

## 고속철 전자유도현상에서의 터널 및 교량 차폐효과에 대한 고찰

### A survey of electromagnetic shielding effect of tunnel and bridge structure in the high speed electrified railway to telecommunication line

신재범<sup>\*†</sup>, 서정민<sup>\*</sup>, 김선국<sup>\*</sup>, 김상태<sup>\*</sup>, 김학철<sup>\*\*</sup>, 최경<sup>\*\*\*</sup>

Jae Bum Shin<sup>\*†</sup>, Joung Min Seo<sup>\*</sup>, Sun Guk Kim<sup>\*</sup>, Sang Tae Kim<sup>\*</sup>, Hak Cheol Kim<sup>\*\*</sup>, Kyung Choi<sup>\*\*\*</sup>

**Abstract.** For generated electromagnetic induction when train railroading on the electrified railway. We found elements that mainly affect electromagnetic shielding effectiveness through analyzing and calculating electromagnetic shielding phenomenon of tunnels and elevated structures. This leads to improving the accuracy of shielding coefficient. In addition to analysis of other shield wires and length effects, we also improved application propriety of shielding coefficient. In this paper, we recomputed electromagnetic shielding effectiveness based on shielding theory through practical modeling of modern railway facilities and we extracted elements that mainly affect electromagnetic shielding effectiveness through result analysis. It enables us to apply accurate shielding coefficient. So we can make an accurate estimate the degrees of damage on nearby telecommunication line when a hige-speed train is operating.

**Keywords :** Voltage Induction, electromagnetic Induction, electromagnetic shielding effect, electrified railway, high-speed railway

**초 록** 전기철도 운행시 발생하는 전자유도현상에 대하여 터널 및 고가 구조물에 대한 차폐현상을 분석하고 계산함으로써 차폐효과에 중요한 영향을 미치는 요소를 찾아내었으며, 이를 통하여 차폐계수의 정확성을 높였다. 또한 기타 차폐선 및 길이효과에 대한 분석을 더하여 차폐계수 적용의 타당성을 제고하였다. 본 연구에서는 차폐이론에 근거한 차폐효과를 현대 철도시설물의 실제적인 모델링을 통하여 재 계산하고 결과 분석을 통하여 차폐효과에 주된 영향을 미치는 요소를 추출하여 정확한 차폐계수 적용이 가능케 함으로써 고속열차 운행시 인접한 통신선로에 발생하는 피해정도를 정확하게 예측 할 수 있도록 하였다.

**주요어 :** 전력유도, 전자유도, 차폐효과, 전기철도, 고속철도

## 1. 서 론

전기철도에서 발생하는 전자유도현상은 기존 통신선에 잡음전압을 발생한다. 한국철도시설공단에서는 이를 경감시키기 위하여 차폐선 설치 등 여러면에서의 노력을 경주하고 있다. 발생 유도전압의 한계치는 전파연구소 고시를 통하여 기준치를 제시하고 있다. 유도전압을 경감시키는 구조물에 대해서는 그 효과를 차폐계수를 통하여 적용하고 있는데, 그 중 아직 터널 및 고가 구조물(철근 등)에 대한 차폐효과에

대해서는 명백한 계산치를 제공하지 못하고 기존의 다른 나라의 수치를 그대로 도입하여 사용하고 있다. 이 수치는 1900년대 중, 후반의 시설물에 대하여 설정한 것으로 현대 철도 건설의 공법 및 재료의 변화에 의해 수정되어야 할 여지가 있다.

본 연구에서는 차폐이론에 근거한 차폐효과를 현대 철도시설물의 실제적인 모델링을 통하여 재 계산하고 결과 분석을 통하여 차폐효과에 주된 영향을 미치는 요소를 추출하여 좀 더 정확한 차폐계수 적용을 할 수 있도록 하고자 한다.

