

논문 2008-45TC-10-9

## 고속전철에 의한 통신선로 전력유도 현상에 관한 고찰

(A Study on the Induced Voltages on Subscriber Telecommunication Lines from High-Speed Electrified Railway Line)

오 호 석\*, 강 성 용\*, 윤 주 영\*, 김 학 철\*\*, 최 경\*\*\*

(Ho-Seok Oh, Seong-Yong Kang, Hak-Chul Kim, and Kyung Choi)

### 요 약

본 논문은 고속 전기철도 시설로 인해 가입자 통신선로에서 발생하는 전력유도에 대한 현상과 관련 규정 및 유도전압 측정 결과를 분석한 것이다. 전력유도 현상의 명확한 이해를 돕기 위하여 이론적 배경을 제시하였고, 국내 법규에서 이상시유도위험 전압, 상시유도위험중전압, 기기오동작유도중전압, 잡음전압 등으로 구분되는 유도전압 중에서 공통모드 전압에 해당하는 상시 유도위험중전압과 잡음평형도 평가에 필요한 선대지잡음전압 및 차동모드전압인 선간잡음전압을 우리나라 고시 측정방법에 따라 측정하였다. 측정을 위해 이격거리가 각각 약 20 m와 300 m인 2 km 길이의 통신선로를 설치하여 실험하였으며 측정된 유도전압의 변화 및 파형 특성 등을 비교, 분석함으로써 고속전철에 의한 통신선로 전력유도 현상을 고찰하고 현행 측정방법의 타당성을 검토하였다.

### Abstract

This paper analyzed the voltage induction phenomena on the telecommunication lines by electromagnetic coupling from high-speed A.C. electrified railway. The induced common mode voltages and the induced differential mode voltage on the telecommunication line was measured by notified standard method in the regulation of Korea. The test lines consist of 2 separated lines of 20 m and 300 m in influence distance each for comparison, with 2km inducing length. The analysis is made on the induced voltages from the different influence distances and the different earthing points, and also on the waveform and spectrum distributions. It is proved that the induction is arisen so good and the measured values are fair enough against noise such as the earth voltage differencing, and the current measuring scheme is also rightful.

**Keywords:** Telecommunication line, power induction, induced voltage, high-speed electrified railway

### I. 서 론

송·배전선과 같은 전력선 그리고 일반 전기철도 또는 KTX와 같은 고속 전기철도에서의 전압·전류는 이와 인접하여 병행 설치되어 있는 통신선에 전자기결합에 의해 유도전압을 발생시킨다. 전력선 및 전기철도에 의해 통신선로에 나타나는 전력유도 현상은 여러 문헌을 통해 이론적으로 정리된 바 있고, 이에 대한 국제표

준으로서 국제전기통신연합(ITU-T)에서는 전력선이나 전기철도로부터 전기통신시설에 미치는 영향 및 대책에 관한 권고가 K 계열로 표준화 되어 있으며 기본 이론에서부터 유도전압 계산방법, 대책 기술, 측정기술에 이르기까지 세부적인 기술은 총 9권으로 만들어진 지침서로 작성되어 전 세계적으로 활용되고 있다<sup>[1]</sup>. ITU-T 권고 K.33과 K.53에서는 전력선과 전기철도 시설에 의해 통신시설에서 유지되어야 할 허용전압이 제시되어 있고, K.68은 전력선과 전기철도 시설에 의해 발생하는 영향에 대한 범위를 산정하고 관리하는 표준이다<sup>[2, 4]</sup>. 유도전압으로부터 인명의 안전, 장치의 고장 예방, 통신 품질 확보를 위해 우리나라 기술기준에서는 전력시설의 고장시에 나타나는 사고시위험전압, 전력시설의 정상운용시에 나타날 수 있는 상시유도위험중전압, 통신기기

\* 정회원, (주)KT  
(KT Corp.)

\*\* 정회원, (주)동남통신  
(Dong Nam Telecommunication Corp.)

\*\*\* 정회원, 강원대학교  
(Kangwon National University)

접수일자:2008년7월28일, 수정완료일:2008년10월16일

등의 오작동을 유발시킬 수 있는 기기도동작유도종전압과 선간 잡음전압 등으로 구분하여 유지해야 할 기준값이 설정되어 있다<sup>[5]</sup>. 2004년 4월부터 상업운전이 시작된 우리나라 고속전철은 이러한 전력유도를 일으키는 발생원으로서 상업운전 이전에 국내 기술기준에 의거 유도대책이 수립되었다. 유도전압을 계산하는 방법 및 측정 방법은 전파연구소 고시<sup>[6]</sup>에 제시되어 있으며, 고속전철의 신설·변경 계획 단계에서 이를 피유도자측에 공지하도록 되어 있다. 유도대책은 유도자측에서 개발된 프로그램을 이용하여 예측계산 결과를 피유도자측에 제공하고 피유도자측은 이를 검토하게 되며 상호간 대책방안 등을 협의하여 최종 대책을 수립하게 된다.

본 논문은 고속전철이 운행하는 환경에서 통신선로에 나타나는 전력유도 현상을 고찰하기 위한 것이다. 이를 위해 우선 전력유도현상의 기본 메커니즘을 살펴보고, 전철 선로와 인접된 통신선로를 대상으로 고시에 제시되어 있는 유도전압 측정방법(이상시유도위험전압, 상시유도위험종전압, 기기도동작유도종전압) 및 선-대지잡음전압 측정방법을 이용하여 실제 측정한 결과를 보였다. 또한, 이를 통하여 현재 고시된 측정 방법이 Wenner의 4전극법을 이용한 대지비저항 측정법과 유사하여 전차선에서 유도되는 유도전압과 대지전위차가 함께 측정되어 심각한 오차를 유발시킨다는 논고<sup>[7]</sup>에 대해 사실 여부를 확인해 보았다. 그리고 현재 발생하는 유도전압이 발생원의 기본주파수(60 Hz)를 넘는 고주파 범위에서도 많은 위험성을 내재하고 있음을 실험을 통하여 확인하였다.

