

고속철도에 의한 통신회선 잡음전압 발생 원인 고찰

A Study on Causes Generating Induced Noise Voltage on Telecommunications Cables Near to High-speed Rails

여상근[†] · 박찬원* · 김정태**

Sang-Kun Yeo · Chan-Won Park · Chong-Tae Kim

Abstract The study aims at verifying no generation of electrical power induced noise voltage on telecommunication lineside cable by analyzing the practical findings of noise voltage produced at the telecommunication lines in the vicinity of electrified high-speed railways like KTX, while proposing to make the current standard measurement circuit along with its measuring conditions revised in compliance with international ITU-T recommendations by identifiably finding out the present problems in balance level measuring instruments as well as their errors in the measurement method now applicable by local telecommunications companies and the Radio Research Laboratory.

Keywords : Ground Potential Rise, Differential mode noise, Common mode noise, Balance

요 지 본 논문은 고속철도 주변 통신회선에 발생하는 잡음전압의 실제 파악을 통해 전력유도잡음전압이 발생하지 않는 것을 증명하였으며, 국내통신회사 및 전파연구소에서 사용하고 있는 평형도 측정에서의 문제점과 계측 오류를 규명하며 표준 측정회로와 측정 조건을 ITU-T 국제 기준에 맞도록 개정할 것을 제안한다.

주요어 : 대지전위 상승, 선간잡음전압, 선대지잡음전압, 평형도

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

경부고속철도 및 호남선 전철화 구간에 투입된 통신유도 대책 비용이 약 1,207억 원이 투입되었으며 향후 경부고속철도 2단계 및 호남고속철도 신선구간 전력유도대책 사업에 추가로 천억 원이 넘는 국가 예산이 투입될 전망이다.

본 논문은 막대한 국가 예산이 투입되고 있는 고속철도 전력유도대책사업의 효율성과 타당성 검토를 위해 고속철도와 병행하는 통신선의 실측 유도전압 분석을 통해 그동안 일반적으로 알려져 있는 “AT 급전방식은 유도전압 경감 효과가 탁월하다”는 이론을 보다 정량적으로 파악하였다. 유도장해는 인체에 위험을 주는 장해와 통신기기의 소손을 발

생시키는 기본파(상용주파수)의 유도전압과 유선전화에 장해를 주는 잡음전압 등이 있으나 본 논문은 “경부고속철도 통신유도대책 및 전자파장해대책설계”의 주 대상인 통신회선 유도잡음전압으로 제한하였다.

유도잡음전압 발생 정도와 차폐대책 전, 후 경감효과를 파악하기 위해 실제 사용 중인 통신회선과 Pilot 회선을 사용하였으며, 측정방법은 국내 기준인 정보통신부 고시 제 2003-6호와 국제전기통신연합 권고 기준인 ITU-T K.10의 측정기준을 준수하여 고속철도변에서 최대 유도전압이 발생할 수 있는 조건에서도 유도전압이 발생되지 않는 것을 입증하였다.

이와 같은 조사결과는 고속철도 관련 기관이 2001년도부터 2005년도까지 실제 운용중인 통신회선 실측 자료에서도 전차선의 부하전류 크기와 비례관계가 형성되지 않는 잡음전압이 측정되어 유도전압의 실체가 패러데이전자유도법칙에 의해 발생된 유도전압이 아님을 증명하였다[1].

또한 전력유도 피해 방지를 위해 케이블 차폐접지를 실시한 곳이 대부분 레일 접지 개소의 저항구역에 설치되어

[†] 책임저자 : 재원엔지니어링, 설계부, 기술부장
E-mail : skyeo106@hanmail.net

TEL : 02-469-6234~5 FAX : 02-469-6236

* 강원대학교, 전기전자공학부, 교수

** 한국항공대학교 전자/정보통신공학부 겸임교수

열차 통과 시 레일 누설전류에 의한 대지전위 상승전압이 인접차폐케이블 접지에 간섭을 주어 잡음전압이 오히려 증가하는 것을 실측을 통해 확인할 수 있었다.

이와 같은 현상은 KTX 전력유도대책팀이 2001.2부터 2001.7사이 조사한 실측자료에 잘 나타나 있으며 한국철도 시설공단이 2006.10.20 국정감사 현장조사에서도 차폐접지가 된 통신회선이 비차폐 일반 회선보다 잡음전압이 더 높게 측정되었다.

또한 잡음전압 측정 시 국내 고시 및 ITU-T 국제권고 기준에 따른 표준선간잡음전압 측정 방법을 사용할 경우 대부분의 유도잡음전압은 측정기기의 하한치인 0.0775mV 이하로 유도전압이 계측되지 않았으나 국내 통신회사 등 전력유도 대책팀은 이와 같은 표준측정 방법을 사용하지 않고 선간 및 선대지잡음전압을 동시에 측정하는 평형도 측정방법을 사용하면서 가장 중요한 측정 지점 양단을 등전위로 구성하거나 대지 전위를 0V로 하는 측정 조건을 준수하지 않아 레일누설전류에 의해 발생한 대지전위 상승전압이 유도전압 측정값에 포함되어 심각한 계측 오차가 발생하였음을 확인할 수 있었다.

이와 같은 계측 오류가 발생한 원인은 ITU-T 권고 기준과 달리 국내 고시기준은 측정 조건이 명시되지 않아 계측 오류가 발생한 것으로 파악되었다.

본 논문은 고속철도와 병행하는 통신선로에 유도전압이 발생되지 않는 실측결과와 차폐대책 시 잡음전압이 오히려 증가하는 원인을 과학적인 이론과 실측결과를 바탕으로 향후 1,000억 원 이상 국가 예산이 투입될 예정인 경부고속철도 2단계 신선구간 및 호남선 신선구간에 대한 전력유도 대책공사를 재검토 할 것과 ITU-T 국제권고 기준에는 있으나 국내 고시기준에 누락된 측정조건과 측정기기 임피던스를 구체적으로 명시하여 계측오류를 사전에 차단할 수 있도록 고시 개정을 제안한다.

2. 본 론

2.1 전력유도장애방지 대책의 법적 근거

전력유도잡음전압의 제한치 법적 기준은 “국제통신연합의 통신부문(ITU-T)표준화 권고 기준”과 “전기통신설비의 기술 기준에 관한 규칙 제9조 2항 4호”에 의거 “잡음전압이 1mV를 초과하거나 초과할 우려가 있는 경우에는 전력유도 방지 조치”를 하도록 규정되어 있으며 정보통신부고시 제2003-6호는 제한치 1mV는 “선간잡음전압”으로 명시하고 있다.

2.2 고속철도 전력유도 대책 기준

우리나라 법령에서 제시하고 있는 전력유도전압의 제한치

는 3가지로 나누어져 있다.

인명의 안전과 설비 보호 목적으로 ‘사고시 위험전압 430V’와 ‘상시유도전압 60V’로 나누고 있으며, 통신회선의 잡음피해 방지를 위한 ‘잡음전압’은 1mV로 제한하고 있다.

본 논문은 고속철도 전력유도 대책 공사를 실시하게 된 주된 목적인 ‘잡음전압’에 대한 고찰로 연구 범위를 제한하였다.

