

한국 고속철도전력유도 대책 적정성 검토



이여상근
재원엔지니어링

1. 서론

우리나라 고속철도는 1994.6 프랑스 알스톰사와 한국 TGV 컨소시엄 체결로 사업이 시작되었다.

경부고속철도와 프랑스고속철도는 같은 차종과 전력공급(AT급전) 방식을 사용함에도 두 국가 간 사용된 통신유도대책비용은 실로 엄청난 차이가 발생하였다. 당시 SYSTRA 는 경부고속철도 전력유도 대책에 참가가 되는 “HIGH SPEED RAILWAY SNCF EXPERIENCE IN ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY” 자료(이하 사례집)를 1996.6 한국고속철도건설공단에 송부하였고 본 관련 자료에 따르면 프랑스 국영철도회사가 전자기적 노이즈 관련 문제 해소에 투입한 비용은 Km 당 총 2만 프랑에 불과한 반면 우리나라는 약 2억7천3백만원의 비용이 투입되었다.

본 고는 경부고속철도의 전력유도대책 비용이 프랑스

보다 엄청나게 많이 투입된 원인을 분석하기 위해 한국철도시설공단이 작성한 각종 측정자료를 토대로 과학적인 분석과 이론 증명으로 그 문제점을 분석하며 관련분야의 기술 정보를 공유코자 한다.

2006년도 경부고속도로 전력유도대책의 측정방법 및 적정성 여부를 밝히기 위해 한국전자통신연구원, (주)한국전력, (주)KT공동으로 유럽 출장 후 국회에 제출한 보고서에 따르면 프랑스의 전력유도대책 비용은 수천만 원에 불과한 것으로 보고되었다.

경부고속철도 주변 통신선 유도장해 방지 대책 비용이 크게 차이가 발생한 이유는 다음과 같다.

프랑스는 예측잡음전압을 근거로 제한치 초과구간에 대해 실측 검증 후 대책을 세우는 사후대책을 실시하였고 예측계산값과 실제 측정값의 오차가 크게 발생하지 않도록 각종 계수값을 실제값으로 보정하였으나 우리나라는 예측계산값과 실측값이 수십 배 이상 오차가 발생한 것을 발견

표 1. 프랑스와 경부고속철도 전력유도대책비용 비교

구 분	프랑스(North Line)	경부선(서울 - 선동)
고속철도길이	350Km	281Km
유도대책공사구간	6 구간	3,553 구간
Km당 대책비용	20,000프랑(약3백만원)	약2억7천3백만 원
대책방법	예측계산값을 근거로 실측 확인후 사후대책	예측계산 값으로 개통전 사전대책
예측계산값과 실측값 비교	표준테스트 시험회로 및 실제 사용중인 통신선로 이용 실측값 비교한 결과 약 2배의 오차 발생	표준테스트 시험회로 및 실제 사용중인 통신선로 이용 실측값 비교시 약 12~48배 오차발생

하고서도 예측산식에 적용되는 각종 계수를 보정하지 않고 예측잡음전압을 근거로 사전대책을 시행하므로 유도대책비용이 프랑스 보다 많이 투입되었다.

2. 유도대책 기준 및 대책 방법

프랑스와 우리나라는 유도잡음전압에 대한 대책 마련의 근거로 국제통신연합 기준인 선간잡음전압 제한치 1mV를 공통적으로 사용하고 있다.

- 프랑스는 예측계산으로 제한치 1밀리볼트 초과구간을 사전 파악해 두었다가 고속열차 운행 시 동 구간의 실측 잡음전압이 제한치 1mV를 초과할 경우에만 사후 대책을 시행하고 있으나 우리나라는 예측계산식으로 산출한 예측잡음전압을 기준으로 사전 대책을 세우고 있다.
- 열차 운행 시 측정 조건은 사고 시 또는 비정상 조건이 아닌 고속열차가 안정적으로 운행되는 조건에서 잡음전압을 실측함.

1) 프랑스 유도대책 경험사례 분석

사례집에 따르면 프랑스는 예측계산식의 신뢰성을 높이기 위해 프랑스 표준 공업규격 F 07 022. A~ 에 따라 1 Km 시험케이블을 철도 트랙을 따라 설치한 후 실측값과 예측값을 비교하면서 오차가 발생하면 예측계산식의 각종 계수를 실제 값으로 보정하였다.

- 프랑스의 북부 TGV 350Km 구간에 대한 유도대책 사례 분석 결과 프랑스국영철도회사는 예측 계산한 잡음 전압이 제한치 1mV 를 초과한 구간이 단지 11개소에 불과했고 초과 구간에 대해 고속열차가 정상적으로 운행 되는 조건에서 실측한 후 제한치를 초과하지 않은 5개 구간은 대책을 세우지 않았음을 확인할 수 있었다.
- 대책을 세우지 않은 5개 구간의 예측잡음 전압은 0.92, 1.00, 1.57, 1.69, 2.01mV 이었으나 프랑스국영철도는 예측잡음전압의 신뢰성을 확인하기 위해 프랑스텔레콤 (FT)에 측정을 권고 했으며, FT는 실측값이 계산된 값 보다 작은 이유를 다음과 같이 설명하며 예측잡음전압은 참고자료로 하되 실측잡음전압을 근거로 유도대책을

시행 하였다.

- 대개 계산 시 최악의 조건을 예상한 가장 비관적인 값들을 채택했기 때문에 그 차이가 2~3배 높게 발생함.

2) 경부고속철도와 프랑스 유도대책비용 분석

프랑스에서 예측계산 한 유도잡음전압은 대부분 0.01 ~ 0.5mV가 예측되어 유도대책을 하지 않았으며 그 이유는 다음과 같이 밝히고 있다.