## II. 고속전철에 의한 전력유도 및 국내기준

### 1. 고속전철 계통의 전력유도 발생

전기철도에서 전차선과 차량에 전력을 공급하는 방식은 삼상 또는 단상 전력을 차량에 급전하는 직접급전 방식이 있으나 이 방식은 레일 전위가 높고 누설전류에 의하여 심한 통신장애를 유발하기 때문에 이를 경감하기 위해 BT(Booster Transformer: 흡상변압기) 급전방식과 AT(Auto Transformer: 단권변압기) 급전방식이 고안되었고, 우리나라 고속철도는 그림 1과 같은 구성의 AT급전방식을 사용하고 있다.

AT의 설치목적은 전차선로의 전력 공급효율을 높이고 가능한 한 귀로전류를 부급전선으로 되돌려서 대지에 접하고 있는 레일로부터의 누설전류를 방지하는데 있다. 그러나 이 방식도 근본적으로 레일에 의한 누설

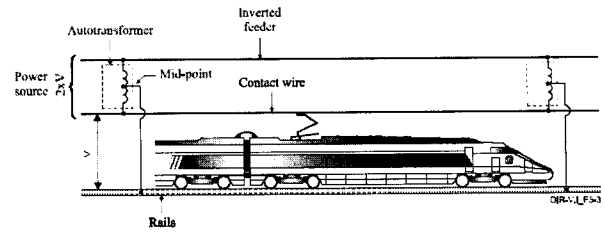


그림 1. AT 급전방식의 전기철도 구성

Fig. 1. Diagram of the power feeding system with AT in a.c. traction line.

전류 및 급전계통의 불평형을 유발하여 전차선로에 인접한 통신케이블에 악영향을 주는 유도전압을 발생시킨다. 통신품질에 영향을 주는 고조파 잡음에 관련해서는, 현대적 전철의 구동시스템에는 컨버터와 인버터가 포함되어 있으며 위상제어 및 펄스폭변조방식 등에 의하여 제어되기 때문에 기본주파수 보다 높은 고조파를 발생시킨다고 알려져 있다<sup>[8-10]</sup>.

통신선과 대지 사이에 공통모드(common mode)로 발생하는 전압은 통신기기 및 인체 안전에 영향을 주게 되며 동시에 통신선의 불평형에 의해 두 심선 사이에 차동모드(differential mode)로 발생하는 전압의 원인이 된다. 차동모드 전압에서 음성대역의 고조파는 결과적으로 통화를 방해하고 데이터의 훼손을 가져오는 잡음의 형태로 나타난다. 국내 기준에서는 이상시유도위험종전압, 상시유도위험종전압, 기기도동작유도종전압, 선-대지잡음전압 등이 공통모드 전압에 해당하며, 선간잡음전압이 차동모드 전압에 해당한다(표 1 참조).

### 2. 유도전압 기준

국내에서 통신선에 적용하고 있는 유도전압 기준값은 '전기통신설비의 기술기준에 관한 규칙' 제9조에 표 1과 같이 제시되어 있다. 전력유도대책은 이 값을 초과할 것으로 예상되거나 실제 초과하는 경우에 시행되는 것으로, 최근(2007년 12월)에 일부 개정된 바 있다.

고속전철 시설에 의한 유도전압 예측계산은 철도 노선을 중심으로 양측 각각 1 km 범위 내에 있는 통신시설을 대상으로 한다. ITU-T 지침서에서는 3 km로 제시되어 있다. 표 1에서 잡음전압은 사람의 청각을 주파수별로 의사화한 소포메트릭 가중치(psophometric weighting) 필터(북미의 경우 C-message 필터 사용)를 사용하여 측정된 값이며, ITU-T 지침서 Vol. VI 제6장에 따르면 이 기준값은 사용자가 통화시에 만족한 서비스를 제공 받을 수 있는 수준으로서 전화기에 접속된 선로(lines)와 트렁크(trunks)에 영향을 주는 전력선으

표 1. 국내 유도전압 제한 기준  
Table 1. Limit voltage of induction in Korea.

구분	제한 기준
이상시유도위협전압	650 V. 다만, 고장시 전류제거시간이 0.1초 이상인 경우에는 430 V로 한다.
상시유도위협중전압	60 V
기기오동작용도중전압	15 V. 다만, (중략) 대지귀로방식에 적용
잡음전압	0.5 mV. 다만, 전철시설로 인한 잡음전압이 0.5 mV보다 크고 2.5 mV보다 작은 경우에는 1분 동안에 0.5 mV보다 크고 2.5 mV보다 작은 작은 잡음전압과 그 잡음전압이 지속되는 시간(초)를 곱한 전압의 총 합계가 30 mV·초를 초과하지 아니하여야 한다.

로부터 유도된 값이 이 값을 초과하지 않아야 한다는 조건이며 측정은 가입자 장치(subscriber's set)의 단말(line terminal)에서 측정된다고 설명되어 있다.