‘사고시 위험전압’과 ‘상시유도전압’은 지락사고 시 대지전위의 상승으로 신호, 통신, 원격제어설비 등의 안전과 레일전위 상승을 억제하여 인명 및 설비의 안전을 도모하기 위해 접지 시스템을 기본적으로 구축하였기에 차량부하가 증가(800A)하여도 EN50122-1에서 권고하는 기준치 60V 이하의 조건을 만족하도록 기본적인 안전시설이 구축되어져 있다[2].

2.3 전력유도잡음전압 예측계산식의 정확성 검토

고속철도에 의한 전력유도 방지를 위해 정보통신부 고시 제2003-5호 『전력유도의 구체적 산출방법에 대한 기술기준』에 의거 예측계산식으로 산출한 값이 제한치를 초과하게 되면 통신시설에 대한 유도방지 대책공사를 사전에 실시한다.

사전 대책은 예측 계산식의 정확성 여부에 따라 과잉 또는 과소 대책의 소지가 있기 때문에 예측계산식의 정확도를 우선 검증해야 한다.

우리나라는 프랑스 국영철도회사에서 사용하는 Pilot 선로와 동일한 시험선로를 구축하여 2001.2 고속열차 시험 운행 구간에서 통신회선 유도전압을 실측하면서 예측계산값과 실측값을 비교 측정하였다.

이 실험결과를 통해 다음과 같은 중요한 사항이 확인되었다.

(1) 프랑스는 대책 전 예측계산값과 실측값의 차이가 약 2~3배 밖에 발생하지 않았으나 KTX 시험선 구간은 예측계산치가 실측치 대비 최소 48배, 최대 116배 까지 높게 측정되었다[3].

(2) 대책 공사를 한 차폐 15% 케이블이 대책을 하지 않은 일반케이블 보다 잡음전압이 더 높게 발생하거나 차폐 효과가 없음이 확인되었다[4].

2.4 전력유도 대책 공사의 무효성 확인

전력유도대책공사는 막대한 예산을 들여 일반케이블을 차폐케이블로 대체하며 케이블 양단 접지저항을 2옴 이하로 낮추는 작업으로 유도전압이 발생한다면 차폐케이블이 일반케이블 보다 약 1/4(고시기준)~약 1/16(공단 협정서 기준)로 감소되어야 함에도 2001.2~2001.7 사이 조사한 대부분

의 자료는 차폐케이블의 잡음전압이 더 높거나 차폐효과가 발생되지 않았다.

이와 같은 실측결과로 AT 급전방식의 전력유도경감효과를 정량적으로 파악할 수 있었고 또한 고속철도에 의한 전력유도잡음전압이 당초 예측과 달리 통신회선에 발생되지 않는 사실을 확인할 수 있었다.

• 철도시설에 의한 유도전압 경감

- 1) AT 급전시스템 사용
- 2) 고조파 잡음 억제 필터 사용
- 3) 귀선로 저임피던스 회로 사용

• 통신시설에 의한 유도전압 경감

- 1) 케이블 심선을 알루미늄으로 랩핑 및 접지
- 2) 통신회선 트위스트 및 케이블 콤비널 연가 처리

2.5 고속철도 운행구간 실측 유도잡음전압

2.5.1 1차 측정

전력유도에 대한 차폐효과가 전혀 없는 1회선용 점퍼선을 고속열차 운행구간에 설치한 후 정보통신부고시 제2003-6호의 표준 시험방법에 따라 열차 통과 전, 후 선간잡음전압은 표 1과 같다.

• 측정 환경

- 측정장소 : 경북칠곡군 지천면 신동리 고속철도 고가교
- 전차선과 통신선 이격거리 : 15m
- 병행거리 : 900m
- 측정기명 : Ameritec AM-48 Transmission Impairment Test Set(Ameritec사제품)

Table 1. Maximum Differential mode noise voltage

측정일	잡음전압	측정회수	비 고
2004.4.21	Under Level	12회	Under Level : 0.0775mV 미만
2004.6.10	"	8회	

• 측정자 : 논문저자 및 통신회사 직원 공동측정

이와 같은 측정결과는 고속철도전력유도 대책팀이 2001.2.21 측정한 표 5의 실험결과와 일치하고 있다.

2.5.2 2차 측정

선대지잡음전압의 실체를 파악하기 위해 ITU-T Rec. K.10 측정방법에 따라 외부 도체를 보조도체로 사용한 경우와 대지를 사용한 경우를 비교 측정하였으며 측정결과는

표 2와 같다.

• 측정 환경

- 측정장소 : 대구시 수성구 만촌동 2군사 옆
- 레일과 통신선 평균 이격거리 : 4m
- 병행거리 : 600m
- 측정회선 : 점퍼선 600m
- 보조접지선 : 점퍼선 600m
- 보조접지선과 측정회선 이격거리 : 10m

• 측정 결과

대지를 기준 도체로 사용한 경우 선대지잡음전압은 2,000mV 이상 높은 잡음전압이 계측되었으나 Reference 도체를 사용, 기준전위를 0V로 한 경우 선대지잡음전압은 Under Level로 유도잡음전압이 측정되지 않았다.

Table 2. Maximum Differential mode and Commonmode Noise voltage

측정일	잡음전압(mV)		측정회수	기준도체
	선간	선대지		
2006.3.1	Under	1,200	12회	대지
2006.3.2	"	2,300	8회	
2006.6.6	"	Under	6회	점퍼선

2.5.3 3차 측정(국정감사)

고속철도시설공단이 2006.10.20 대전시 갑천 둔치에서 비차폐 일반케이블 25p 1조와 점퍼선 2회선을 포설한 후 측정회로별 잡음전압을 비교 측정하였으며 그 결과는 표 3과 4와 같다.

• 측정 환경

- 측정장소 : 대전시 갑천 둔치
- 전차선과 통신선 평균 이격거리 : 35~50m
- 병행거리 : 1300m
- 측정회선 : 25회선용 비차폐 일반케이블 및 점퍼선

• 측정기별 측정회로

- AM-48 측정기 : 선간잡음전압 측정회로
- 미터게이터 잡음전압측정기 : 평형도 측정회로 이용 선간, 선대지잡음전압 및 평형도 동시 측정

• 측정자 : 한국철도시설공단 3명 및 논문저자

- 입회자 : 국회의원 10여명 및 학계 전문가

• 대지전위차에 의한 계측 오류 증명

표 3의 측정 결과에 따르면 동일 케이블에 수용된 회선이 측정방법에 따라 심각한 계측 오차가 발생한 것을 확인할 수 있다. 표준 측정법을 사용한 C5번 대비 비표준 측정법을 사용한 C17번의 선간잡음전압이 63배~81배 높게 측정되었고 차폐효과가 있는 C17번 회선이 비차폐 회선 J1보다 측정전압이 더 높게 측정된 것은 측정방법에 문제점이 있음을 단적으로 보여주고 있다.