- “선로 길이가 긴 통신케이블이라도 평형도가 좋은 상태로 제작, 공급되고 전화선은 중계코일(translator)이 중단되어 있기에 다소 높은 전차선 전류가 상대적으로 노후된 케이블에 간섭을 주어도 케이블의 감소 계수인 평형도가(100mV/m 당 약 0.2) 대체적으로 좋아 보호 보장을 충분히 하고 있기에 제한치 1밀리볼트 이하는 쉽게 달성할 수 있다” 라고 설명하고 있다.
- 예측계산식에 사용하는 평형도대수비(이하 평형도)는 크기가 작을수록 예측잡음전압이 감소되는 특장을 가지고 있다.

프랑스는 평형도 크기가 1/500 정도로 우수하기 때문에 통신선의 예측잡음전압이 대부분 제한치 1mV 이하가 되었고 예측계산값이 제한치를 초과한 구간은 실측 확인한 후 대책을 시행함으로 대책비용을 절감하였으나 경부고속 철도는 프랑스 보다 더 우수한 평형도(1/800)를 적용하고서도 유도대책 비용은 프랑스 보다 약 1,000배 정도의 높은 비용을 투입하였다.

3) 경부고속철도 유도대책 경험사례 분석

우리나라도 프랑스와 같이 예측계산식의 신뢰성을 높이기 위해 프랑스 표준 공업규격 F 07 022. A~ 에 따라 1 Km 시험케이블을 철도 트랙을 따라 설치한 후 예측계산값과 실측 잡음전압 비교 및 각종 적용 계수의 적정성을 검토하였다.

한국고속철도건설공단(이하 공단)과 통신회사 공동 실험한 결과 유도대책을 한 케이블은 케이블 차폐계수 크기 만큼의 차폐효과가 반드시 나타나야 함에도 그 효과는 전혀 나타나지 않았으며, 유도원인 선대지잡음전압이 증가하면 할수록 케이블 평형도가 감소되어 유도대책을 하지

얇은 케이블의 선간잡음전압이 대책을 한 케이블 보다 오히려 더 작거나 비슷한 크기로 측정되었으며 측정된 대부분의 잡음전압이 0.1mV 이하 임에도 사전 대책을 수립하여 프랑스 보다 천 배 이상 높은 비용을 투입하였다.

3. 경부고속철도 유도대책 적정성 검토

공단은 고속철도전자파장해 방지를 위해 1993년도 한국과학기술연구원에 기술 용역을 주어 예측계산 프로그램 개발과 함께 예측계산식에 적용될 각종 계수 검증과 보정 방법을 사전 확보하였으며 또한 고속철도 시험선 구간을 이용하여 예측계산값의 정확도와 차폐대책 전후 효과를 검증하기 위해 아래와 같은 실험을 실시하였다.

1) 유도대책 효과 검증(1차)

공단은 2001.2 고속철도 시험운행 구간에 차폐대책을 한 케이블과 대책을 하지 않은 두 종류의 케이블을 고속철도 트랙을 따라 설치한 후 고속열차 운행시 발생하는 최대 유도잡음전압을 동시에 비교측정 하였으며 측정 결과는 아래와 같다.

○ 시험 결과 특이사항

- 과학적인 예측계산식에 따르면 유도대책을 한 차폐케이블과 하지 않은 일반케이블 사이 유도잡음전압은 차폐 계수 크기만큼 약 1/16 크기로 감소되어야 하나 표2와 같이 차폐효과가 나타나지 않았다.
- 선대지잡음전압이 증가하면 할수록 평형도가 감소하여 선간잡음전압은 증가하지 않았다.

표 2. 차폐대책 전후 유도잡음전압 비교

케이블 종류	최대 잡음 전압 평균(mV)		평형도 대수비	측정 회수	측정 방법	측정일
	선간	선대지				
일반케이블	0.07	1,969	1/67,322	8	1번	2001.2.20
차폐케이블	0.065	271	1/8,911	11	1번	2001.2.22

* 자료출처 : 경부고속철도 통신유도대책 및 전자파장해대책 설계용역 유도전압 측정 · 검토보고서(이하 공단 보고서)부록14.

표 3. 차폐접지 연결 전후 평형도 및 잡음전압

측정일	선간 잡음	선대지 잡음	차폐 권선	측정 회수	평형도 대수비	비고
01.7.4	0.052	2,629	제거	8	1/25,118	차폐케이블
01.7.4	0.127	146	연결	4	1/5,623	차폐케이블

* 자료출처 : 전력유도전압 측정(한국통신선로)보고서 pp.17

2) 유도대책 효과 검증(2차)

공단은 2001.7 고속철도 시험선 구간에 유도대책이 완료된 한국통신선로를 이용하여 유도전압 예측계산식으로 산출한 잡음전압과 실측잡음전압을 비교하며 각종 계수의 적정 범위를 예측하기 위한 실험을 실시하였다.

○ 시험 결과 특이사항

같은 케이블에 수용된 동일 측정회선 조차도 선대지잡음전압이 증가하면 증가할수록 평형도가 감소되고 이에 따라 차폐대책을 하지 않았을 때 오히려 선간잡음전압이 감소되는 것이 실측으로 증명되었다.

- 표3의 차폐권선 제거 시 선대지잡음전압이 18배 증가한 것은 차폐효과가 상실되었음을 보여주며
- 차폐효과 상실로 선대지잡음전압이 2,629mV로 상승되었으나 평형도 감소로 선간잡음전압은 차폐대책을 한 경우 보다 0.075mV 작게 측정되었다.

3) 평형도 대수비 검증

공단은 차폐대책을 하였으나 차폐효과가 발생하지 않고 오히려 역현상이 발생한 이유에 대해 “잡음평형도는 선대지간의 잡음전압과 선간잡음전압의 비를 말하는 바, 유도된 잡음전압의 크기가 작으면 잡음평형도의 값도 따라서 작게 되는(대수비는 증가)특성을 가지고 있다” 라고 공단 보고서 pp.145에 밝히고 있다.