† 교신저자: 한국철도시설공단 전자통신처(ktxsin@kr.or.kr)

\* 한국철도시설공단 기술본부 전자통신처

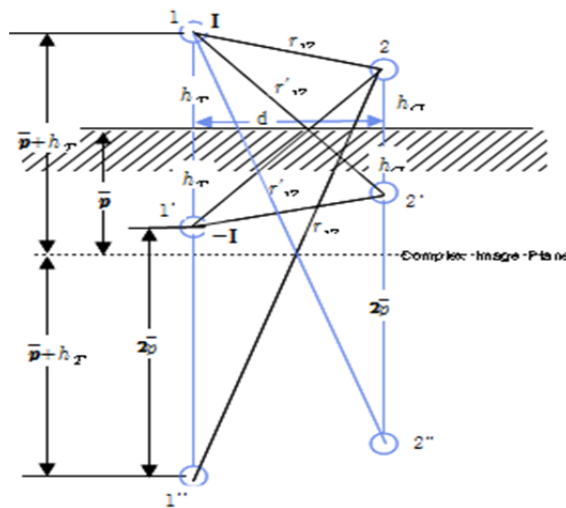
\*\* (주)동남이엔에스

\*\*\* 강원대학교 IT대학 전기전자공학과

## 2. 본 론

### 2.1 인덕티브 전자유도

대지를 일부 귀로로 이용하는 전차선로의 경우 대지의 저항율에 따라 매우 넓은 영역의 귀환회로가 형성된다. 실질적으로 대지저항율이 수백  $[\Omega \cdot m]$ 의 값을 가질 때 표피두께를 근간으로하는 귀환 경로의 기준치는 1,000m 내외의 깊이를 가지며, 이는 인접한 통신선로에 비교적 먼 영역까지 영향을 미칠 수 있다.



• Fig. 1 대지저항률이 무한대가 아닌경우의 귀환 영상전류

그림 1 에서 기유도원을 1, 통신선을 2 라 할 때, 두 회로간의 유도는 주로 인덕티브 연결에 의한 값이 주가 되며 이는 두 회로간의 상호인덕턴스 값에 의해 결정된다. 통신선에 유도되는 전압의 계산은 고시에서 아래식으로 나타나 있는 데 이는 상호인덕턴스에 의한 유도전압식과 같다.

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

여기서  $K$ 는 여러 차폐물의 차폐계수의 곱이다. 두 회로의 상호인덕턴스를 계산 방법은 Carson의 해석식<sup>[1]</sup>을 기본으로 여러 가지 근사해 들이 제시되고 있는데, 기본해는 아래와 같다.

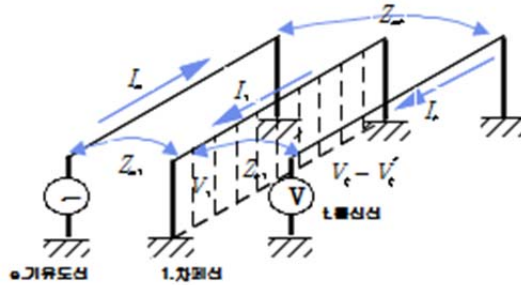
$$M = \frac{\mu_0}{4\pi} \ln \left( \frac{d^2 + (h_T + h_C)^2}{d^2 + (h_T - h_C)^2} \right) - j \frac{\mu_0}{\pi} \int_0^\infty (\sqrt{v^2 + j} - v) \cos(dv) e^{-(h_T + h_C)v} dv \quad (2)$$

$$= \left\{ 2 \times 10^{-4} \cdot \ln \frac{\sqrt{d^2 + (h_T + h_C)^2}}{\sqrt{d^2 + (h_T - h_C)^2}} + \frac{2(\Delta R_{TC} + j\Delta X_{TC})}{j\omega} \right\} \times 10^6 \text{ } [\mu H/Km] \quad (3)$$

## 2.2 차폐이론

기유도원과 통신선간에 연속접지가 된 차폐선로가 있다면 이 차폐선에 유기되는 유도전류에 의해 통신선에 유기되는 유도전압의 양이 감소된다.

단일차폐선의 경우 차폐계수  $K$ 는 차폐선의 위치에 따른 차폐계수의 값을 그림 2에 나타내었다.