Table 3. Maximum Differential and common Mode voltage

측 정 시 간	미티게이트				AM-48		비고
	선간(mV)		선대지(mV)		선간(mV)		
	J1	C17	J1	C17	J2	C5	
11:49~11:53	3.34	4.46		1,362		0.07	교행
12:02~12:06	2.98	4.78		1,414		0.07	교행
12:10~12:13	4.67	5.68		2,261		0.07	하행
14:29~14:31	3.75					0.07	하행
14:50~14:55	5.55					0.07	하행 두대

Table 4. Variation of Balance Level

측 정 시 간	일반 C17번 평형도(dB)			열 차 운 행
	최대	최소	편차	
11:49~11:53	57.9	48	9.9	교행
12:02~12:06	63.6	38.4	25.2	교행
12:10~12:13	67.6	34.7	32.9	하행

전차선에 의한 유도전압이 발생했다면 차폐효과가 전혀 없는 점퍼선(J2)이 일반 케이블(C5)보다 약 1.7배 높은 선간잡음전압이 측정되어야 함에도 표 3과 같이 그 차이가 발생하지 않고 오히려 더 낮은 Under Level(0.0775mV 미만으로 측정기 최 하한치)로 측정되었다.

표 3과 같이 동일한 조건과 환경에서 측정한 통신회선의 선간 잡음전압의 차이가 최소 53배 이상 발생한 원인은 대지를 하나의 도체로 활용하는 미티게이트 측정기를 사용하면서 측정기 접지 전위를 반드시 0V로 해야 하는 측정 조건을 준수하지 않아 대지전위차가 선간잡음전압에 포함되어 계측 오류가 발생하였음을 아래와 같이 증명하였다.

- AM-48 잡음전압측정기
 선간잡음전압 = (L1 - L2) (1)

- 미티게이트 잡음전압측정기

$$\begin{aligned} \text{선간잡음전압} &= [(L1 - G1) - (L2 - G2)] \\ &= (L1 - L2) + (G2 - G1) \end{aligned} \quad (2)$$

• 대지전위차에 의한 평형도 변동 확인

표 4는 동일환경,동일한 회선에서 평형도가 3초 사이 34.7~67.6dB로 급변하며 편차가 32.9dB 발생하는 비과학적인 현상을 보여주고 있다.

- 동일 회선(일반 17번)의 평형도가 2~3분 사이 32dB(39배) 편차 발생

- 측정 당일 10번 회선의 평형도 편차는 40~45dB(100배~177배)까지 변동되는 계측 오차 발생.

• 측정회로 구성 방법에 따라 선간잡음전압 편차 발생

고속철도전력유도대책팀이 선간잡음전압을 측정할 때 사용한 회로는 고시에 규정된 『선간잡음전압 측정회로』를 사용하지 않고 그림 1과 같은 평형도 측정회로를 사용하였다.

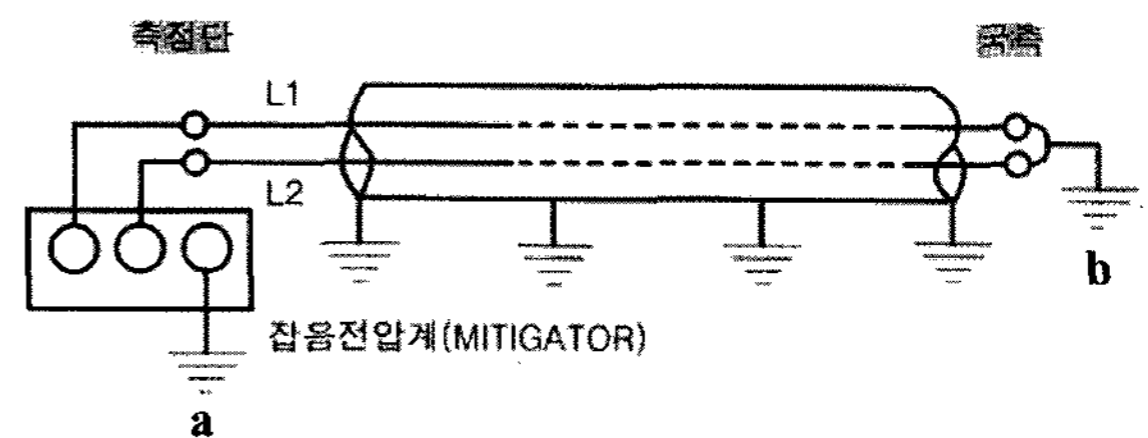


Fig. 1. Measurement circuit

당시 측정 관계자들은 6가지의 시험방법 중 그림 1과 같은 비표준 시험방법을 가장 합리적인 시험방법으로 선정하였으며 그 이후 모든 측정은 시험방법 1번을 사용하였다[5].

국내 고시기준 및 ITU-T K.10 평형도 표준 측정회로는 대지 전위가 0V가 되는 조건에서 측정하도록 규정하고 있으므로 그림 1의 모든 접지지점은 등전위가 되도록 구성해야 함에도 대지전위차가 최대로 많이 발생할 수 있도록 측정기 접지와 케이블 시스템 접지지점을 30m 이상 이격시키는 등 비표준 측정방법을 사용하였다.

표 5는 측정회로 접지 구성 방법에 따라 선대지잡음전압이 변동되고 있음을 보여주고 있다[6].

Table 5. Noise voltage per standard/non-standard circuits

시험방법	잡음전압 평균(mV)		측정 회수	측정선번	측정일
	선간	선-대지간			
1번	0.065	1,616	12	5,11,17,23	2.21
3번	0.065	309	18	5,11,17,23	2.19

표 5의 시험방법 3번은 a, b 접지점을 케이블 시스템 접지에 연결시켜 표준 평형도 시험방법과 가장 유사한 측정 방법을 사용하였기 때문에 선대지잡음전압이 1번 시험방법 대비 약 1/5감소된 것을 확인할 수 있다.

2.6 고속철도 시험선 구간 실측 유도잡음전압

2.6.1 Pilot 통신선로 실측 결과

KTX 전력유도 합동조사팀이 2001.2.27 고속철도 시험선 구간에서 다음과 같은 비교 시험을 실시하였다[7].

- 1) 차폐/비차폐 케이블의 잡음전압 및 평형도
- 2) 전차선 전원 차단 전후 잡음전압 및 평형도
- 3) 표준/비표준 측정회로별 잡음전압

Table 6. Armor/Unarmor Cable Noise voltage and Balance

구 분	잡음전압 평균(mV)		평형도	측정 회수	전차선 전원
	선 간	선-대지			
비차폐	0.051	186	71.2	125	On
차폐	1-19번	0.048	69.6	95	On
	20-25번	0.043	48.8	30	Off

차폐케이블 1번에서 19번까지의 측정값은 전차선 전원이 투입된 상태에서 측정된 값이며 20번부터 25번 사이 측정값은 당일 16:00시 이후 전차선의 전원이 단전된 상태에서 측정된 잡음전압이다.

표 6과 같이 전차선 전원이 단전된 상태와 열차운행 시 측정된 선간잡음전압을 비교할 경우 정상적인 유도전압은 키로히호프 법칙에 따라 선대지간 흐르는 전류가 감소하면 선간에 흐르는 전류도 감소해야 함에도 비례 관계가 성립되지 않는 것과 차폐 및 비차폐케이블간 차폐효과가 없는 것은 전자유도현상이 발생되지 않는 사실을 보여주며, 전차선 전원 단전으로 선대지전압이 감소되자 평형도가 급격히 줄어든 것은 측정회로가 대지전위차의 간섭을 받았음을 입증하고 있다.