- 표3의 측정결과는 일반케이블의 잡음평형도가 더 우수(대수비가 작을수록)하고 유도전압이 증가하면 할수록 평형도 대수비가 감소된다는 공단의 주장을 뒷받침하였다.
- 2001.6.8 감사원 입회하에 실측한 공단통신선로 역시 잡음평형도는 선대지잡음전압에 반비례하며 동일 회선의 잡음평형도가 1/901부터 1/17,579까지 수시로 변동되는 것으로 기록하고 있다.

표 4. 차량운행 상황에 따른 잡음평형도 측정결과를 분석

구분	잡음평형도(dB)				비고
	일반케이블		차폐케이블		
	최대 값	최소 값	최대 값	최소 값	
차량운행 시	106.77	(49.7)	99.2	(37.1)	
전차선 급전 시	66.5	64.1	66.2	59.0	
전차선 단전 시	70.0	55.9	67.7	53.3	

※ 1. ()내는 차량이 시속 또는 용정에 정차하여 전원을 차단한 경우의 값임. 2. 전차선 급전 시는 급전상태에서 차량운행이 없거나, 차량이 급전구간을 벗어난 경우
* 자료출처 : 공단보고서 pp.144.

표 5. 전원차단 전후 잡음전압 및 평형도 변동내역

측정일	선간 잡음	선대지 잡음	전원 공급	측정 회수	평형도 대수비	비고
01.2.27	0.043	12	차단	30	1/278	차폐케이블
01.2.27	0.048	146	공급	95	1/3,026	차폐케이블

* 자료출처 : 공단보고서 부록8, 부록9 케이블 잡음평형도 측정표.

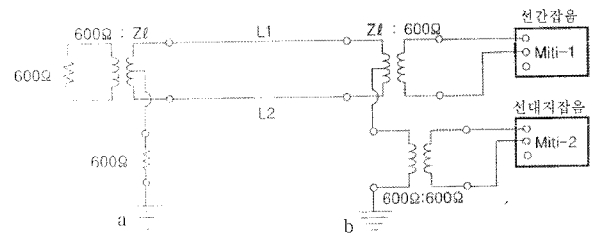


그림 1. 평형도 측정회로

○ 차량운행 상황별 평형도 변동내역

차량운행 상황에 따른 잡음평형도 측정 결과를 분석하면 표4와 같다.

○ 전원차단 전후 잡음전압 및 평형도 변동내역(표 5)

○ 시험 결과 특이사항

표 4는 일반케이블의 잡음평형도가 차폐케이블 보다 더 우수하고 동일회선 조차도 평형도가 707배~1273배 시시각각 변동되는 것을 보여 줌.

- 일반케이블 잡음평형도 1/216,271 (106.7dB)
 - ▶ 최소값(49.7dB)과 최대값(106.7dB) 편차: 707
- 차폐케이블 잡음평형도 99.2dB(대수비 1/91,201)
 - ▶ 최소값(37.1dB)과 최대값(99.2dB) 편차: 1,273배

표 5는 전자유도현상이 발생하지 않는 조건에서는 선대지잡음전압이 최저값 12mV로 격감하자 잡음 평형도가 급격히 불량한 상태인 1/278 되었으나 선대지잡음전압이 증가 하자 잡음평형도가 1/3,026 감소되는 것을 보여주고 있다.

4. 유도잡음전압과 평형도 관계

○ 평형도 측정회로

1) 평형도 계산식

- 평형도 대수비 = 선간잡음전압/선대지잡음전압
- 평형도(dB) = 20log 선간잡음전압/선대지잡음전압
- 평형도 대수비를 전류의 크기로 표기하면 다음과 같다.
 - ▶ 평형도 대수비 = (a1 - b1)/(a1+b1) ----- 식 1)
 - ▶ a1 : 도체 L1에 흐르는 전류
 - ▶ b1 : 도체 L2에 흐르는 전류
 - ▶ 선간잡음전압 = (a1 - b1) * 600옴
 - ▶ 선대지잡음전압 = (a1+b1) * 600옴

2) 선대지잡음전압에 의해 평형도 대수비는 변동되지 않는다.

평형도는 선대지잡음전압(Common Mode Noise)에 의해 발생하는 선간잡음전압(Differential Mode Noise)의 대수비로써 통신선 두 가닥(L1, L2병렬회로)에 동일한 크기의 유도전압이 인가되어도 각 도체의 직렬임피던스와 대지와 도체사이 어드미턴스의 차이로 인해 도체 L1에 흐르는 전류와 도체 L2에 흐르는 전류는 항상 일정한 고정비율로 나누어져 흐르므로 선대지잡음전압이 증가하면 선간잡음

음전압도 같은 비율로 증가하기 때문에 선대지잡음전압이 증가하여도 평형도 대수비는 감소하지 않는 것이 과학적인 이론이다.

- 통신선로의 1차 정수(R,C,L,G)가 물리적으로 변동되거나 도체의 온도가 급격하게 변동되지 않는 한 정상적인 조건에서는 변동되지 않는다.

3) 선대지잡음전압 주파수 증가 시 평형도 대수비는 증가한다.

유도원의 잡음주파수(300~4000 Hz)가 증가하면 도체의 1차 정수가 미세하게 변동되며 평형도 대수비는 증가하는 것이 과학적인 이론이며 표준 시험 방법으로 잡음평형도를 측정하면 주파수가 증가할수록 잡음평형도 대수비가 증가하는 것이 증명이 된다.

그러나 고속철도변 통신회선은 잡음주파수가 증가할수록 평형도 대수비는 표 4와 같이 수백 배에서 수천 배까지 감소하는 비과학적인 결과가 나타나고 있다.