### III. 유도전압 측정방법

#### 1. 국내 유도전압 측정방법 고시

유도전압 측정방법은 전파연구소 고시 제2005-98호에 그림 2와 같이 제시되어 있다. 통신회선의 한쪽 끝단은 접지한 상태에서 다른 한쪽에서 교류전압계를 이용하여 측정한다. 그림 3은 선간잡음전압 측정회로이다. 여기서 ep는 통신회선으로 사용되는 두 선 사이에 600Ω이 중단된 상태에서 평가잡음필터를 사용하여 600Ω 양 단간에 측정된 선간잡음전압이다. 선-대지잡음전압 Ep는 그림 4에서와 같이 통신선 중단을 단속하고 접지한 후 선과 대지 간에 평가잡음필터를 사용하여 측정된 값이다. 측정기 부분은 잡음측정기라고 표현되어 있는데 잡음측정기 내부 회로가 상세히 표현되지 않고 개념적으로 표현되어 있다. ITU-T에서는 소포메트릭 가중치 필터가 내장된 잡음측정기를 소포메터(psophometer)라고 하는데 ITU-T 지침서 Vol. I, 제4장 6절에 따르면 고임피던스의 입력임피던스를 갖는 측정기로 설명되어 있다. 이렇게 측정된 선간잡음을 선대지잡음전압으로 나누어 산출된 값을 잡음평형도라고 한다<sup>[6]</sup>.

#### 2. 시험 측정 회로

그림 5는 본 연구에서 통신선로에서 발생하는 유도전압을 측정하기 위해 전철선로 주변에 설치된 통신선로의 구성이다. 2개의 루트로 구성되어 있는데 1개 루트는 전철 선로와 약 20m의 이격거리로 약 2km 병행

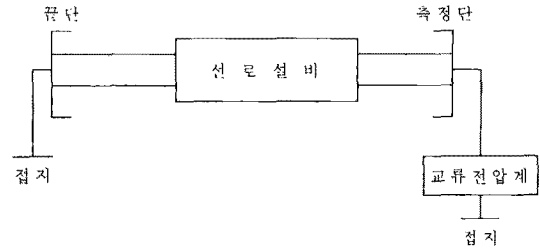


그림 2. 유도전압 측정회로  
Fig. 2. Common-mode voltage measurement circuit.

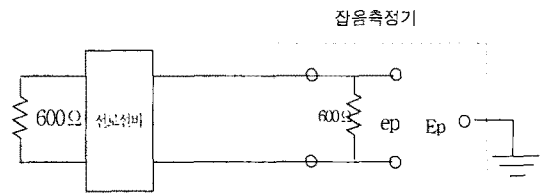


그림 3. 선간잡음전압 측정회로  
Fig. 3. Common-mode noise voltage measurement circuit.

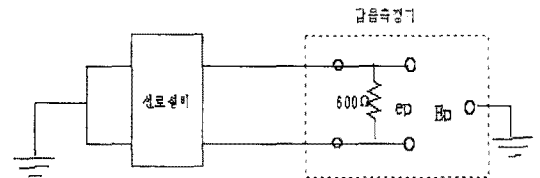


그림 4. 선대지잡음전압 측정회로  
Fig. 4. Common-mode noise voltage measurement circuit.

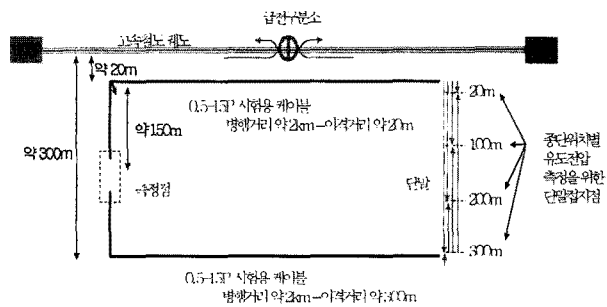


그림 5. 전력유도전압 측정을 위한 시험 회로  
Fig. 5. Test configuration for common mode induction voltage measurement.

설치되어 있고, 다른 1개 루트는 전철 선로와 약 300m의 이격으로 역시 약 2km 병행 설치된 것이다. 좌측의 측정점은 두 루트간의 중간 지점으로서 전철 선로로부터 약 150 m 지점을 선정하였다.

유도전압 및 선대지잡음전압 측정을 위해 한 쪽 단말이 접지되어야 하는데 접지점의 위치에 따른 측정값의 변화를 분석하기 위해 그림 5의 우측과 같이 전철 선로로부터 20m, 100m, 200m, 300m 지점에 접지점을 두어

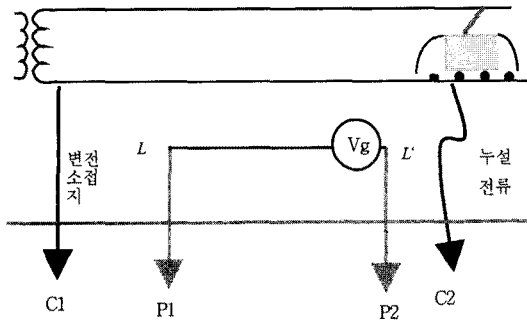


그림 6. 참고문헌 [7]에서 제시한 선-대지잡음전압 측정 회로와 대지전압측정의 유사성  
Fig. 6. Similarity in Measurement method of common mode noise described in [7].

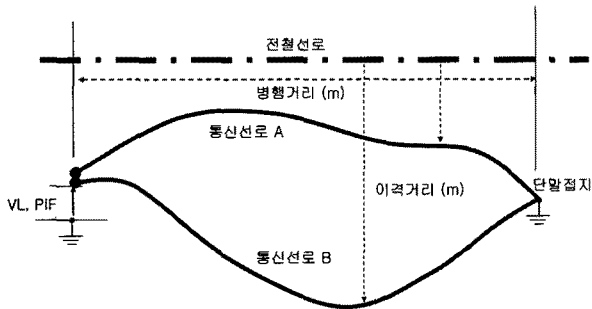


그림 7. 전철선로와 시험통신선로의 구성 해설  
Fig. 7. Traction line and telecommunication line in test.

