

# 대지전위와 통신회선 잡음 발생에 대한 고찰

(A Study on the Generation of the Earth Potential and Communication Line Noise.)

이상근\* · 박찬원\*

(Sang-Kun Yeo · Chan-Won Park)

## Abstract

This paper presents an experimental evidence of the generation of the earth potential and communication line noise from the electric railway. There is a critical measurement error in case of measuring the electrical power induced noise voltage and degree of cable balance in the field of earth potential generated. As a result, it has been found that the conventional cable has more noise immunity than shielded cable near the railway where the earth current flows through the sheath layer.

## 1. 서론

인명의 안전이나 설비의 보호 목적으로 한전 배전선이나 전기 철도시설은 접지를 하며 이와 같은 전기시설물 주변에 있는 통신케이블은 전력유도 유도과해 방지를 위해 오래 접지를 하게 된다.

접지시설에 흐르는 누설 전류와 접지저항 크기에 따라 접지체 주변의 대지는 옴의 법칙에 따라 대지전위가 발생된다.

본 논문은 한전 배전선로나 전기철도 매설 접지선에 흐르는 누설전류가 전력유도 장애 방지를 위해 설치한 통신케이블 차폐접지에 오히려 영향을 주어 통신회선에 잡음이 발생하는 것을 실험적인 방법과 산식으로 증명시키고, 2004년도 개통된 경부고속전철 주변 통신케이블에 발생하는 전력유도잡음전압의 실체가 전력유도 현상에 의해 발생된 잡음전압이 아니고 대지전위차에 의해 케이블 쉬스층에 흐르는 전류가 만든 누화잡음전압 이었던 것을 과학적으로 증명하고 대지전위차가 발생하는 곳에서 전력유도잡음전압과 케이블 평행도 등을 측정할 경우 계측 오차가 심각하게 발생하는 것을 정량적으로 파악하였다.

## 2. 본론

### 2.1. 접지전극에 의한 대지 전위 상승

대지와 접지 전극 사이에 전기저항(접지저항)이 있기 마련이며 접지전극에 누설전류나 지락전류가 흐르면

옴의 법칙에 따라 접지전극 뿐만 아니라 그 주위의 대지에도 전위가 분포하게 되며 정보통신부고시 제 2003-5호 별표 8에 대지 전위 상승 관련 유도전압 산식은 다음과 같다.

$$V = \frac{\rho I}{2\pi D} \quad \text{-----}(1)$$

이때,  $V$  는 이상시 유도위험전압이고  $D$  는 전력선의 접지체와 전기통신시설의 접지체와의 거리이며  $\rho$  는 대지고유저항,  $I$  는 지락고장점의 대지 유입전류이다. 누설전류와 접지 체의 거리에 따라 대지 전위차가 발생하게 되며 이와 같은 대지 전위차가 전력유도 잡음 전압 측정 시 중첩되어 오차의 원인이 되며 식 (1)을 적용한 대지전위차를 계산하면 동일한 조건과 환경에서 케이블 길이가 1000[m] 인 경우 대지전위차는 약 1000[mV]가 발생하게 된다.

### 2.2. 선대지유도잡음전압의 실체

KTX 선로 주변의 유도잡음전압 측정 시 사용되었던 선대지 잡음전압 측정 방법은 배너의 4전극법을 이용한 대지 비저항 측정법과 동일한 측정회로를 사용하였다.

그림 1의 대지비저항 측정 회로는 C1-C2 폐회로 사이에 흐르는 전류에 의해 발생하는 P1-P2 사이 전위차를 이용하는 것이고 그림 2는 KT에서 사용하는 “선대지유도전압측정회로”는 배너의 4전극법과 동일하기 때문에 전차선에서 유도되는 유도전압뿐만 아니라 P1-P2 사이에 발생하는 대지전위차도 함께 측정되기 때문에 심각한 측정 오차를 유발시키게 된다.