- 평형도 대수비는 주파수에 따라 변동되는 특성을 가지고 있기에 국제적으로 1004Hz의 주파수를 기준으로 측정을 한다.
- 미국연방통신위원회(FCC)기준 Part 68, 68.310항에 따르면 측정 주파수에 따라 평형도가 변동되므로 그 기준을

주파수별로 분류하고 있다.

측정주파수가 0~1KHz까지는 평형도 기준치를 1/1000이하로 하고 측정주파수가 1KHz~15KHz를 사용하면 1/200이하로 평형도값이 상승되는 것을 보여주고 있다.

이와 같이 주파수가 상승하면 평형도 대수비가 증가하나 고속철도주변 측정값은 주파수가 증가하면 평형도 대수비가 감소하고 있다.

4) 과학적인 실험 결과

우리나라에서 사용하는 평형도 측정법은 위 그림 1의 접지지점 a, b 양단에 시험용 신호(1KHz, 775mV)를 인가하는 회선평형도를 사용하고 있으며 기준값은 46dB 이상으로 하고 있다(대수비는 1/200 이하가 됨)

한국철도건설공단에서 사용한 평형도 측정법은 시험용 신호를 공급하지 않고 통신회선에 인가되는 유도원을 사용하여 선대지잡음전압 대 선간잡음전압의 대수비를 측정하는 잡음평형도를 사용하고 있다.

- 잡음평형도는 주파수 변동에 따라 그 크기가 달라지므로 국내 또는 국제적으로 정해진 기준이 없다.
- 그림 1의 a, b 지점에 잡음전압의 크기를 변동시키며 음의 법칙으로 계산하면 잡음전압이 증가해도 평형도는 변동되지 않는다.

표 6. 선대지잡음전압 및 주파수 변동에 따른 평형도 측정

선 번	유도원 전압 및 주파수	선대지잡음 전압	선간전압	평형도		비 고
				대수비	dB	
607	7V 930Hz	3305	1.81	1/1819	65.2	전북 익산 고속철도 구간
	5V 930Hz	2340	1.28	1/1819	65.2	
	3V 930Hz	1426	0.775	1/1840	65.3	
	7V 2900Hz	1133	1.24	1/912	59.2	
	5V 2900Hz	802	0.87	1/912	59.2	
	3V 2900Hz	489	0.536	1/912	59.2	
30	7V 930Hz	3050	1.51	1/2019	66.1	충남 장생 배전선 구간
	7V 2900Hz	1021	0.783	1/1303	62.3	
	5V 930Hz	2184	1.069	1/2041	66.2	
	5V 2900Hz	723	0.56	1/1288	62.2	
287	7V 930Hz	3974	2.749	1/1445	63.2	대구 산격 배전선 구간
	3V 930Hz	1715	1.20	1/1428	63.1	
	7V 2000Hz	2566	3.15	1/813	58.2	
	3V 2000Hz	1107	1.362	1/813	58.2	

* 자료출처 고시개정을 위한 한국전자통신연구원(ETRI) 발표 자료 7번

1) Subscriber Loop Signaling and Transmission Handbook Handbook Digital pp.585 :IEEE Telecommunications Handbook Series

- 표 6 자료는 2006.5 감사원이 전파연구소장에게 통신선 평형도를 실측하여 그 결과에 따라 합리적이고 객관적인 수치를 “전력유도전압의 구체적 산출방법에 대한 기술기준”에 반영하라는 지시에 따라 전파연구소, 한국전자통신연구원, (주)KT, 한국전력공사 합동으로 2007.4.10~4.12(3일간) 실제 운용 통신선로에서 측정한 결과로써 동일 주파수에서 선대지잡음전압이 증가해도 평형도는 변동되지 않으나 동일 전압인 경우 주파수가 증가하면 평형도 대수비는 증가한다.

따라서 지금까지 공단의 주장은 사실과 다르다는 것을 국가기관 조사결과를 통해 증명되었다.

4. 평형도 대수비 변동원인

1) 시험 방법별 평형도 변동내역

표 7은 시험 회로 구성 방법에 따라 대지전위차가 감소하여 잡음전압 및 평형도가 크게 변동되는 것을 보여 주고 있다.

이와 같은 현상을 방지하기 위해 국제통신연합은 표준 측정법(ITU-T K.10)을 제시하고 있다.

표준 측정 방법에 따르면 평형도 측정 시 보조도체를 사용하지 않고 대지를 하나의 보조도체로 사용할 경우 대지 전위차의 간섭을 받지 않도록 접지점의 전위가 반드시 0V가 되도록 측정 조건을 제시하고 있다.

아래 표 7의 시험방법 3번은 케이블 차폐층을 보조도체로 사용했기 때문에 시험회로 1번 보다 잡음전압이 1,606mV 가 감소되었으며, 시험회로 6번은 대지지전위차의 영향을 가장 많이 받아 시험회로 3번 보다 잡음전압

이 2,386mV 높게 측정된 것을 보여주고 있다.

2) 시험 결과 특이 사항

- 정상적인 전자유도현상이 발생한다면 측정회로 1번의 선간잡음전압은 차폐효과에 의해 측정회로 6번 보다 약 1/26 크기로 잡음전압이 감소되어야 함에도 차폐효과가 거의 발생하지 않았다.

- 표 7의 평형도 측정값은 일반케이블이 평균 1/52833 차폐케이블은 1/17344 로써 일반케이블의 잡음 평형도가 월등히 좋은 것으로 나타났다.

- 평형도 측정값의 신뢰성 검토를 위해 평형도가 가장 우수한 공장 출고시 평형도 값과 비교하면 표7의 측정값은 현실을 초월한 비과학적인 측정값임을 확인할 수 있다.

※ 2005.7.11 KT구매전략실 주관 대한전선 안양공장에서 신품 케이블 0.4-900P 케이블의 평형도 샘플링 측정(474,459,23,71,51번) 결과 평형도 대수비는 1/3,349~1/3,801 수준에 불과했다.