평형도는 통신회선의 R,C,L,G에 의해 결정되는 물리적인 상수로서 주파수 변동에 따라 약간의 변동은 발생할 수 있으나 선대지잡음전압 크기에 비례하여 변동되는 변수가 아님에도 표 4와 표 6의 실측결과는 선대지잡음전압에 비례하여 평형도 값이 급격하게 변동되는 것을 보여주는 반면 표 12는 선대지전압과 평형도 크기가 비례하지 않는 것을 보여 주고 있다.

표 11은 선대지전압 크기에 평형도가 변동되지 않음을 관련 공식으로 입증하였다.

따라서 표 4의 열차 통과 전후 3초 사이 평형도 값이 1/54에서 1/2,398까지 급변하는 것과 표 6의 전차선 전원 단

전으로 대지전위가 감소하자 선대지잡음전압 역시 감소되어 평형도가 급격히 나빠지는 (1/275) 것을 보여주고 있다. 이와 같은 측정 결과는 측정기 접지의 기준 전위가 0V가 아닌 비정상적인 조건에서 측정되었음을 보여주고 있다.

2.6.2. 시험선 구간 통신선로 유도전압 실측 결과

KTX 전력유도 합동조사팀은 2001.7.4, KTX 고속전차 시험 운행 구간에 실제 사용 중인 국내 통신회사의 케이블을 이용하여 차폐접지 연결 전, 후 잡음전압 및 평형도를 실측하였으며 측정 평균값은 표 7과 같다[8].

위 실험에서 유도중화코일의 차폐접지를 제거하면 차폐효과 상실로 선간유도잡음전압이 약 9배 증가해야 함에도 오히려 2.4배 감소된 비과학적인 결과가 나타났다.

Table 7. Noise voltage and Balance level before and after Shield ground

구 분	선간 잡음	선대지 잡음	차폐 접지	평형도 (dB)	측정회수
비차폐	0.052	2,629	제거	88	8회
차폐	0.127	1,128	연결	75	4회

이와 같은 결과는 중화코일 접지점의 전위차에 의해 발생된 전류가 중화코일에 흘러 선간잡음전압이 오히려 증가한 것을 보여주고 있다. 표 7은 선대지잡음전압이 증가할수록 평형도가 증가하는 비과학적인 결과를 보여주고 있다.

2.6.3 고속철도 운행구간 유도전압 실측

고속열차 복수 운행 시 유도되는 전압은 단일 열차 운행 시 보다 부하 전류가 약 2배 가까이 증가하므로 패러데이 전자유도 법칙에 따라 유도 전압 역시 2배 가까이 증가해야 한다. 그러나 국내 모 통신회사가 2005년도 측정한 전국 700개소 유도전압 측정 보고서 중 경부선 열차가 상, 하행 동시 운행한 427개소 측정 데이터를 분석한 결과 표 8과 같이 단일열차 운행 시 선간잡음전압이 복수운행 시 보다 더 크거나 같은 경우가 전체 74%를 차지하고 있으며, 표 9는 열차 미운행 시 선간잡음전압이 복수열차 운행 시 선간잡음전압 보다 더 크거나 같은 구간이 전체 41%를 차지하는 것은 전자유도법칙에 위배되므로 고속열차 운행에 따른 유도현상이 발생되지 않음을 실측데이터로 증명할 수 있었다[9].

Table 8. Induced voltage of the single and both way train

구 분	단일>복수	단일=복수	단일<복수
측정건수	106건	210건	111건
백분율	25%	49%	26%

Table 9. Induced voltage of the both way train

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

또한 동 보고서의 자료에 의하면 대부분의 잡음전압이 타 유도원에 의한 잡음전압이라고 기록되어 있다[10].

따라서 고속철도 주변 통신회선에 나타난 잡음전압은 유도전압과 무관한 것이 입증되었다.

2.7 고속철도변 통신회선에 나타난 선-대지간 잡음전압의 실제

고속철도 레일은 열차 통과 시 레일 누설 전류가 매설점에 흐르면 옴의 법칙에 따라 레일 주변은 대지전위가 상승하게 된다. 이와 같은 원리에 따라 열차 통과 시 레일 주변은 그림 2와 같은 레일 및 대지 전위가 발생한다[11].