1) Wenner 의 4전극법

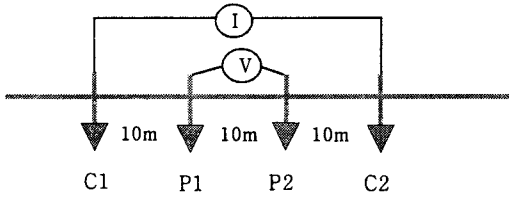


그림 1. Wenner의 대지저항률 측정법  
Fig. 1 Wenner's measurement method of the earth resistivity

대지비저항 측정 회로가 C1과 C2 단자에 전압을 공급하여 전류가 흐르게 한 후 P1과 P2 지점 사이 측정되는 전압을 이용하여 대지 비저항을 측정한다.

2) 기존의 선대지잡음전압 측정법

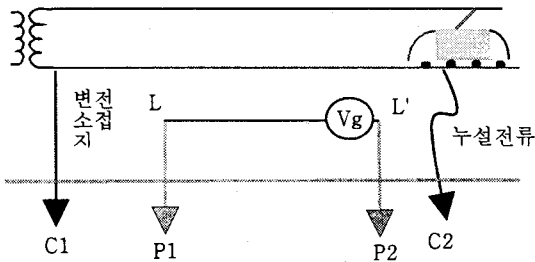


그림 2. 선대지 잡음전압 측정법  
Fig. 2. Measurement method of line-earth noise voltage

통신회선 L'L'에 유도되는 종전압(Longitudinal Voltage)을 측정하기 위해 대지를 하나의 도체로 - P1과 P2는 전압계(Vg)의 리드선-사용하며 이렇게 측정된 전압을 '선-대지간(線-大地間)유도잡음전압'이라한다.

이와 같은 측정 방법은 전차선에 의해 발생되는 L - L' 사이 발생되는 유도종전압 뿐만 아니라 P1과 P2 사이의 대지전위차가 함께 측정되기 때문에 심각한 오차가 발생하게 된다.

3.1. 시험선 구간 전력유도전압 측정

KTX 전력유도 합동조사팀은 2001년 2월 고속전철 시험선 구간에 15% 차폐케이블과 비차폐 일반 케이블을 나란히 포설한 후 열차 통과 시 발생하는 유도잡음 전압을 비교 측정하였다. 이때 사용되었던 선-대지간 유도전압 측정방식에 6 종류의 측정 회로가 사용되었으며, 유도대책에 사용된 회로는 케이블 시스템과 측정

기 접지선의 연결 방법에 따라 측정 전압이 변동되었다.

시험결과 값은 케이블의 기본 차폐층을 제거한(시험 회로 6번)비정상적인 상태로 전압을 측정 하였으며 이때 나타난 선간잡음전압은 표1과 같이 0.12[mV]에 불과 하였으며 차폐층 접지 시 일반케이블의 차폐계수 0.6이 적용되어 선간잡음전압은 0.072[mV] 밖에 나타나 지 않게 된다.

그리고 선대지잡음전압 계측 시 측정된 전압은 유도 전압이 아니라 측정 지점 양단 (P1-P2)에 나타난 대지 전위차(전압)로 증명이 되었다.

그 이유는 측정회로가 Wanner의 대지비저항 측정회로와 동일하였고 15% 차폐케이블과 비차폐 일반케이블 사이 차폐효과가 전혀 나타나지 않았으며 오히려 일반케이블의 유도전압이 더 작은 것으로 당시 시험 보고서에 나타나 있다.[1]

표 1. 최대 선간유도잡음전압  
Table 1. Maximum line-induced noise voltage

케이블	선간최대유도잡음전압		비고
	견인 시	제동 시	
일반케이블	0.17[mV]	0.11[mV]	
차폐케이블	0.20[mV]	0.14[mV]	

표 2의 측정회로 3번은 통상적으로 사용하는 측정 방법으로 유도전압이 가장 낮게 계측되었다. 측정 전압이 작은 이유는 차폐케이블의 시스템이 등전위 본딩선 역할을 하였기 때문에 대지전위차가 낮게 나타난 것이며 측정회로 1번은 시스템 접지와 측정회선 접지를 분리하여 지전위차가 발생할 수 있는 조건에서 측정했기 때문에 높은 대지전위차가 발생 한 것이다.