접지 위치별로 측정할 수 있도록 하였다. 측정기의 접지 및 단말 접지저항은 91~97 Ω으로 구성하였다. 측정된 통신케이블은 심선경 0.5 mm의 통신회선이 15쌍으로 구성된 FS(Foam Skin) 케이블이다. 그림에서 전철선로의 급전구분소는 급전구분소를 중심으로 좌 우 양측으로 전력을 공급하는 곳이다.

두개의 서로 다른 이격거리를 갖는 통신선로를 구성한 이유는 참고문헌 [7]에서 전철 선로 주변에서 유도전압을 측정하는 경우, 그림 6과 같이 통신선로의 선-대지전압을 측정하는 것이 P1점과 P2점 즉, 측정점과 단말 접지점 사이의 대지전위차를 측정하는 것이 된다는 주장을 검토하기 위한 것으로서, 이 논리에 따르면 그림 7에서 보는 바와 같이 2개 루트를 갖는 통신선로의 유도전압 측정에서 측정점과 단말지점이 동일하다고 하면 전철로부터의 이격 거리, 통신선로 길이 또는 통신선로의 구성 루트와 관계없이 유도전압 측정결과가 항상 동일하다는 것을 의미한다. 따라서 본 실험을 통하여 이를 규명해 보고자 한다.

또, 단말 접지점의 위치변경은, 측정 결과에서 대지전위차의 크기가 유도전압의 크기에 대하여 매우 크다면 측정용 접지의 변경에 따라 대지전위 성분의 변화가 크

게 나타나야 하는 데, 이를 시험해 보기 위한 것이다.

그림 7에서 좌측 측정점의 VL은 선과 대지간의 유도전압이고 PIF(Power Influence)는 선과 대지간의 선대지잡음전압을 의미한다. 선대지잡음전압은 잡음측정기 내의 필터를 통해 특정주파수 성분만을 대상으로 하기 때문에 유도전압과는 다른 값을 가져야 한다.

### 3. 고속전철 전력유도 현상의 고찰

전력유도는 인접한 전기회로 사이에 결합적으로 존재하는 저항성분, 인덕턴스성분, 커패시턴스 성분 모두에서 발생할 수 있다. 전기철도에서 존재하는 전력 유도원은 그림 8에 표시된 것과 같이 단권변압기로의 귀로전류 및 대지를 통한 누설전류이다. 그러므로 전철계통에서의 전력유도는 대부분 회로간의 상호인덕턴스 성분에 의해 발생된다고 볼 수 있다. 전파연구소 고시 유도전압 예측계산식(식 1)(전파연구소 고시 제2007-102)에서도 인덕턴스 이외 성분은 고려하고 있지 않고 있음을 알 수 있다. 인덕턴스 성분에 의한 유도전압은 직선선로에서 발생하는 것이 아니라 기유도원 발생회로 및 피유도회로의 쇄교자속의 변화에 의해 발생되며, 이는 양 회로의 페루프 형성회로의 유효 쇄교면적에 비례한다(그림 8 영역 A<sub>x</sub>, B).

AT 급전방식에서 귀로전류는 변압기 간의 전류역상 분산 및 부급전선 귀로회로의 인접성으로 전력유도를 줄이는 데 효과적이다(영역 A1, A2). 단, 대지를 통한 누설전류(영역 A3)는 비록 전류 양은 적더라도 피유도회로와 접지를 통한 페루프 형성에서 쇄교도가 더 크고, 회로의 일부 구간(대지구간)을 공유하므로 영향도는 더 크다고 할 수 있다.

참고문헌 [7]의 회로(그림 6)에서 대지 전압을 측정하는 경우는 L과 L' 사이 거리가 충분히 짧아 구간 내에

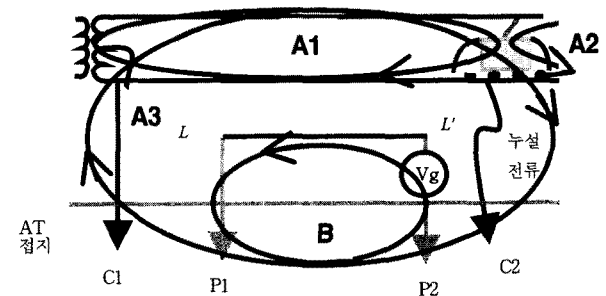


그림 8. 그림 6 회로에서의 전력유도 발생원 및 쇄교단면적  
Fig. 8. Cross sections of induction in the circuit of Fig. 6.

서 기전력이 발생하지 않는 경우에만 사용되어야 하며, 원칙적으로 직류를 사용하여야 한다. (측정상의 어려움으로 상용주파수의 영향을 최소한으로 하는 저주파 대역의 교류를 사용하기도 하며, 이때 측정구간은 사용주파수의 파장에 비해 매우 짧아야 한다.)

유도전압은 피 유도회로의 면적 B 에서 발생하는 유도기전력을 의미하는 것으로 원칙적으로 전력으로 산출하여야 하나 선로에 접속하는 기기의 다양성과 전류를 흘렸을 경우 발생할 수 있는 위험성을 고려하여 기전력으로서만 기준치를 나타내고 있다. 이는 그림 8에서의 전압측정기(Vg) 위치에 나타나는 총 전압을 의미하며 이는 전압계의 고임피던스를 통해 폐회로를 구성하고 전압계 구간 이외에서 발생하는 총 기전력을 측정하는 원리이다. 그러므로 회로공유구간(대지구간)에 나타나는 전압도 기전력의 일부로 볼 수 있다. 유도전압의 제한값 설정은 이 위치에 통신장비를 장착하였을 때 일어나는 여러 가지 위험성을 방지하기 위한 조치이다.