· Fig. 2 단일 차폐선 모델 및 설정 파라메트

$$K = \frac{V}{V_2} = 1 - \frac{Z_{1t} \cdot Z_{1e}}{Z_{11} \cdot Z_{et}} \quad (4)$$

### 2.2.1 n개 차폐선의 차폐계수

$n$  개의 차폐선이 서로 다른 위치에 있는 경우에 대하여 차폐계수식을 일반화 하면 다음과 같이 유도된다. 이 식을 이용하여 터널 및 고가구조의 강재를 차폐선으로 하는 터널 및 고가구조의 차폐계수를 계산할 수 있다.

$$K = 1 - \frac{1}{Z_{te}} [Z_{t1}, Z_{t2}, \dots, Z_{tn}] \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1n} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{n1} & Z_{n2} & \dots & Z_{nn} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Z_{1e} \\ Z_{2e} \\ \vdots \\ Z_{ne} \end{bmatrix} \quad (5)$$

### 2.3 터널구간 모델링

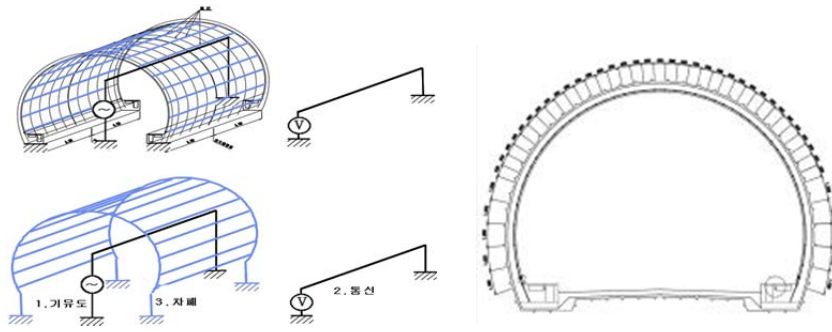


Fig. 4 터널 모델링

터널의 철근 개수를 더 늘리면 차폐계수의 감소를 얻을 수 있다. 그림5 에서 보듯이 통신선간의 거리가 감소하면 절대적인 차폐계수는 증가하나 기본차폐선을 고려한 비율로서의 차폐계수 변화는 별로 없다.

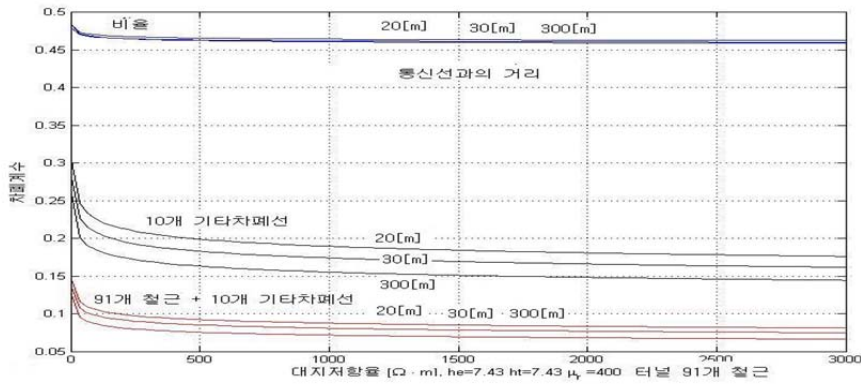
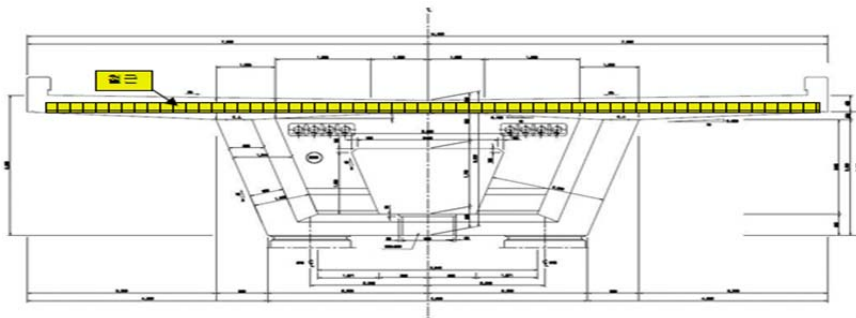
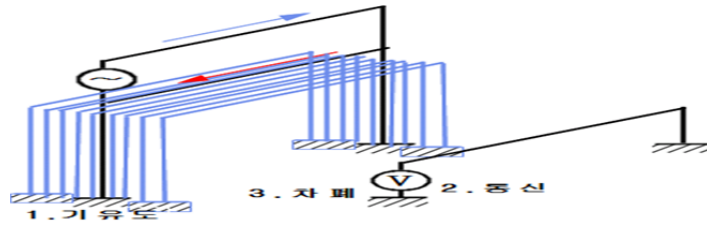