1) 측정회로 1번

- 통신회선 중단 및 측정기 접지를 케이블 시스템 접지와 분리
- 비차폐케이블 시스템접지: 시단12[Ω]중단27[Ω]
- 차폐케이블 시스템접지 : 시단3.8[Ω]중단2.7[Ω]

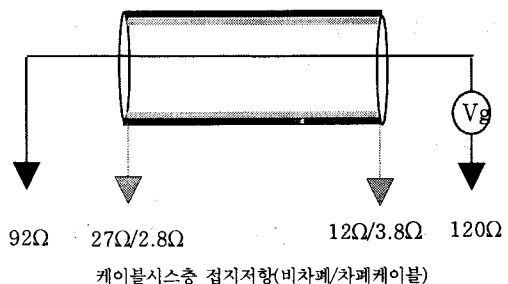


그림 3. 시험방법 1번  
Fig 3. Test method 1

2) 측정회로 3번

- 통신회선 종단접지와 측정기접지선을 케이블 시스템의 접지와 공동연결
- 측정기용 접지저항: 12 Ω/3.8Ω(비차폐/차폐케이블)
- 회선종단접지저항: 27Ω/2.8Ω (비차폐/차폐케이블)
- 일반케이블 시스템접지:시단 12[Ω]종단27[Ω]
- 차폐케이블 시스템접지:시단 3.8[Ω]종단2.7[Ω]

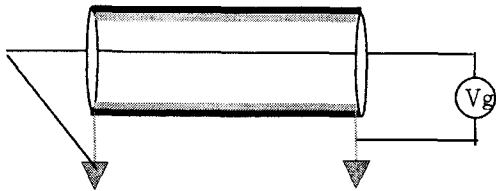


그림 4. 시험방법 3번  
Fig 4. Test method 3

3) 측정회로 4번

- 일반케이블 시스템접지 : 시단12[Ω] 종단27[Ω]
- 차폐케이블 시스템접지: 시단3.8[Ω]종단2.7[Ω]

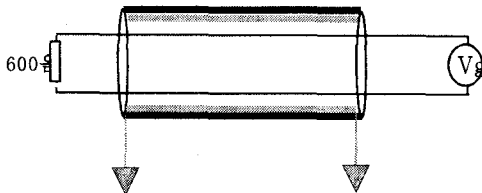


그림 5. 시험방법 4번  
Fig 5. Test method 4

4) 측정회로 6번

- 케이블 시스템 접지 제거
- 통신회선 종단접지와 케이블 시스템 접지 분리
- 측정기 접지와 케이블 시스템 접지 분리

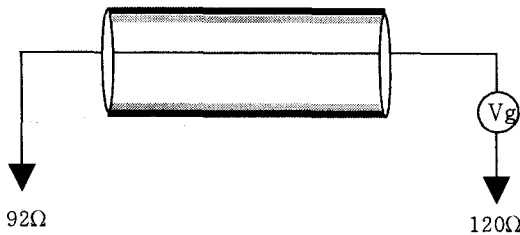


그림 6 시험방법 6  
Fig 6. Test method 6

3.2. 시험선 구간 사용 선로 측정

고속전철시험선 구간에 설치되어 있는 국내 통

신사의 실제 사용 선로를 기준으로 차폐효과가 발생할 수 있는 조건(중화코일 접지)과 접지선 제거 시 발생하는 유도전압을 측정하였으며 그 결과는 표4과 5와 같다.

3.1. 측정회로별 유도잡음전압 측정

1) 시험선 구간 의사선로 비차폐 일반케이블 [2]

표 2. 선간 및 선대지잡음전압  
Table 2. Interline and line-induced noise voltage

측정일	선간 잡음	선대지 잡음	시험 방법	측정 회수	비 고
01.2.20	0.07	1,969	1번	8	측정선번 17,23
01.2.19	0.07	309	3번	18	측정선번 5,11,17,23
01.2.20	0.20		4번	4	측정선번 17,23
01.2.20	0.03	442	5번	4	측정선번 17,23
01.2.20	0.12	2,695	6번	8	측정선번 17,23

2) 시험선 구간 의사선로 15% 차폐케이블[2]