IV. 측정결과 분석

전파연구소 고시 제2007-102호(전력유도전압의 구체적 산출방법) 별표 6에는 단권변압기 급전방식의 교류전철시설에 의한 유도전압 예측계산식이 제시되어 있으며 식 (1)은 상시유도중전압에 대한 식이다<sup>[11]</sup>. 이 식은 페러데이 법칙을 회로이론의 수식으로 표현한 것이다.

$$V_L = \Sigma \left\{ j\omega \cdot \frac{(Amp \cdot km)}{D} \right\} \cdot I_L \cdot M \cdot l \cdot K \times 10^{-6} \tag{1}$$

여기서

$V_L$  : 상시 유도중전압

$\omega$  : 60Hz에 대한 각속도

$Amp \cdot km$  : 단권변압기 급전방식의 교류전철시설에 의한 유도전압예측구간에서의 전차선부하전류(또는 고장전류나 등가방해전류) 1[A]에 대한 평균기유도전류와 당해구간 길이와의 곱

$D$  : 유도전압 예측 구간의 거리(km)

$I_L$  : 전차선의 최대부하전류(A)

$M$  : 60Hz에 대한 전차선과 전기통신선의 상호인덕턴스( $\mu H/km$ )

$l$  : 전차선과 전기통신선과의 병행거리(km)

$K = K3 \cdot K4 \cdot K6 \cdot K7 \cdot K8$

$K3$  : 전기통신선의 차폐계수

$K4$  : 터널의 차폐계수

$K6$  : 고가차폐계수

$K7$  : 통신케이블 조수에 의한 유도저감계수

$K8$  : 타케도에 의한 차폐계수

이다.

만일, 유도원, 통신선의 차폐계수 및 기타 차폐계수 등의 조건이 모두 동일하며, 단지 통신선로 이격거리만 다른 2개의 선로가 있다면 유도전압은 식 (1)에서 알 수 있는 바와 같이 이격거리에 의해 결정되는 상호인덕턴스 M값 비율만큼 서로 다른 값을 갖는다고 할 수 있다. 식 (2)는 ITU-T 지침서 Vol. II에 제시되어 있는 상호인덕턴스 계산식이다. 이 식을 이용하여 대지구유저항 100 ohm·m을 적용하여 전철선로와 통신선로간의 거리와 주파수에 따른 상호인덕턴스를 계산한 결과는 그림 9와 같다.

$$\begin{aligned} \text{for } x \leq 10: M &= 142.5 + 45.96x - 1.413x^2 - 198.4 \ln x \quad [\mu H / km] \\ \text{for } x > 10: M &= \frac{400}{x^2} \quad [\mu H / km] \end{aligned} \tag{2}$$

where  $x = d \cdot \sqrt{\frac{\mu_0 \omega}{\sigma}}$

그림 9에서 전철선로와 이격거리가 약 20m인 통신선로와 이격거리가 약 300m인 통신선로의 상호인덕턴스비는 60Hz를 기준으로 하면 300m 이격 통신선로의 상호인덕턴스가 20m 이격 통신선로의 33 % 이며, 800Hz를 기준으로 하면 14% 정도의 값을 갖는다. 따라서 유도전압도 이와 유사한 경향을 보여야 한다.

이상과 같은 기본적인 이론 및 개념을 갖고 유도전압과 선대지잡음전압을 측정된 결과는 그림 10과 같다. 이 측정 그래프는 단말의 접지점을 전철 선로로부터 100m 이격하여 접지하고 시간에 따라 변화하는 실효전압(Vrms)을 기록한 것이다. 우선 그림에서와 같이 20m 이격 선로와 300m 이격 선로에서 나타난 유도전압은 명확하게 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 또한

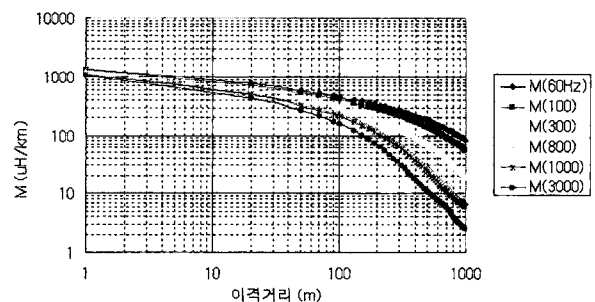
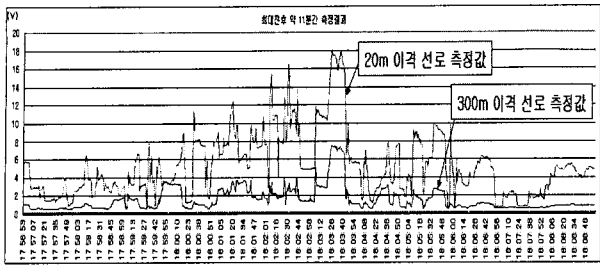
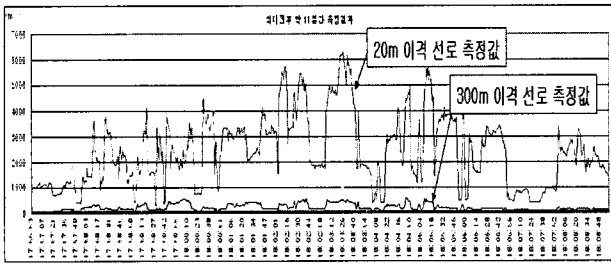


그림 9. 주파수 및 이격거리에 따른 상호인덕턴스  
Fig. 9. Mutual inductance for distance and frequency.

