", Vol. II : calculating induced voltages and currents in practical cases, pp. 208-212, 1989.
- [6] 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.
- [7] 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>
- [8] S. M. Lee, P. D. Cho, "Shielding Effect by a Metallic Pipe against Electromagnetic Interference with ELF from High Speed Railway System", *ICMTCE 2011*, May 22~25, 2011, pp.5-8.
- [9] 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>
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] National Radio Research Agency, Notice no. 2003-5, January, 2003.
- [13] 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.

설 일 환(Il-Hwan Seol)

[정회원]



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

<관심분야>

철도정보통신, 전력유도/접지

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>

철도전력IT, EMI/EMC, 철도정보통신

이 상 무(Sang-Mu Lee)

[정회원]



- 1989년 2월 : 단국대학교 전자공학과 졸업
- 2000년 8월 : 한국정보통신대학원대학교(현 KAIST 부속) 공학석사
- 2013년 2월 : 충남대학교 정보통신공학 박사
- 1991년 1월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원

<관심분야>

ELF/EMC/전자유도대책, 설비보호(유도/접지/서지), 통신 재난/재해