표 3. 선간 및 선대지잡음전압  
Table 3. Interline and line-induced noise voltage

측정일	선간 잡음	선대지 잡음	시험 방법	측정 회수	비 고
01.2.20	0.07	1,969	1번	8	측정선번 17,23
01.2.19	0.07	309	3번	18	측정선번 5,11,17,23
01.2.20	0.20	-	4번	4	측정선번 17,23
01.2.20	0.12	2,695	6번	8	측정선번 17,23

3) 시험선 구간 사용선로 차폐접지 제거 시[3]

표 4. 선간 및 선대지잡음전압  
Table 4. Interline and line-induced noise voltage

측정 일	선간 잡음	선대지 잡음	시험 방법	측정 회수	비 고
01.7.4	0.055	2,737	6번	4	측정선번 C2-1718
01.7.4	0.05	2,521	6번	4	측정선번 C2-1711

4) 시험선 구간사용선로 차폐접지 시[3]

**표 5. 선간 및 선대지잡음전압**  
**Table 5. Interline and line-induced noise voltage**

측정일	선간 잡음	선대지 잡음	시험 방법	측정 회수	비 고
01.7.5	0.125	1,295	1번	2	측정선번 C2-1718
01.7.5	0.13	961	1번	2	측정선번 C2-1711

### 3.3. 측정 결과 분석

경부고속철도에서 사용하는 단권변압기 급전방식은 유도전압을 경감시키는 장점을 가지고 있는 설비이며 유도전압은 다음과 같은 원인에 의해 발생된다.

전차선에 공급된 전류가 급전선과 레일을 통하여 전량 귀로를 하면 유도전압이 발생하지 않으나 귀로 전류 중 일부가 대지로 누설되면 누설된 값만큼 전차선 전류와 귀로 전류에 차이가 발생하며 이 전류의 불평형이 유도전압을 발생시킨다.

$$\text{누설전류}(I_x) = \text{전차선 전류}(I_c) - (\text{급전선전류}(I_{pf}) + \text{레일전류}(I_r))$$

고속철도 시설은 전차선로나 고압배전선로 지락사고 시 대지전위의 상승으로 신호,통신,원격제어설비 등의 안전과 레일전위 상승을 억제하여 인명 및 설비의 안전을 도모하기 위한 접지 시스템을 기본적으로 구축하였기에 차량부하가 증가[800[A]]하여도 EN50122-1에서 권고하는 기준치 60[V] 이하의 조건을 만족하도록 기본적인 안전시설이 구축되어져 있다.[4]

이에 따라 누설전류에 의한 대지 전위는 당연히 발생하게 되며 대지 비저항이 클수록 대지전위차는 높게 발생한다.

식 1번을 적용하면 동일한 환경 조건에서 거리[m]에 비례하여 대지전위차가 발생하며 케이블 길이가 1300[m] 인 경우 두 지점의 전위차는 1300[mV] 가 발생하게 된다.

표 2와 표3의 측정 방법 6번에 나타난 전압은 유도전압 보다 대지전위차가 더 크게 측정 된 것이다.

표 4와 표5는 피 측정 케이블의 차폐접지(중화코일) 제거 전, 후 측정한 자료이다.

차폐접지가 제거 된 상태에서 선대지 잡음전압은 제거전 보다 두 배 이상 높은 전압이 나타나고 있으나 선간잡음전압은 오히려 1/2 크기로 낮은 전압이 계측되었다.[3]

그 외 측정전압을 분석하면 유도현상이 발생하지 않음

을 아래와 같이 증명할 수 있다.

1) 시험선 구간에서 측정한 유도전압의 크기를 분석한 결과 차폐케이블과 일반케이블의 유도 전압(시험방법 1번)이 0.07[mV] 동일하게 계측되었다.

○ 공칭차폐계수 적용 시 그 차이가 4배 이상 발생해야 한다.

- 비차폐일반케이블 차폐계수 : 0.6

- 15% 차폐케이블 차폐계수 : 0.15

○ 국내 통신회사의 주장은 53배의 차이가 발생한다고 주장한 것과 사뭇 다른 결과가 나왔다.[5]

$$-K3n(800\text{Hz차폐계수}) = \text{공칭차폐계수} * 60\text{Hz}/800\text{Hz}$$

$$\therefore K3n = 0.15 * 60[\text{Hz}]/800[\text{Hz}] = 0.01125$$

2) 고속전철의 복수 운행 시 유도되는 전압은 단수로 운행될 때 보다 부하 전류가 약 2배 가까이 증가하므로 페리데이 전자유도 법칙에 따라 유도 전압 역시 2배 가까이 증가하는 것이 정상이며, 당시 보고서에도 약 1.92배 증가하는 것으로 밝히고 있다.