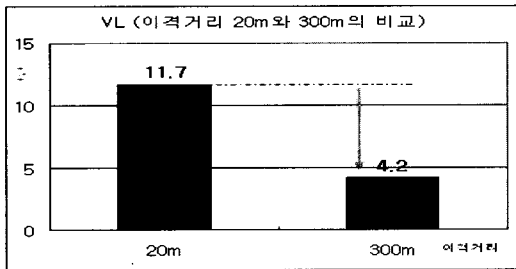


(a) 유도전압

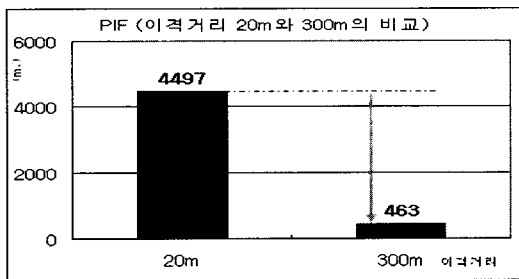


(b) 선대지잡음전압

그림 10. 유도전압과 선대지잡음전압 측정 그래프  
Fig. 10. Common-mode voltage and common-mode noise voltage.



(a) 유도전압



(b) 선대지잡음전압

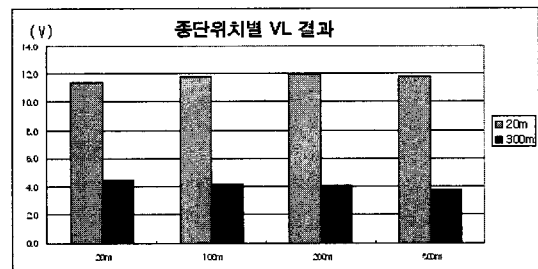
그림 11. 통신선로 이격거리에 따른 유도전압의 비교  
Fig. 11. Maximum 5 % average voltage vs. distance

그림 10 (a)와 (b)는 서로 동일 시간에 측정된 값으로서 그래프의 변화가 유사하지만 (b)의 선대지잡음전압은 평가잡음필터를 사용하였기 때문에 유도전압 크기에 비해 작고 유도전압에 포함되어 있는 주파수별 고조파 함 유율에 따라 크기가 달라지기 때문에 두 통신선로간의 유도전압 크기 비율이 동일하지 않다.

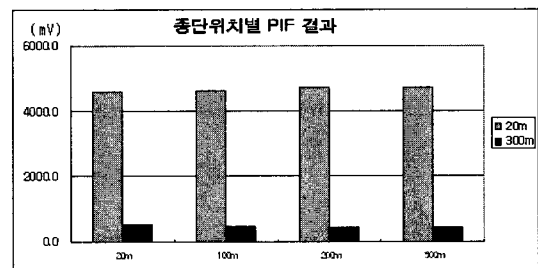
안정된 데이터 확보를 위해 1초 간격으로 4시간동안 측정하여 총 14,396개의 데이터 중에서 상위 5 %에 해당하는 데이터를 평균하여 이격거리에 따라 크기를 비교한 결과는 그림 11과 같다. 이격 거리에 따른 유도전압의 비는 유도전압의 경우 300 m 이격 선로의 유도전압이 20 m 이격 선로의 35.9 %, 선대지잡음전압의 경우에는 10.3 %로 나타났다. 이 결과는 앞서 계산하였던 상호인덕턴스 비율과 매우 유사한 결과가 나타남을 확인하였다. 한편, 이와 같은 결과로부터 유도전압 측정방법이 대지전위차를 측정하는 것이 아니며, 인덕턴스결합에 의한 유도전압을 측정하고 있음을 확인하였다.

또한, 단말 접지 위치에 따라 측정된 유도전압이 변화하는가에 대한 여부를 확인하기위해 단말 접지 위치가 전철 선로로부터 20 m, 200 m, 300 m 거리에 있는 경우에 대해 유도전압을 측정하였다. 앞의 측정과 같이 이격 거리가 서로 다른 두 개 루트의 통신선로를 동시에 측정하여 상위 5 %의 데이터를 평균한 결과를 그림 12에 보였다.

유도전압의 경우, 20 m 이격 선로는 단말 접지점 위치에 따라 평균 11.7V, 표준편차 0.2V로 분석되었고, 300m 이격 선로의 경우 평균 4.1V, 표준편차 0.3V로서 단말 접지 위치에 따른 변화는 거의 없었으며 선대지잡음전압의 경우에도 20m 이격선로는 평균 4,480mV, 표



(a) 유도전압



(b) 선대지잡음전압

그림 12. 측정회선 단말 접지 위치에 따른 유도전압 비교

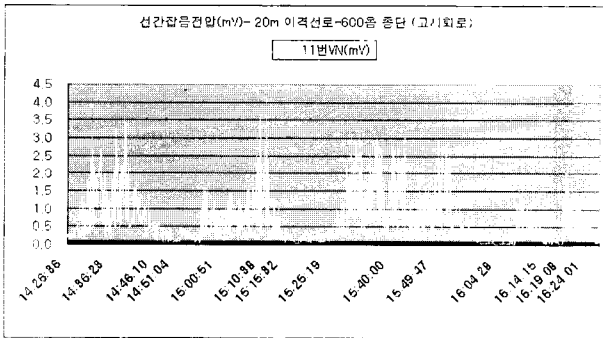
Fig. 12. Maximum 5 % average voltage for distance of far end terminal location from traction line.

준편차 60mV, 300m 이격선로는 평균 463 mV, 표준편차 23mV로서 역시 단말 접지 위치에 따라 큰 차이를 보이지 않았다. 여기서 20m 이격 선로의 경우 단말 위치가 전철 선로로부터 멀어짐에 따라 약간 상승하는 경향이 있고, 300m 이격 선로의 경우에는 반대로 단말 위치가 전철 선로로 가까워짐에 따라 약간 상승하는 경향을 보이는데 이것은 측정을 위해 단말 접지점까지 측정회선을 최대 300m 연장하게 되는데 이로 인해 나타나는 현상이라 보인다.