이와 같이 공장출고 전 최상의 품질이 확보된 상태에서도 평형도는 약 1/4,000 이상이었으나 표6의 평균값은 1/35,088 크기로 우리나라 고시 기준(1/200) 보다 175배 이상 우수하였으며 어떤 경우는 지구상에서 존재 불가능한 크기인 1/216,271 까지 감소되었다.

5. 잡음전압 및 평형도 측정 회로 검토

표 7에 소개된 측정회로는 아래 그림과 같다. 당시 표준 측정법으로 결정된 측정회로는 1번은 현재까지 한국고속철도시설공단, KT, 전파연구소, 한국전자통신연구원 등

표 7. 시험 방법별 평형도 변동내역

측정일	선간 잡음	선대지 잡음	측정 회로	측정 회수	평형도 대수비	비 고
01.2.20	0.07	1,969	1번	8	1/67,322	일반케이블
01.2.22	0.065	271	1번	11	1/8,911	차폐케이블
01.2.19	0.065	309	3번	18	1/13,899	일반케이블
01.2.27	0.048	146	3번	95	1/3,026	차폐케이블
01.2.20	0.128	2,695	6번	6	1/77,279	일반케이블
01.2.23	0.166	1,409	6번	11	1/40,095	차폐케이블

이 표준 측정법으로 사용하고 있다.

1) 측정회로 1번

공단에서 현재까지 사용하고 있는 측정회로1번은 국제전기통신연합의 표준측정방법과 측정조건을 따르지 않아 순수한 유도잡음전압이 아닌 대지전위차가 계측되는 측정회로를 사용했기 때문에 열차가 측정지점 통과 시 평형도 값이 천문학적인 수치로 향상되는 계측 오차를 유발시켰다.

2) 측정회로 3번

측정회로 3번은 표준측정회로와 유사하게 차폐층을 보조도체를 사용하였으나 케이블 종단 접지저항(9.6Ω과 82Ω)의 크기를 각각 다르게 구성하므로 대지전위차가 유도전압에 포함되어 계측 오차를 유발시켰으나 그 전압의 크기가 타 측정 회로보다 상대적으로 낮은 것이 표 7에 나타나 있다.

3) 측정회로 6번

측정회로 6번은 차폐효과가 전혀 없는 조건에서 측정했기 때문에 전자유도현상이 있었다면 측정 회로 1번 보다 26배 높은 선간잡음 전압이 계측되어야 함에도 선간잡음전압은 표 7과 같이 약 2배 이하로 나타났다.

4) 측정 방법별 선간잡음전압 비교

아래 표 8은 2006.10. 고속철도시설공단이 국정 감사 시 대전시 감천 둔치에서 비차폐 25p. 일반케이블 측정 자료이다.

국내 전파연구소 고시기준에 따라 표준 선간잡음전압을 측정한 회선(5번,17번)은 열차 운행시 최대 0.085mV, 평균

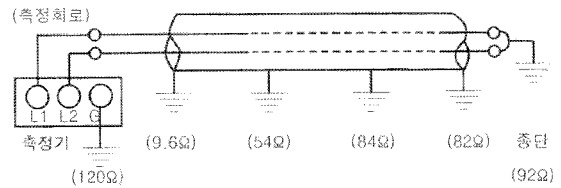


그림 2. 측정회로 1번

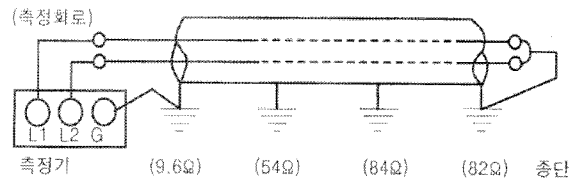


그림 3. 측정회로 3번

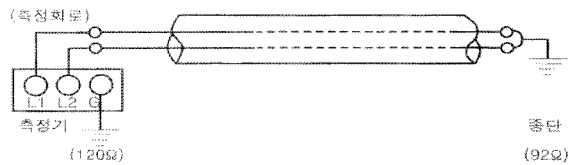


그림 4. 측정회로 6번 수정

0.047mV가 측정되었으나 측정회선을 대지에 접지시키는 평형도 측정법을 사용한 회선(17번)은 선간잡음전압이 최대 4.83mV, 차량운행시 평균 2.25mV 가 측정되었다.

- 측정회선 별 측정자 및 측정기기
- 시험회선 20번 : 전파연구소 공무원 (스펙트럼 아날라이저)

표 8. 2006.10. 한국철도시설공단 측정 자료

측정일시	운행상황	측정회선				
		5번	20번	17번		
		선간	선간	선간	선대지	평형도
10.19 21:35	상행	Under	0.03	미측정	미측정	미측정
21:42	교행(상,하)	"	0.04	"	2,184	"
21:52	상행	"	0.04	0.32	1,331	72.3
22:01	상행	"	0.061	0.9	1,362	72.7
22:09	상행	"	0.027	0.41	1,880	1/4677
10.20 11:57	미운행	"	0.0045	4.83	130	1/26
12:02	교행(상,하)	"	0.085	4.78	1,414	49.2



- 시험회선 5번: 공단직원(AM-48)
- 시험회선 17번: 공단직원(미터게이트)
- ※ Under 로 표시된 잡음전압은 잡음전압측정기(AM-48)가 표시할 수 있는 최저치 0.0775mV 미만일 경우 Under Level로 표시.