2005년도 고속열차가 정상적인 운행 상태에서 측정 한 유도전압 측정 보고서에 따르면 단수 운행 또는 미 운행 시 발생된 최대 유도전압이 복수 운행 시 유도전압보다 더 크거나 같은 경우가 전체 74% 를 차지했고, 열차 미운행시 전압이 복수운행 시 보다 크거나 같은 경우가 41% 를 차지하는 비과학적인 결과가 나타났다.[6]

○ 단수운행과 복수운행 비교

**표 6. 열차 단수/복수운행 시 유도전압**  
**Table 6. Induced voltage of single and both way**

구분	단수>복수	단수=복수	단수<복수
측정건수	106건	210건	111건
백분율	25%	49%	26%

○ 미운행과 복수운행 시 비교

**표 7. 열차 단수/복수운행 시 유도전압**  
**Table 7. Induced voltage of single and both way**

구분	미운행>복수	미운행=복수	미운행<복수
측정건수	37건	138건	252건
백분율	9%	32%	59%

3) 열차 운행 시 실측된 선대지잡음전압 그래프[그림 7의 적색 표시]와 CCITT 및 한국과학기술원(KAIST) 용역 보고서의 등가방해전류그래프와 전혀 일치되지

않으며 등가방해전류(Amp.Km)가 흐르는 동안 유도전압이 발생되지 않는 것은 AT 변압기의 장점인 유도전압이 경감되었음을 증명하고 있다.

고속전차의 부하전류는 급전구간 40~50Km 주행할 동안 지속적으로 공급되므로 부하전류가 있는 한 전력유도현상은 지속적으로 발생해야 함에도 실제 측정된 그래프[그림8]는 측정지점 통과 시 순간적으로만 계속되어 전력유도현상에 의한 전압이 아님이 증명된다.[7]

4) 2001.2.21 동일한 측정 환경에서 열차 통과 전후 나타난 잠음 평형도는 61[dB](1/1122)에서 106.7[dB](1/216,271)까지 변동되었으며 전차선 전원을 단전시켰을 때 평형도는 약 40[dB](1/200)로 측정되었다.

통신 케이블의 잠음평형도는 전송로 1차 정수가 변동되지 않는 한 변동되지 않는 상수이며 1차 상수 중 주파수에 따라 변동되는 상수는 리액턴스(L)와 누설콘덕턴스(G) 상수로 고속전차 접근 시 주파수 증가로 평형도는 감소되는 것이 과학적인 원칙이다.

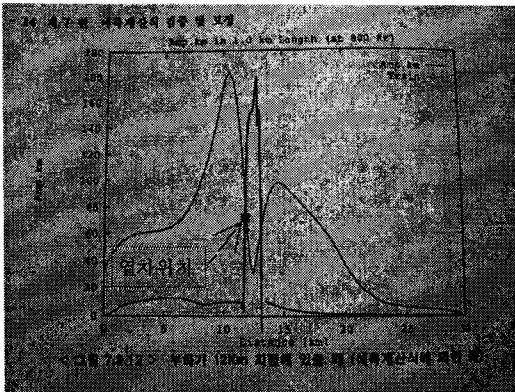


그림 7. 열차 위치별 유도전압 그래프  
Fig. 7. Induced voltage graph of train distance.

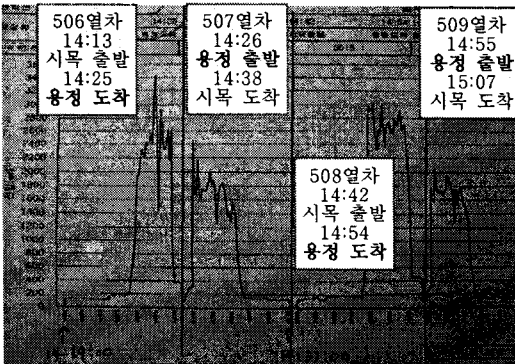


그림 8. 열차 운행시간별 유도전압 그래프 [8]  
Fig. 8. Induced voltage graph of train time scheduled.