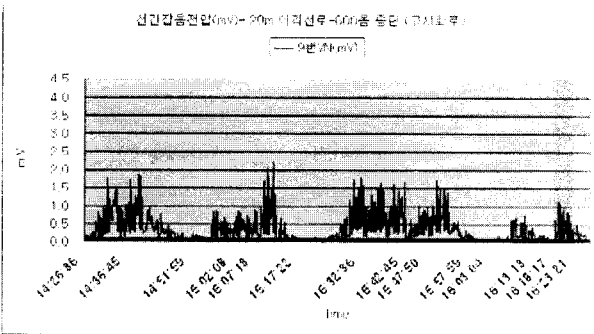
위의 결과로부터 유도전압 측정시에 측정회선 단말의 접지 위치변화가 측정결과에 큰 영향이 나타나지

않음을 알 수 있으며, 이는 그림 5의 실험회로에서 보듯이 본 실험이 의도적으로 횡방향 대지전압변화를 포함한 경우임에도 불구하고 대지전압 변화가 측정값에 큰 영향을 미치지 않았음을 의미한다. 그러므로 유도전압에 크게 영향을 주는 요소는 전철선로와의 이격거리를 확인할 수 있었다. 그러나 ITU-T K.68에서는 전철 선로로부터 5m 이내를 도전성결합(conductive coupling) 범위로 보고 있으므로 의도적으로 측정회선의 단말 접지점을 전철선로에 가까이 하는 것은 주의해야 한다.

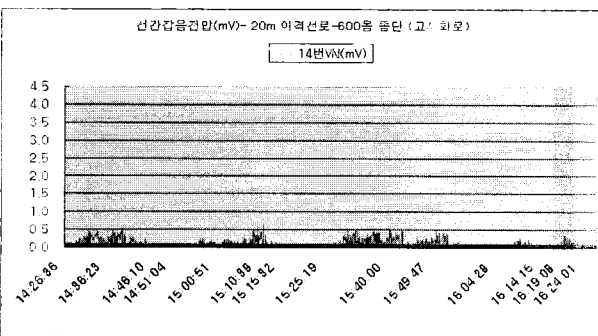
그림 13은 그림 3의 측정회로를 사용하여 선간잡음전압을 측정한 결과이다. 법정제한치가 넘는 고조파 전압성분이 많이 나타나고 있음을 볼 수 있다. 특히 측정시 주의할 사항은, (a)~(c)에서 비교 제시한 것처럼, 같은 케이블 내의 회선이라 하더라도 회선에 따라 유도되는 잡음전압의 크기가 서로 다르게 나타날 수 있다는 점이다. 그림 13의 결과에서는 최대 8배까지의 차이를 보이고 있다. 따라서 (c)와 같이 유도현상이 적게 나타



(a) 선간 잡음전압(11번)

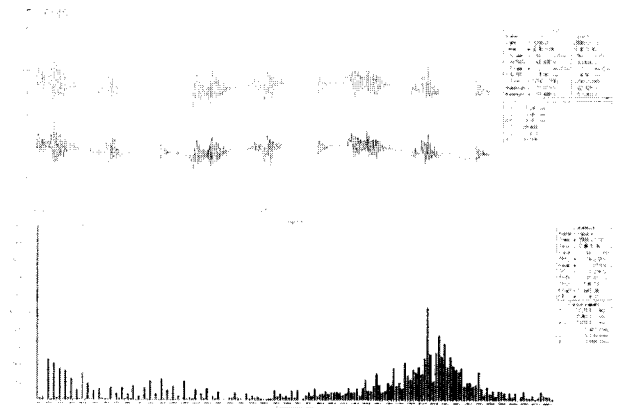


(b) 선간 잡음전압(9번)

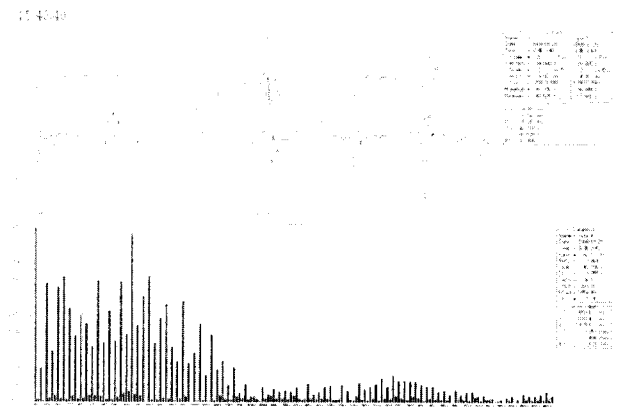


(c) 선간 잡음전압(14번)

그림 13. 동일 케이블내 각 회선의 선간잡음전압  
Fig. 13. Noise voltages on different pairs in a cable.



(a) 유도전압 및 주파수별 스펙트럼 분포 1 (17시 06분)



(b) 유도전압 및 주파수별 스펙트럼 분포 2 (15시40분)

그림 14. 유도전압의 스펙트럼 분포  
Fig. 14. Spectrum distribution of Induction Voltage.

나는 회선만을 측정함으로써 전체 유도현상을 잘못 측정하는 일이 없도록 하여야 한다.