5) 측정 결과 분석

- 최대 유도전압 발생 조건(복수운행)에서 차폐를 하지 않은 일반케이블의 잡음전압이 0.085mV 이하로 계측된 것은 유도대책의 불필요성을 입증하고 있으며,
- 측정회선을 대지에 접지시키는 평형도 측정법을 사용한 17번 회선과 표준 측정방법을 사용한 20번 회선을 비교 하면 열차 운행시 선간잡음전압이 평균 34배 높은 전압이 측정된 것은 측정 회로 구성방법에 따라 선간잡음전압이 큰 차이가 발생하는 것을 재차 입증시켜 주었으며,
- 측정회선 17번은 열차 미운행시 잡음전압이 복수열차(교행)운행 시 보다 선간잡음전압이 0.05mV 높게 측정되었다. 이와 같은 결과는 전자유도법칙으로는 해석될 수 없는 비과학적인 결과이며 또한 계측 오차임을 명백하게 보여주고 있다.

6) 실측 선간잡음전압의 실체

통신회선 선대지잡음전압(Common Mode Noise)은 유도잡음전압 뿐만 아니라 인접회선의 신호가 넘어오는 누화잡음도 포함되어 있다.

따라서 지금까지 측정된 선간잡음전압의 실체는 대부분 동일케이블 내 측정회선을 동시에 3~4회선을 사용했기 때문에 측정회선 상호간 발생한 누화잡음이 측정된 것이다.

- 국내 고시기준은 누화감쇠량을 68dB 이상으로 하고 있다. 이 의미는 동일케이블 내에 한 회선을 유도원으로 하여 1020Hz 245mV 신호를 보낸 후 피유도원인 인접회선에 0.3mV 까지 누화잡음전압이 발생할 수 있다는 전제하에 누화잡음을 허용하고 있다.
- 누화감쇠량 측정 조건은 피유도 회선 모두 비통화상태에서 측정을 하도록 권고하고 있다. 이와 같은 이유는 유도원 신호 외 다른 어떤 잡음이 계측에 간섭을 줄 수 없도록 차단하고 있으나 공단과 통신회사는 동일 케이블

내 3~4회선을 동시에 측정하면서 인접회선에 누화잡음이 발생할 수 있는 환경에서 잡음전압을 측정한 것이다.

- 표 7의 측정회로 6번 일반 케이블 인 경우 통신선에 2,695mV 가 공급되고 있으므로 인접회선은 자연히 누화잡음이 측정된다.

※ 국내 및 국제기준은 위와 같은 계측 오차를 막기 위해 측정회선을 대지에 접지되지 않는 선간잡음전압 측정법을 기준으로 하고 있다.

- 2006.8 영동 철도기지장에서 공단과 학계전문가 공동으로 조사한 자료에 따르면 케이블 차폐층을 완전히 제거한 상태에서 표준 선간잡음전압을 측정하면 잡음전압이 계측기에서 표시할 수 없는 LOW Level(0.024mV 미만)로 계측되나 케이블 양단 차폐층을 접지하면 잡음전압이 0.11mV 가 측정되었다.

이와 같은 현상은 대지전위차에 의해 생성된 전류가 차폐층을 흐르면서 전자유도현상을 일으켰기 때문에 유도잡음전압이 증가한 것이다.

전차선에 흐르는 전류에 의해 발생된 전자유도전압은 케이블 차폐층 접지를 제거할 경우 차폐효과 상실로 유도잡음전압이 증가하게 되나 실측결과는 차폐효과를 주면 잡음전압이 증가하며 표 3의 실험 결과와 일치하며 선간 유도잡음전압은 대지전위차에 의해 발생된 잡음전압임이 증명되었다.

7) 최악조건에서의 선간잡음전압 측정

전력유도잡음전압을 예측 시 최악 조건은 복수열차 운행시 잡음전압을 의미한다. 즉 단일 열차 보다 약 2배의 잡음전압이 발생하기 때문이다.

최악조건을 만드는 것은 굳이 열차가 복수운행하지 않아도 전차선과 통신선의 이격거리나 통신선의 굵기를 변경하면 얼마든지 최악 조건을 만들 수 있다.

전차선과 통신선의 이격거리를 좁히면 유도전압은 증가하며 측정 케이블의 굵기를 최소화 시키면 선간유도잡음전압은 아래와 같이 증가한다.

- 표 7 시험선 측정값(이격거리 60m) 대비 이격거리를 4m 변경 시 선간유도전압은 약 1.4배 증가.
- 케이블 굵기를 1/4로 줄이면 유도전압은 4배 증가

-차폐층 접지를 완전히 제거하면 1.6배 증가
저자는 차폐층이 전혀 없는 점퍼선을 고속철도변 이격 거리 4m, 병행거리 1200m 측정회로를 구성한 후 선간잡음 전압을 측정할 결과 유도잡음전압이 계측기로 측정 불가능한 Under Level (0.0775mV 미만)이 측정되었다.

8) 예측계산식의 정확도 분석

한국철도시설공단이 예측한 위 측정 구간의 선간유도잡음전압은 열차 운행시(270 Km/H) 4.265mV를 예측했으나 실측값은(전파연구소 측정값 기준) 0.047mV로 약 90배의 오차가 발생했다.

9) 측정회로 구성의 문제점

국제통신연합(ITU-T)기준 K10.4항 2절에 명시된 평형도 측정 회로는 대지전위의 간섭을 받지 않도록 측정기 접지와 종단접지 지점의 대지전위가 반드시 0V가 되도록 측정 조건을 제시하고 있으며, 0V 구성이 어려울 경우 보조 도체를 사용하여 양 접지점의 전위가 그림 3과 같은 등전위가 되도록 측정회로 구성 방법을 설명하고 있다.

그러나 2001.2 경부고속철도전력유도대책 전담반은 대지전위차가 가장 많이 발생하는 측정회로 1번을 가장 합리적인 시험 방법으로 채택 사용하였다.

또한 당시 사용된 측정회로 3번은 국제 기준과 유사한 회로는 구성하였으나 대지전위(접지전류 X 접지저항) 차가 많이 발생할 수 있도록 케이블 양단 접지저항 크기를 각각 다르게 하여 계측 오차가 많이 발생하는 조건에서 잡음전압과 평형도를 측정했다.