그러나 당시 측정된 평형도 값은 고속전차 접근 시 주파수 및 선대지 유도전압이 최대가 되는 시점의 측정값은 최대 106[dB]까지 상승되었다가 열차가 통과된 직후 최저값으로 줄어드는 현상이 발생했으며 이와 같은 결과는 대지 전위 상승에 따른 계측 오차에 기인한 것으로 해석된다.

### 5.1. 측정방법에 따른 평형도 오차 발생

유도잡음전압 측정 시 측정기 내부 임피던스에 따라 계측 전압은 큰 차이로 오차가 발생한다.

당시 사용된 미티게이트 측정기는 선간 및 선대지전압 및 평형도를 동시에 측정하는 장비로 선간 잡음전압 측정 시 선대지간 100[KΩ]의 임피던스가 삽입되어 표준 측정기 보다 높은 선대지 잡음전압 및 평형도가 측정되었다.

1) 통신선로의 저항이 1[KΩ] E1-E2에 나타난 전압(유도전압 또는 대지전위차)이 2,000[mV] 인 경우 평형도 60[dB](1/1000)케이블의 선간 및 선대지잡음전압

○ 선대지간 100[KΩ]임피던스가 사용된 측정기

- 통신선에 분배된 전압

$$19.8[mV] = 2,000[mV] * 1000[\Omega] / 101,000[\Omega]$$

- 계측기 선대지전압

$$1980.2[mV] = 2,000[mV] * 100,000[\Omega] / 101,000[\Omega]$$

- 계측기 선간잡음전압 : 선간전압=종전압\*평형도

$$0.0198[mV] = 19.8[mV] * 1/1000$$

- 평형도 : 20log 선간잡음전압/선대지잡음전압

$$100[dB] = 20\log 0.0198[mV] / 1980.2[mV]$$

2) 선대지간 600[Ω]임피던스가 사용된 측정기(고시 기준 표준 측정법)

- 통신선에 분배된 전압 : 전압분배법칙

$$1250[mV] = 2,000[mV] * 1000[\Omega] / 1600[\Omega]$$

- 계측기 선대지전압 : 전압분배법칙

$$750[mV] = 2,000[mV] * 600[\Omega] / 1,600[\Omega]$$

- 계측기 선간잡음전압 : 선간전압=종전압\*평형도

$$0.75[mV] = 750[mV] * 1/1000$$

- 평형도 : 20log 선간잡음전압/선대지잡음전압

$$60[dB] = 20\log 0.75[mV] / 750[mV]$$

∴ KT에서 사용한 측정방법과 표준 측정법 사이 오차는 선대지전압이 2.64배 평형도 차이는 40dB 가 발생하였다.

이와 같은 오차는 계측기 임피던스에 의해 발생한 것으로 IEEE 문헌에서는 다음과 같은 공식을 적용하고 있으며 북미방식의 계측기는 100[KΩ] 임피던스를 사용하기 때문에 기존의 방식보다 100배(40dB)가 더해져

나타난다고 명시되어 있다. 따라서 상기 산식과 실험으로도 측정기기의 임피던스 차이에 따라 선대지잡음전압과 평형도 측정값이 표준 측정법 사용 시 나타난 값과 차이가 발생하고 있음을 산식으로 증명되었다.[9]

$$PI = Ng(\text{선대지전압}) + 40dB$$

## 5.2. 측정방법의 문제점

측정기기의 구비 조건은 정확도가 높고 오차가 작아야 하며 측정 환경은 외부 온도와 진동, 전자기적 간섭 등이 배제된 안정된 환경에서 측정하는 것이 기본이다.

KTX 전력유도대책에 사용된 측정법은 다음과 같은 환경에서 측정을 시행하므로 심각한 오차가 발생하게 되었다.

1) 표준 계측기가 아닌 비표준 측정기를 사용(미터계이트)으로 측정 오차 발생.

2) 대지전위가 발생하는 곳의 접지를 사용하므로 계측 오차 발생.