그리고 유도전압에는 많은 양의 고조파 성분이 존재한다. 그림 14는 고속전철 유도전압 및 스펙트럼 분포를 나타내고 있다. 스펙트럼의 주파수 축의 가장 왼쪽 값은 기본주파수(60Hz) 성분이며 경우에 따라 매우 다양한 분포를 보이는데, (a)의 경우 가장 큰 고조파 성분이 비교적 높은 주파수인 8.3kHz에서 발생한 반면 (b)의 경우는 2.1kHz에서 나타난다. 특히 (b)의 경우에는 기본파 성분에 거의 육박하는 크기를 보여주고 있다. 현재의 예측식 등이 앞에서 제시한 것처럼 60Hz 혹은 800Hz를 기준으로 작성되었으나 앞으로 디지털 통신의 발달로 더 많은 대역폭을 사용할 것으로 예상되며, 이 경우 전철 등에서 발생하는 고조파는 더 큰 악 영향을 끼칠 수 있으므로 이에 대한 고려도 필요할 것으로 사료된다.

## V. 결 론

본 논문에서는 고속철도 주변에 시험용 통신선로를 설치하고 우리나라 고시에서 제시하고 있는 유도전압, 선간잡음전압, 선대지잡음전압을 측정하여 봄으로써 고속전철에 의한 통신선로 전력유도 현상을 고찰하고 측정방법의 타당성을 검토하였다. 이론적으로도 제시된 것처럼 전철주위에는 전력유도 현상이 발생하고 있으며, 고시에 제시된 측정방법으로 측정한 결과는 전력유도 현상을 충분히 나타내고 있다고 볼 수 있었다. 고속전철에서 나타나는 전력유도는 대부분이 전자유도결합에 의한 것이며, 이격거리에 따른 상호인덕턴스의 차이와 비례하는 것을 확인하였다. 경로를 달리하는 선로와 접지점의 변화를 통하여 측정결과에의 대지전위차 포함 여부를 고찰해 본 결과 측정값에 심각한 정도의 영향을 주지 않으므로 큰 문제가 없음을 확인하였다. 케이블 내에 다심선이 있는 경우 각 회선에 나타나는 선간잡음은 크기가 서로 다르게 나타날 수 있으므로 측정시 특히 주의해야 할 점임을 알았으며, 유도되는 유도전압 및 잡음에는 고조파가 매우 크게 포함되어 있으므로 이에 대한 대비가 앞으로 수행되어야 한다. 전력유도 현상은 이미 이론적으로 확립되어 있고 국외기준이 제시되어 있지만, 국내에서도 향후 지속적인 연구를 통해 국내에서 나타나는 전력유도 현상을 규명하고 합리적인 대책 방안이 수반되도록 해야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] *ITU-T Directives*, Directive concerning the protection of telecommunication lines against harmful effect from electric power and electrified railway lines, 1989.
- [2] *ITU-T Recommendation K.33*, Limits to people safety related to coupling into telecommunication systems from a.c. electric power and a.c. electrified railway installations in fault conditions, 1996.
- [3] *ITU-T Recommendation K.53*, Values of induced voltages on telecommunication installations to establish telecom and a.c. power and railway operators responsibilities, 2000.
- [4] *ITU-T Recommendation K.68*, Management of electromagnetic interference on telecommunication systems due to power systems, 2006.
- [5] 정보통신부령 제231호, 전기통신설비의 기술기준에 관한 규칙 일부개정령, 2007. 12.
- [6] 전파연구소 고시 제2005-98호, 전기통신설비의 기술기준에 관한 표준시험방법, 2005.
- [7] 여상근, 박찬원, "대지전위와 통신회선 잡음·발생에 대한 고찰", 한국조명·전기설비학회논문지, 제21권, 제10호, 2007.12.
- [8] 오광해, 이한민, 장동욱, 김주락, "공동접지방식 급전시스템의 고조파 해석", 한국철도학회 2000년도 추계학술대회논문집, pp. 688-695, 2000.11.
- [9] 한문섭, 이장무, 정호성, 김주락, "전기철도 급전시스템의 주파수 기반모델을 이용한 고조파 해석", 한국철도학회 2004년도 춘계학술대회논문집, pp. 89-94, 2004.6.
- [10] 이장무, 김주락, "교류전기철도 AT 급전시스템의 고조파 해석 및 적용사례", 한국철도기술, 2004년 5월, 6월호.
- [11] 전파연구소 고시 제2007-102호, 전력유도전압의 구체적 산출방법에 대한 기술기준, 2007.



저 자 소 개



오 호 석(정회원)  
1991년 충남대학교 전자공학과  
학사 졸업.  
1993년 충남대학교 전자공학과  
석사 졸업.  
2008년 충남대학교 전파공학과  
박사 졸업.

2005년~현재 ITU-T SG6 Rapporteur  
1993년~현재 (주)KT 인프라연구소 수석연구원  
<주관심분야 : EMI/EMC, FTTH, OSP>



강 성 몽(정회원)  
1991년 경일대학교 전자공학과  
학사 졸업.  
2005년 목포해양대학교 전자통신  
공학과 석사 졸업.  
현재 (주)KT 근무.  
<주관심분야: 통신설비 EMI/EMC>



윤 주 영(정회원)  
1993년 영남대학교 수학과 학사  
졸업.  
2008년 현재 (주)KT 근무.  
<주관심분야 : 통신설비 EMI/  
EMC>



김 학 철(정회원)  
1976년~1980년 체신부  
서울체신청 근무.  
1980년~1987년 한아통신기술  
협력(주) 근무.  
1990년~2008년 (주)동남통신  
근무  
(현재 대표이사 재직 중).

<주관심분야 : 통신, EMI/EMC, ITS, BcN,  
REID/USN>



최 경(정회원)  
1981년 서울대학교 전기공학과  
학사 졸업.  
1983년 서울대학교 전기공학과  
석사 졸업.  
1988년 서울대학교 전기공학과  
박사 졸업.

1993년 7월~1994년7월 Rensselaer Polytechnic  
Institute 교환교수  
1989년 3월~현재 강원대학교 IT특성화학부대학  
전기전자전공 교수  
<주관심분야 : 전자기학, 수치해석, Microwave>