-2006.10. 국정감사 시 사용한 측정방법은 측정회로 1번을 역시 사용하였으며 측정기 접지와 회선종단 접지는 케이블차폐층 접지로부터 30~50m분리시켜 대지전위차

표 9. 열차 운행 조건별 실측잡음전압

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

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

가 최대한 많이 발생하도록 회로를 구성 후 측정을 실시하였음.

6. 고속철도 개통구간 유도잡음전압 측정

2004.4 고속철도가 정상 개통된 이후 통신회사는 전력유도대책 구간 700개소에 대한 유도잡음전압을 실측하였다. 실측 결과를 분석하면 프랑스와 매우 다른 점이 발견된다.

유럽 최대 고속철도건설 엔지니어링 회사인 프랑스 SYSTRA 사의 전자파대책 경험 사례에 따르면 대책 전·후 잡음 전압은 차폐계수 크기만큼 잡음전압이 감소되며, 단일열차(Single Unit)와 복수 열차(Double Unit)운행 시 유도잡음전압의 실측결과는 예측계산식과 같이 2배 차이가 발생하였으나 경부고속철도는 표 9와 같이 비과학적인 결과인 미운행시 잡음전압이 더 높게 측정되었다.

1) 열차 운행 조건별 실측잡음전압(표 9)

2) 측정결과 분석

단일 열차 운행 시 측정된 잡음전압이 복수열차 보다 더 높거나 같은 경우가 전체 74%를 차지하며 미운행시 측정된 잡음전압이 복수열차 운행 때 보다 더 높거나 같은 경우가 41%를 차지하는 비과학적인 결과가 나타났다.

7. 고속철도변 통신회선에 측정된 유도전압의 실체

고속철도 전차선의 전류가 흐르면 전자기유도현상에 의해 인접 도체인 통신선에 상시유도전압(기본파)이 발생된다.

상시유도전압(일명 유도종전압)은 통신선과 대지사이 60Hz 기본파 전압을 측정하는 것이며, 선대지잡음전압은 통신선과 대지사이 300Hz~4000Hz 사이 주파수만 선별(평가)하여 측정하므로 상시 유도전압과 선대지잡음전압은 전차선 전류의 크기와 흐르는 시간에 비례한 값은

〔그림 3.5〕 상시 유도중전압 측정결과 (측정기 : EPIMG)
(10월20일 13시 11분 ~ 12시 40분)

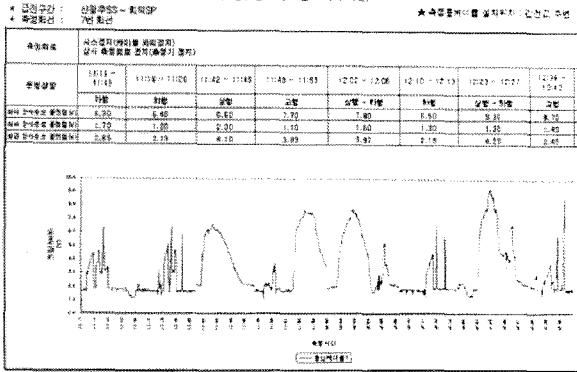


그림 5. 상시유도중전압 측정결과

〔그림 3.1〕 선-대지간 유도잡음전압 측정결과 (측정기 : EPIMG)
(10월20일 13시 11분 ~ 12시 40분)

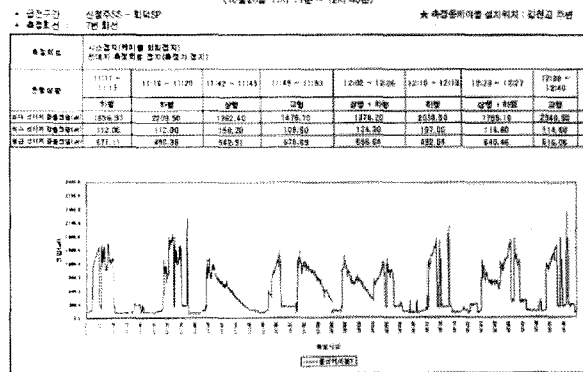


그림 6. 선-대지간 유도잡음전압 측정결과

〔그림 3.3〕 선-대지간 유도잡음전압 측정결과 (측정기 : MITIGATOR)
(10월20일 13시 11분 ~ 12시 27분)

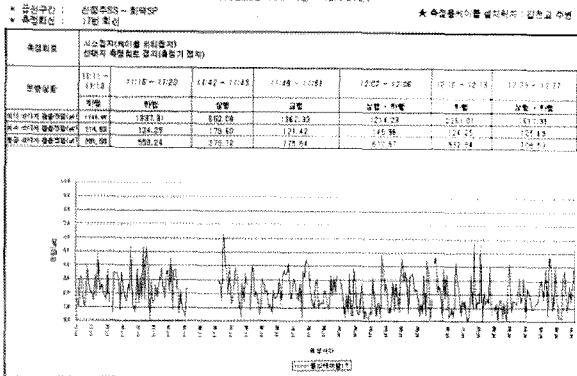


그림 7. 선-대지간 유도잡음전압 측정결과

〔그림 3.6〕 상시 유도중전압 측정결과 (측정기 : EPIMG)
(10월20일 13시 28분 ~ 13시 32분)