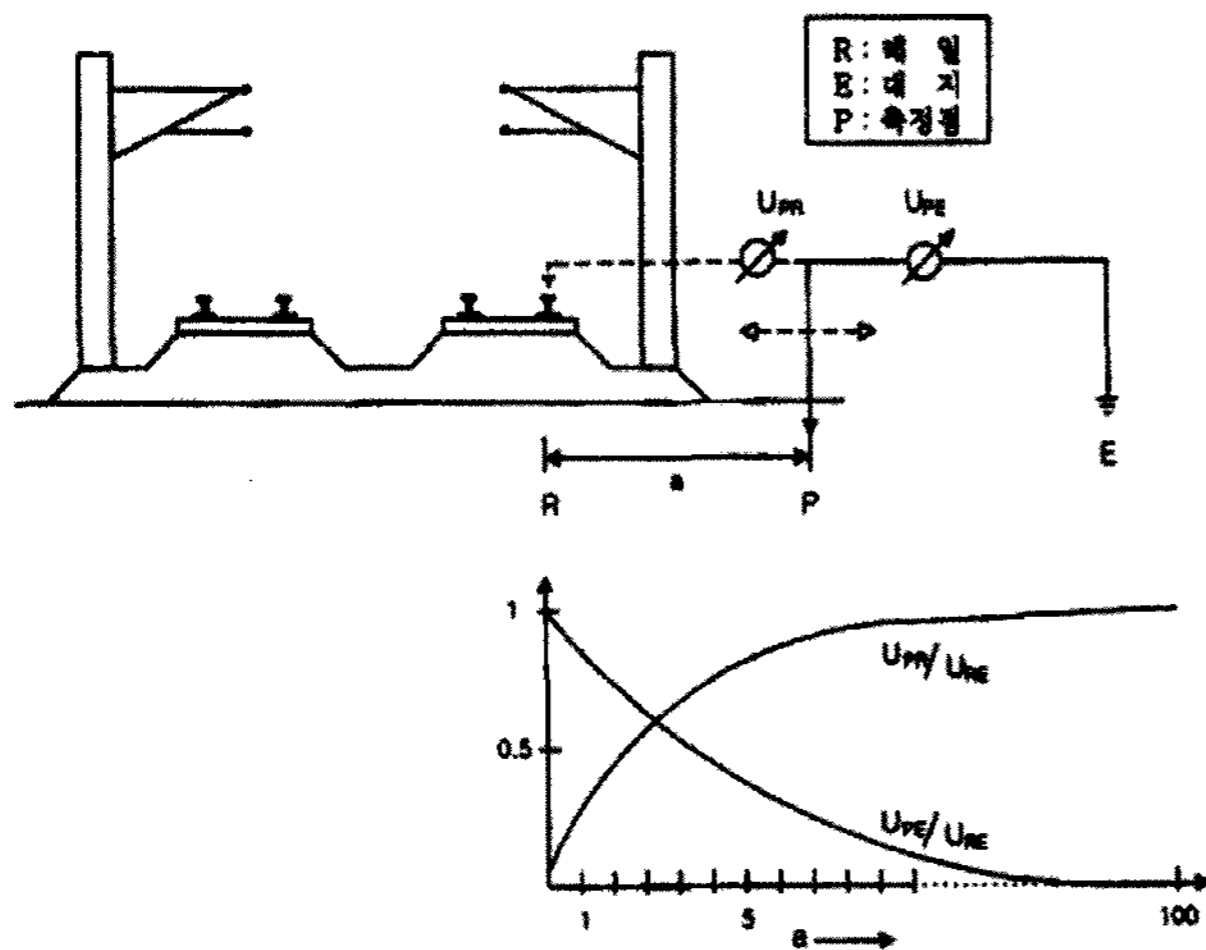


Fig. 2. Rail contact voltage and Near ground potential

고속철도 주변 통신회선에 계측되는 선대지잡음전압의 실체를 파악하기 위해 패러데이 전자 유도 법칙이 성립되는 병행(수평)구간과 전차선의 자속이 쇄교되지 않아 유도전압이 발생되지 않는 수직구간(그림 2의 P-E간)에 측정용 회선을 그림 3과 같이 구성하였다.

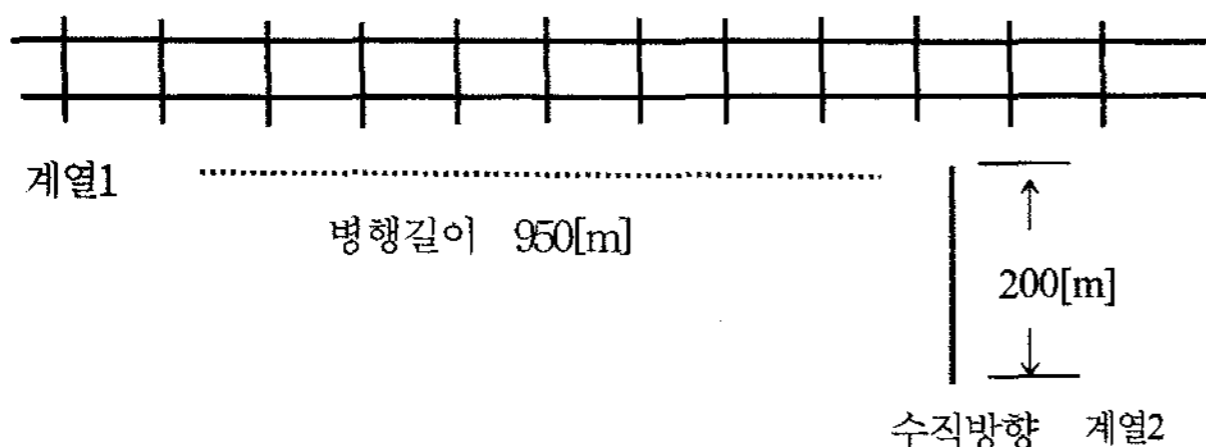


Fig. 3. Measurement circuit diagram

측정회선을 그림 3과 같이 구성 후 열차 통과 시 잡음전압을 동시에 측정한 결과 그림 4와 같이 열차 통과 전, 후 1분 00초부터 1분52초 사이 약 52초간 수직방향과 수평방향에 비슷한 크기의 선대지전압이 측정되었다.

- 측정 환경
 - 측정일 : 2006. 8. 4
 - 측정장소 : 충북 청원군 강외면 오송교
 - 레일과 통신선 수평 이격거리 : 15m
 - 수평구간 병행길이 : 4p UTP 950m
 - 수직구간 측정회선 길이 : 점퍼선 200m
- 측정 및 입회자
 - 측정자 : 저자 외 학계 전문가 3명
 - 입회자 : KBS 방송관계자 3명