3) 통신회선의 누화잡음을 방지하기 위해 단말기 송출 신호의 크기와 측정용 회선수를 무시하고 선간잡음전압을 측정하므로 누화잡음에 의한 계측 오차 발생

4) 단말기 계측오차 범위의 전압을 측정값으로 인정  
- 계측장비의 평형도 최소 허용 값은 75dB로 선대지 잡음전압이 발생하는 곳에서는 계측기의 허용 오차 범위 내 전압은 그 신뢰도가 없으나 오차 범위 내 측정값을 참값으로 선택.

예) 선대지잡음전압 2000mV 인 경우 계측기 오차로 발생하는 선간잡음전압 산출

$$\text{선간전압} = \text{선대지전압} * \text{평형도}(75dB)$$

$$0.35mV = 2000mV * 1/5623$$

주) 통신회선의 잡음 평형도가 무한대라고 가정을 해도 계측 장비의 평형도에 의해 측정 장비에 선간잡음전압이 계측된다.

## 3. 결론

경부 및 호남 고속전철이 운행되면 전차선 주변에 설치되어 있는 통신용 회선에 전력유도잡음전압이 심각하게 발생할 것이라는 예측과 달리 유도전압은 발생되지 않았다.

표 1에서 나타난 차폐케이블과 비차폐 일반케이블에 측정된 선간잡음전압의 차이가 발생되지 않았고 특히 고속전차가 미운행 시 또는 단수 운행 시 측정된 유도전압이 복수열차 보다 높은 유도전압이 측정된 것은 과학적으로 있을 수 없는 일이므로 측정된 전압이 유도전압이 아닌 대지전위차(전압)가 측정되었음이 증명

되었다.

또한 고속철도 주변 전력유도대책이 세워진 케이블을 대상으로 차폐 접지를 제거하는 실험을 한 결과 케이블 시스템에 의한 등전위 본딩이 차단되므로 선대지잡음전압은 2배 이상 증가 하였으나 선간 잡음전압은 오히려 1/2 로 감소되었다. 이와 같은 사실은 시스템에 흐르는 차폐전류가 차단되면 선간유도잡음전압이 상승되는 일반적인 원리와 상반 되는 것으로 전력유도를 유발시키는 불평형 전류 보다 지전위차에 의해 흐르는 시스템 전류가 더 크기 때문에 잡음전압이 증가되는 것이 표5에서 증명되었다.

따라서 고속철도 인접한 곳의 통신케이블은 시스템에 지전류가 많이 흐르는 차폐 케이블보다 일반케이블을 그대로 사용하는 것이 잡음피해를 보다 줄일 수 있음이 실험 결과로 확인 되었다.

## 참 고 문 헌

- [1] 한국고속철도건설공단, 경부고속철도 통신유도대책 및 전자파장해대책 설계 유도전압 측정. 검토보고서, pp. 6, 2001.7
- [2] 한국고속철도건설공단, 경부고속철도 통신유도대책 및 전자파장해대책 설계 유도전압 측정. 검토보고서, pp 25~49, 2001.7 [2] 한국고속철도건설공단, 경부고속철도 통신유도대책 및 전자파장해대책 설계 유도전압 측정. 검토보고서, 부록14, 2001.7
- [3] 한국고속철도건설공단, 경부고속철도 통신유도대책 및 전자파장해대책 설계 유도전압측정(한국통신 선로 보고서), pp16~19, 2001.7
- [4] 창상훈, 교류전기철도 접지시스템 연구, KRRI, 연구 01-59, pp.4
- [5] 이종근 역, 유도, 상권, pp 153~154, 2005.
- [6] KT 망관리/지원단, 고속철도운행구간 유도전압측정 종합관리 및 분석용역 유도측정 종합분석보고서, 부록 8-10~8-24, 2005.2
- [7] 한국과학기술원, 통신유도전압 예측계산표준 설계 최종보고서, 제7편 pp.7-14, 1993.10
- [8] 한국고속철도건설공단, 경부고속철도 통신유도대책 및 전자파장해대책 설계 유도전압측정(한국통신 선로 보고서), 붙임5-1, 2001.7
- [9] Whitham D. Reeve, Subscriber Loop signaling & Transmission Handbook IEEE Telecommunications Handbook Series, pp.214~215