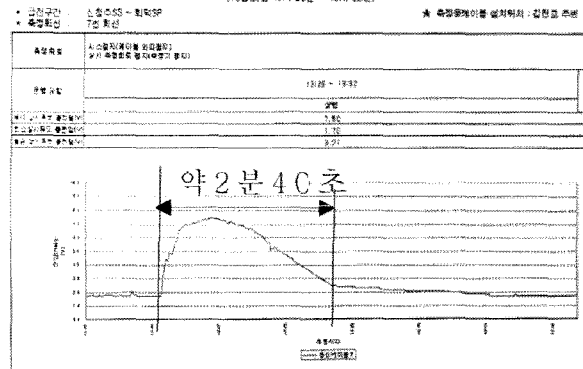


그림 8. 상시 유도중전압 측정결과

〔그림 3.2〕 선-대지간 유도잡음전압 측정결과 (측정기 : EPIMG)
(10월20일 13시 28분 ~ 13시 32분)

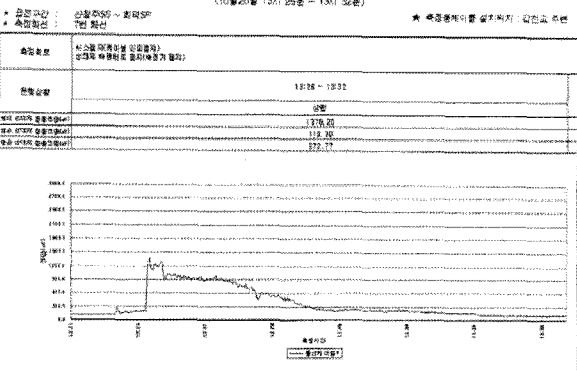


그림 9. 선-대지간 유도잡음전압 측정결과

〔그림 3.4〕 선-대지간 유도잡음전압 측정결과 (측정기 : MITIGATOR)
(10월20일 13시 28분 ~ 13시 32분)

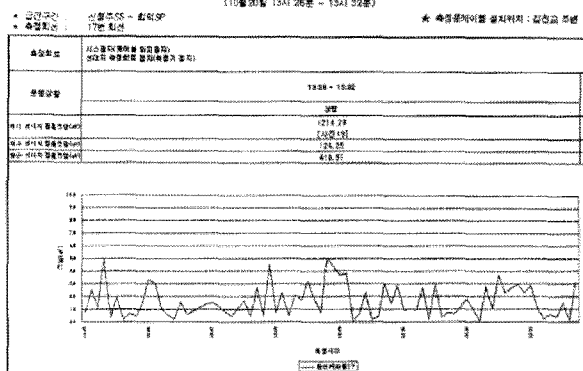


그림 10. 상시 유도중전압 측정결과

의 유도전압이 측정된다.
이와 같은 과학적인 원리를 이용하여 경부 고속철도

변에서 측정된 선대지잡음전압의 실체를 파악하여 보았다.

1) 측정전압 파형 분석

위 그림5~10번 그래프는 2006.10.20 대전시 갑천 둔치에 국정감사 현장 조사용으로 설치된 25P 시험케이블에 측정된 유도전압을 보여주고 있다.

그림 5번, 6번, 7번은 11시:11분~12시40분 사이, 그림8번, 9번, 10번은 13시26분~13시32분 사이 발생한 상시유도전압과 선대지잡음전압을 분석한 것으로 그림 5, 6번은 비례관계가 형성되나 그림 7번은 비례관계가 형성되지 않았으며 그림 8번, 9번은 비례관계가 형성되나 그림 10번은 비례관계가 형성되지 않았다.

- 위 그림 7번과 그림 10번은 표 8의 측정회선 17번에 계측된 잡음전압으로써 동일케이블에 수용된 측정회선 7번과 분명히 다른 형태의 파형을 보여 주고 있다.

이와 같이 같은 시간대에 측정된 잡음전압 파형이 닮지 않았다는 것은 과학적으로 설명되지 않는 것으로 측정회선 17번에 나타난 선대지잡음전압은 대지전위차임이 입증되었다.

2) 시험 결과 특이 사항

- 대부분의 선대지잡음전압 및 상시유도전압은 그림 8과 같이 고속열차가 측정지점을 통과전 후 약 2~3분 동안만 발생한다.

- 전자유도현상은 전차선이 만드는 전기자기장(자속)이 통신선에 쇄교되는 각도에 따라 유도전압은 달라지며 전차선과 수직 방향의 통신선로는 유도전압이 발생하지 않는 것이 과학적인 원리이다.

그러나 수직 구간에서도 그림 8과 같은 닮은꼴의 선대지

잡음전압이 측정되므로 이 전압은 전자기유도현상에 발생된 잡음전압이 아니고 대지 전위차에 의해 발생된 전압임을 2008. 6 한국철도학회 논문집²⁾에 발표한 바 있다.

8. 결론

경부고속철도 전력유도 대책비용이 적절히 투입되었는지 여부는 프랑스와 단순 비교를 해도 대책비용이 과도하게 집행된 것을 확인할 수 있었으며 2001.2부터 2006.10까지 한국고속철도시설공단이 측정한 모든 자료에서도 차폐대책의 효과는 나타나지 않았고 대지전위차가 발생하는 곳에 차폐대책을 할 경우 잡음전압이 오히려 증가한 것과 그동안 공단이 주장해온 “선대지잡음전압이 증가하면 할수록 평형도대수비가 감소한다” 는 주장은 2007.4 전파연구소의 3개 기관 합동 조사에서 그 주장의 오류가 증명되었다.

그리고 2005.2 통신회사가 대책 공사 후 작성한 고속철도 운행구간 유도전압 측정 보고서조차도 고속열차에 의해 발생된 전자유도잡음전압이 아닌 것으로 밝히고 있다.

따라서 향후 호남선 및 경부선 신선구간에 1000억원이 넘는 전력유도 대책 공사는 보다 신중을 기해 불필요한 국가 예산이 낭비되는 일이 없도록 그동안 사용해 왔던 측정방법과 비과학적인 주장에 대한 철저한 검증과 함께 우리나라도 프랑스와 같이 사후대책을 실시할 것을 제안한다. ☺

2) 한국철도학회 논문집 제1권 3호 pp.253 2. 7항 참조(2008.6)