Fig. 5 91개 철근모델과 통신선이 근접했을 때의 차폐계수 변화

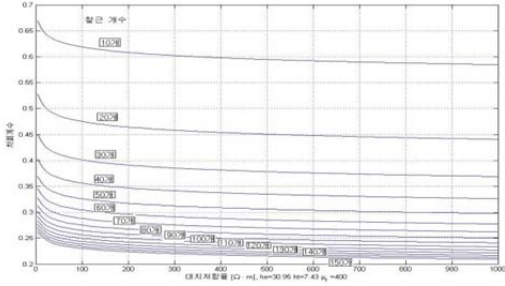
### 2.4 고가구간 모델링

고가구조의 모델링을 고가 상판의 강제(철근)를 차폐선으로 하여 모델링 할 수 있다. 철근 개수를 150개 까지 계산한 결과가 그림에 나타나 있다. 그림에서 보듯이 철근의 저항이나 굵기 변화에는 큰 영향이 없으며, 철근 개수(위치), 투자율에 민감한 영향을 받는다. 특히 고가 구조에서는 고가의 높이가 높아지면 거리에 따른 유도전압 감소효과 이외에 차폐선의 상대적 근접성에 의해 더 큰 차폐효과를 나타낸다





. Fig. 6 고가구간 다도체 차폐선 모델링



. Fig. 7 철근 수량 변화에 따른 차폐효과

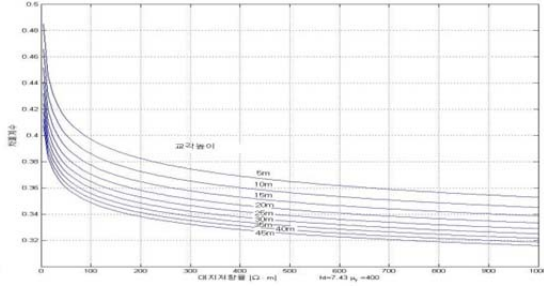


Fig. 8 고가(교각) 높이에 따른 차폐계수 변화

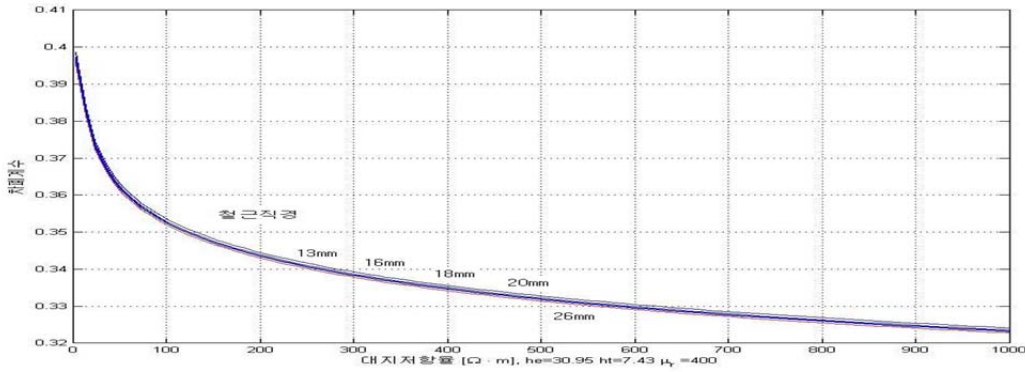


Fig. 9 철근 직경의 굵기 변화에 따른 차폐계수 변화

## 2.5 기타 차폐선과의 상호연산

전차선로에는 차폐선 및 매설접지선이 가설되어 있으며, 레일은 전류의 귀환회로와 동시에 차폐 효과를 나타낸다.