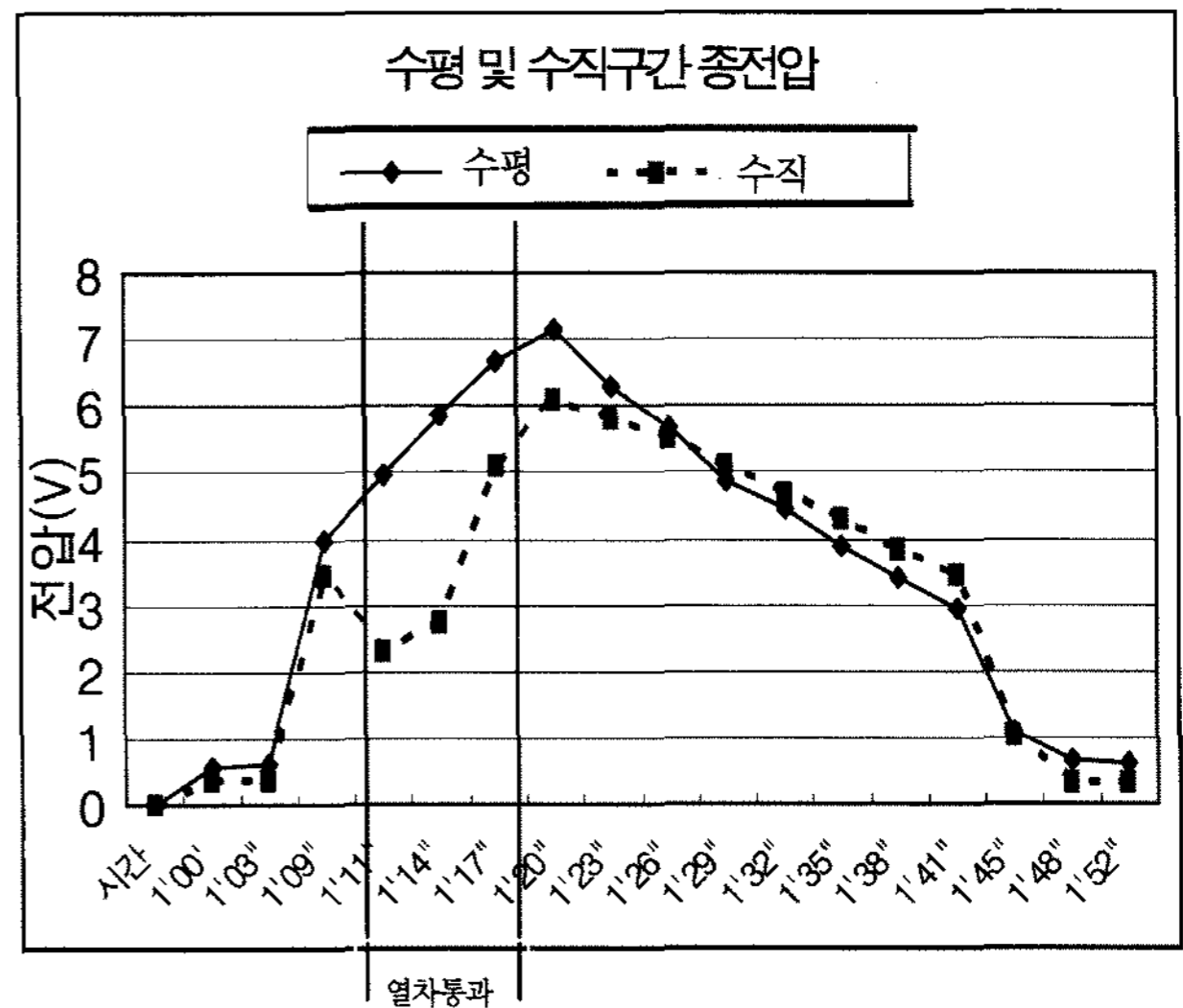


Fig. 4. Common mode voltage of communicationline paral and vertical to the rail

열차가 측정 지점을 통과하는 소요시간은 약 7초로서 열차 길이와 통과시간을 환산한 결과 당시 열차 운행 속도는 시속 약 280~290km로 통과하였으며 병행구간에 나타난 전압은 열차의 위치가 측정지점 700m 전방부터 전압이 급격히 상승하였다가 측정지점 후방 약 2km 지점을 통과하면 선대지전압은 1V 이하 기저 레벨로 급격히 떨어졌다.

위 표 2부터 표 7까지 측정된 모든 전압의 형태는 그림 4와 같은 모양을 갖추고 있으며 측정된 대부분의 선대지잡음전압은 열차가 측정지점 통과 전후 약 1~2분 동안 순간적으로 발생했다가 사라지므로 전차선에 의해 발생된 유도전압이 아닌 것이 입증되었다. 또한 그림 4와 같이 레일과 수직구간은 전차선의 자기장이 통신선과 쇄교하지 않아 유

도전압이 발생되지 않아야 함에도 병행구간과 유사한 전압이 측정된 것은 레일 누설전류에 의해 발생된 대지전위차임을 증명하고 있다.

2.8 케이블 차폐접지 연결 전,후 잡음전압 비교

경부고속철도 전력유도대책팀은 위 2.6.2항과 같이 차폐대책 전, 후 유도잡음전압을 비교 측정하였다.

표 7의 실험결과에 따르면 차폐 대책을 한 상태의 선간잡음전압이 차폐대책을 하지 않았을 때 보다 선간잡음전압은 증가하고 선대지잡음전압은 감소하였다. 차폐대책 공사의 주목적은 선간잡음전압을 제한치 1mV 이하로 감소시키는데 있고 동 구간에 실시한 차폐대책은 유도중화코일을 사용했기 때문에 정상적인 유도전압이 발생했다면 차폐계수 크기(0.1)만큼 선간잡음전압이 90% 감소되어야 함에도 대책 후 (차폐접지 연결)선간잡음전압이 오히려 약 2.4배 증가하였다.

이와 같은 비과학적인 결과는 그림 5와 같이 지전위차가 발생하는 측정 지점 양단에 차폐층 접지 S1, S2를 연결하면 케이블 시스템이 측정지점 양단을 등전위로 연결시키는 역할을 하므로 선대지잡음전압은 감소하나 선간잡음전압은 지전위차에 의해 발생된 전류가 시스템에 흐르면서 또 다른 전자유도현상을 발생시켜 표 10과 같이 선간잡음전압이 증가하게 된다.

패러데이전자유도법칙에 따라 발생된 유도전압은 키로히호프 법칙에 의거 선간 및 선대지전압은 반드시 비례관계가 형성되어야 함에도 대지전위차의 영향으로 비과학적인 결과가 나타난 것이다.

그림 5와 6은 정상적인 차폐 원리로 유도전압이 감소된 것이 아니라 케이블 시스템이 측정회로 양단에 연결되면 전압강하 법칙에 따라 선대지잡음전압이 감소되는 것을 이론적으로 증명하였다.

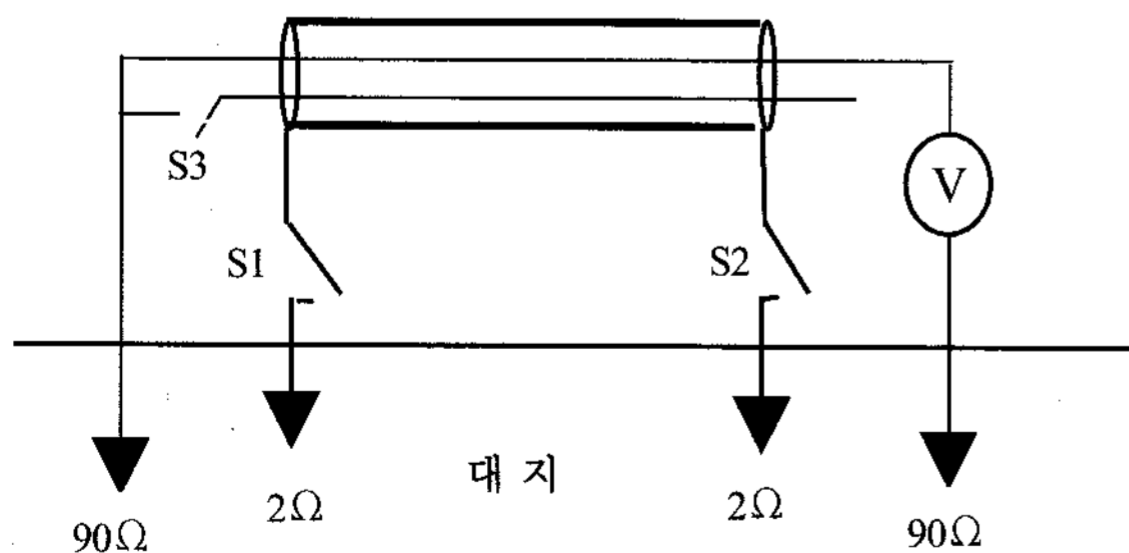


Fig. 5. Common mode noise voltage measurement method

그림 6은 선대지잡음전압 측정시 차폐층 연결 전후를 나타낸 등가회로이다.

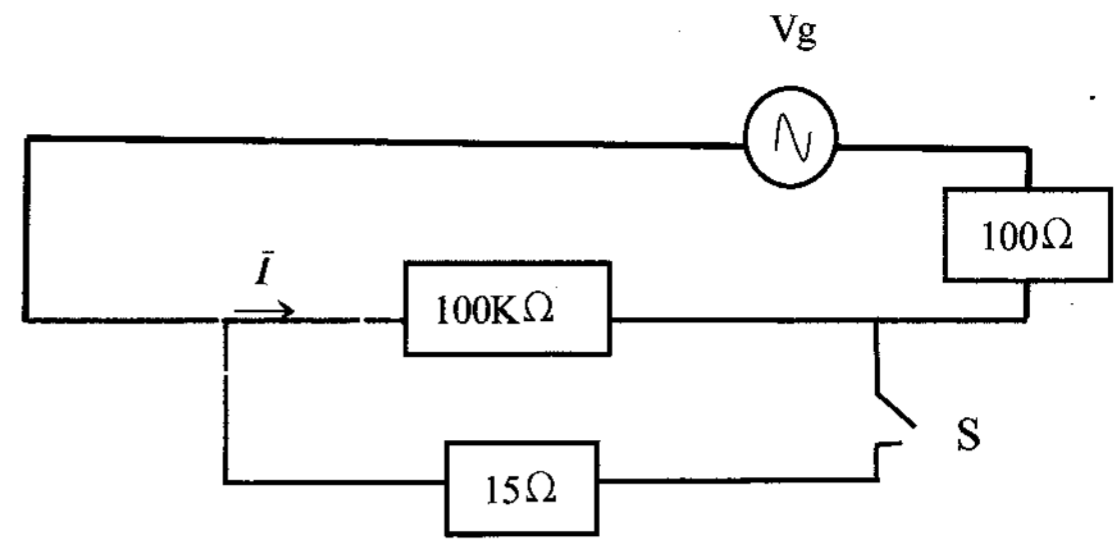


Fig. 6. Common mode noise voltage measurement equivalent circuit

그림 6 등가회로에 Vg 2,002mV, 전원내부저항 100옴인 회로를 구성한 후 스위치 S의 개폐 여부에 따라 측정기 내부임피던스(100KΩ)에 나타난 전압은 다음과 같이 변동된다.

- 스위치 S Off : 2,000mV, I = 0.02mA
- 스위치 S On : 261mV

여기서 측정기와 병렬로 접속되는 15Ω은 케이블 시스템 저항과 접지저항을 합성한 값이며 스위치 S의 개폐여부에 따라 전압이 변동되는 것을 옴의 법칙으로 증명해 보았으며 표 5의 측정결과도 이와 같은 과학적인 이론을 입증하고 있다.

위 그림 6의 S1~S3 중 어느 한 스위치만 연결(ON)하면 대지전위차에 의한 전류가 통신회선과 대지 사이 캐패시터를 통해 흐르게 되어 인접심선에 유도전압이 발생되어 선간잡음전압이 증가하였으며 그 결과는 표 10과 같다.

Table 10. Variation of Differential Mode noise voltage before/after shield level grounding

구 분	선간잡음전압 (mV)	측정회수	비 고
비 접지시	Under	10	
S1 연결시	0.38~0.69	5	연속 발생

- 측정환경 : 2006.1.14
- 측정 장소 : 경북 칠곡군 지천면 용산리
- 측정회선 및 길이 : 비차폐 케이블 740m
- 레일과 평균 이격거리 30m

2.9 측정기 임피던스에 따라 측정 값 변동

전력유도에 의한 잡음전압 측정방법은 ITU-T 국제 권고 기준 및 정보통신부 고시 제2003-6호에 따라 선간잡음전압을 측정하도록 규정하고 있다.

경부고속철도 전력유도대책팀이 사용한 미티게이트 측정기는 대지를 하나의 도체로 사용하여 평형도를 측정하기 때문에 지전위차의 영향을 쉽게 받을 수 있으며 측정지점 양

단의 지전위를 등전위로 유지한다는 것은 쉬운 일이 아니기 때문에 전파연구소 등 합동조사팀이 측정한 평형도 값이 시시각각으로 변동하고 있음을 표 4를 통해 확인할 수 있었다.

또한 미터게이트 측정기기 사용 시 측정 회로 종단이 600옴 임피던스로 종단되었을 경우 브릿지 모드(Bridge Mode)를 사용하여 전압계의 내부저항이 측정회로에 영향을 주지 않도록 High 임피던스를 사용하는 것이 일반적인 측정 원리임에도 전파연구소 및 국내 통신회사의 관계자는 측정회로를 600옴으로 종단하지 않고 브릿지 모드(임피던스 100키로옴)로 선대지잡음전압을 측정하고 있다.

이와 같은 계측기 임피던스를 부적절하게 사용할 경우 평형도 측정값은 ITU-T 표준 측정 값 대비 약 40dB 이상 높은 값이 측정되어 계측 오류가 발생하게 된다.

국내 통신회사 및 전파연구소에서 사용하고 있는 미터게이트 측정기기의 사용방법의 오류 여부는 ITU-T Rec. O.9 5항 Requirements for the measuring arrangements과 ITU-T. Rec.K.10 5.3.1항 LCL measurement with a test bridge 에 종단저항의 크기를 600Ω 이하로 명시하고 있으며 6항 Admissible values는 우리나라에서 현재 사용 중인 평형도 46dB의 기준 조건에 대한 임피던스 크기를 명시하고 있다.

따라서 경부고속철도유도대책팀이 선대지잡음전압을 측정하면서 측정회선 종단 저항을 사용하지 않고 브릿지 모드로 잡음전압을 측정하므로 계측 오류가 발생하였다.

2.9.1 측정기 임피던스 변동에 따른 측정값 변동

측정기 임피던스 크기변화에 따라 선대지잡음전압 및 평형도 값의 편차를 전압분배법칙으로 증명하기 위해 그림 7과 같이 선로저항이 각각 278Ω, 264.3Ω인 저항 불평형(2.5%) 선로를 이용하여 측정기 임피던스(Z2) 크기 별 잡음전압과 평형도를 전압분배법칙으로 계산하였으며 그 결과는 표 11과 같다.

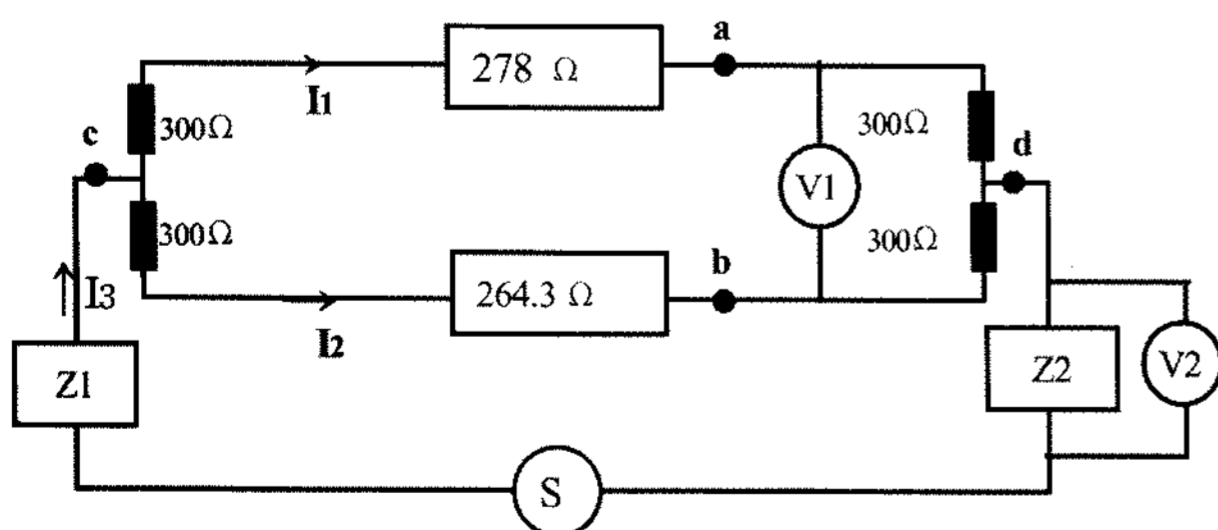


Fig. 7. Balance level measurement equivalent circuit

• 임피던스 기준

- Z1 = 0Ω, Z2 = 600Ω : 국내 고시기준
- Z1 = 0Ω, Z2 = 100KΩ : 국내 모 통신회사 기준
- Z1 = Z2 = 150Ω : ITU-T Rec K.10기준