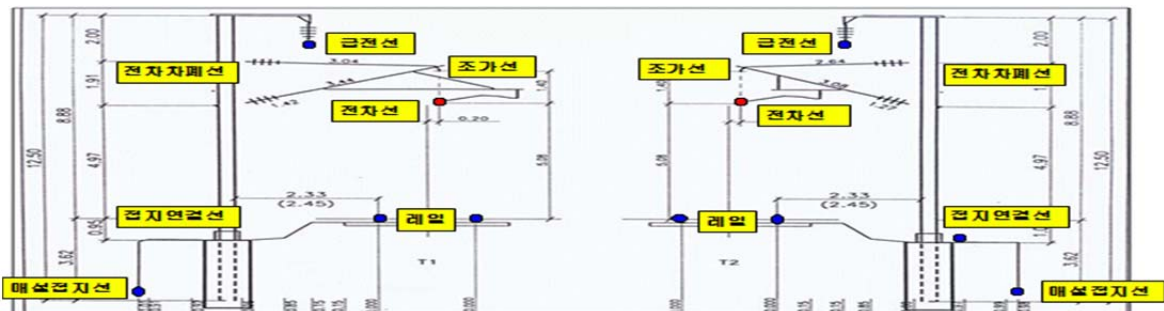


Fig.9 토공구간 차폐선 및 전선배치 장주도

## 2.6 길이효과

터널 및 고가의 길이가 유한하므로 끝단에서는 차폐전류의 감소가 있다. 길이상수의 값은 현행 차폐선의 매질상수를 고려할 때 690m 정도까지 나타나며, 400m 정도에서 급격히 감소하므로 End-Effect 현상이 매우 두드러진다. 따라서 터널, 고가 길이에 의한 차폐계수 적용시 감안하여 적용하도록 한다.

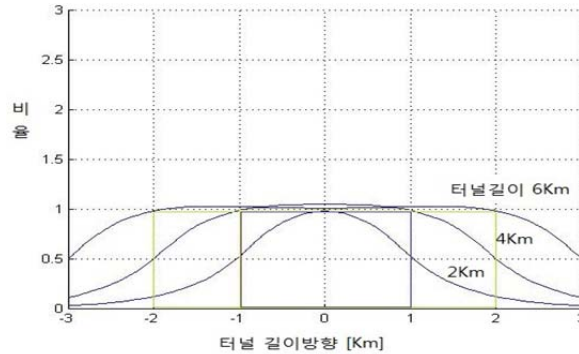


Fig10 터널구간 End-Effect 현상

## 3. 결론

전기철도 운행시 발생하는 전자유도현상에 대하여 터널 및 고가 구조물에 대한 차폐효과에 중요한 영향을 미치는 요소를 본 연구를 통하여 확인하였고, 예측계산시 적용하는 차폐계수의 정확성을 높였다. 본 연구에서는 차폐이론에 근거한 차폐효과를 현대 철도시설물의 실제적인 터널, 고가 구조물의 모델링을 통하여 차폐효과에 주된 영향을 미치는 요소를 추출하여 정확한 차폐계수 적용이 가능케 함으로써 고속열차 등 전기철도 운행시 인접한 통신선로에 발생하는 피해정도를 보다 정확하게 예측을 가능케 하였다.

## 참고문헌

- [1] J.R. Carson, "Wave Propagation in Overhead Wires with Ground Return", Bell system technical journal, pp539-554, 1926
- [2] ITU-T, 'Directives, concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified railway lines' Volume II, III, IV, 1999
- [3] 한국과학기술원, 동남 TDS, "통신유도전압 예측계산표준설계 보고서", 1993
- [4] 철도공단, 전기철도터널 및 고가구간 전력유도예측계산 적용계수 개선방안연구', 2012

(한국철도학회 정기학술대회 Full Paper -Template 작성일: 2015.09.17)