• 임피던스 크기별 잡음전압 산출 값

- I3 = S/(c-d 간 합성저항 435.5옴 + Z1 + Z2)
- V2 = I3 * Z2
- I1 = I3 * 864.3/1,742.3
- I2 = I3 * 878/1,742.3
- a점 전압 = I1 * 578
- b점 전압 = I2 * 564.3
- V1 = a점 전압 - b점 전압
- 평형도 = 20Log V1/V2

Table 11. Computed value of noise voltage and balance level

유도원 전압(mV)	Z2	잡음전압(mV)		평형도 (dB)
		V1(선간)	V2(선대지)	
100	600Ω	0.2278	57.94	48.10
	100KΩ	0.00232	99.5663	92.65
2,000	600Ω	4.5558	1,158.86	48.10
	100KΩ	0.0469	1,991.32	92.56

표 11은 유도원 전압이 같은 경우라도 측정기 임피던스 크기에 따라 잡음전압이 변동되는 것을 보여 주고 있으며 동일 임피던스를 사용한 경우 유도원 전압(S)이 변동되어도 평형도가 변동되지 않는 것을 보여주고 있다.

2.9.2 실측 평형도 측정값과 선대지잡음전압 분석

표 12는 2006.1.12 감사원 현장 조사 시 전파연구소에서 미터게이트 잡음전압측정기로 실측한 결과이다. 이 자료는 선대지잡음전압이 3,884mV부터 402mV까지 변동되었으나 평형도는 2~3dB밖에 편차가 발생하지 않는 것을 보여주며 위 2.5.3항의 평형도 변동 값과 큰 차이가 있음을 확인할 수 있다.

• 측정 환경

- 측정장소 : 경북 칠곡군 지천면 용산리
- 측정회선 및 길이 : 비차폐 UTP 4회선 800m
- 레일과 평균 이격거리 : 60~70m

• 측정 및 입회자

- 측정자 : 저자 및 전파연구소 담당 1명
- 입회자 : 전파연구소, 한국전자통신연구원, 한국철도시설공단, 통신회사 유도전문 관계자 등 12명 참석

Table 12. Measured value of noise voltage and balance level

측정 시간	잡음전압(mV)		평형도 (dB)
	선대지	선간	
04분13초	3,884	0.38	80
19"	2,287	0.31	77.4
21"	536	0.06	78.9
26"	561	0.058	79.7
30"	548	0.063	78.7
36"	555	0.077	77.1
41"	608	0.069	79
46"	2,287	0.17	82.4
50"	1,362	0.12	80.5
56"	1,511	0.156	79.7
05분00초	2,687	0.128	80.5
05"	2,479	0.231	80.6
10"	2,394	0.234	80.2
06분42초	518	0.058	78.9
47"	581	0.051	81
53"	402	0.038	80.3
평균			79.68

3. 결론

고속철도에 의한 통신선 유도잡음전압은 예측 계산식에 따라 전차선에 흐르는 전류의 크기에 비례하는 유도전압이 발생하게 되며 유도된 전압은 통신케이블의 차폐계수 크기에 따라 감소하게 된다. 그러나 경부 및 호남선 고속철도 주변 통신선에 측정된 대부분의 유도잡음전압은 패러데이전자유도법칙과 렌츠 법칙에 의해 발생된 유도전압이 아니라 계측 오류에 의한 대지전위차가 측정되었음이 확인되었으며 다음과 같은 결과를 실측과 이론을 통해 입증하였다.

- (1) 예측계산식으로 산출한 잡음전압과 실측 잡음전압 사이 100배 이상 오차 발생.
- (2) 표준측정 방법 사용 시 고속열차에 의한 통신회선 유도잡음전압 미 발생.
- (3) 측정된 잡음전압은 대지전위를 0V로 하는 측정조건을 준수하지 않아 대지전위차가 선간잡음전압에 간섭을 주어 계측오류 발생.

(4) 비표준 측정기 사용으로 선대지잡음전압이 표준 측정기 값 보다 높게 계측.

(5) 고속철도 레일 주변 대지전위 상승지역에 차폐대책 시 역효과 발생.

따라서 전파연구소와 통신회사가 현재 사용 중인 잡음평형도 측정회로와 측정기기 임피던스를 ITU-T 국제 기준에 맞도록 명확한 기준과 측정 조건을 넣은 새로운 기술기준을 마련할 것을 제안하며, 고속철도 주변 대지전위 상승지역의 통신시설은 차폐 대책을 하지 않는 것이 대지전위차에 의해 발생하는 제2의 잡음 피해나 공중 PW보호선으로 유입되는 낙뢰 등 이상전압이 통신케이블에 역유입되는 것을 방지할 수 있음을 제안한다.

참고문헌

1. KT 망관리/지원단 (2005), “고속철도운행구간 유도전압측정 종합관리 및 분석용역 유도측정 종합분석보고서”, 부록7.
2. 창상훈 (2001), “교류전기철도 접지시스템 연구”, KRR연구 pp.4, pp.56-57.
3. 한국고속철도건설공단 (2001), “경부고속철도 통신유도대책 및 전자파장해대책 설계 유도전압 측정.검토보고서”, pp.153-154..
4. 한국고속철도건설공단 (2001), “경부고속철도 통신유도대책 및 전자파장해대책 설계 유도전압 측정.검토보고서”, pp.6, pp.103-107.
5. 한국고속철도건설공단 (2001), “경부고속철도 통신유도대책 및 전자파장해대책 설계 유도전압 측정.검토보고서”, pp.25-27, pp.34.
6. 한국고속철도건설공단 (2001), “경부고속철도 통신유도대책 및 전자파장해대책 설계 유도전압 측정.검토보고서”, 부록14.
7. 한국고속철도건설공단 (2001), “경부고속철도 통신유도대책 및 전자파장해대책 설계 유도전압 측정·검토보고서”, pp.36-37, pp.55. 부록9.
8. 한국고속철도건설공단 (2001), “경부고속철도 통신유도대책 및 전자파장해대책 설계 유도전압측정(한국통신선로보고서)”, pp.16.
9. KT 망관리/지원단 (2005), “고속철도운행구간 유도전압측정 종합관리 및 분석용역 유도측정 종합분석보고서”, 부록8-17~8-33.
10. KT 망관리/지원단 (2005), “고속철도운행구간 유도전압측정 종합관리 및 분석용역 유도측정 종합분석보고서”, 부록7-27~7-84.
11. 창상훈 (2001), “교류전기철도 접지시스템 연구”, pp.89-90.

접수일(2008년 3월 24일), 수정일(2008년 6월 19일), 게재확정일(2008년 6월 19일)