

고속철도 주변 통신선로 전력유도 및 동물피해 원인규명

(Commucation line electric power induction and searching examination of an animal damage around rapid-transit railway)

여상근

(Sang-Kun Yeo)

Abstract

This paper shows quantitatively the cause of electric power induction that was occurred by flowing current when high speed electric car travels and the investigation of earth potential upswing and animal damage example by rail leakage current.

1. 서론

2004. 4. 1 KTX 상업운전이 본격 개통됨에 따라 고속철도 주변에서 발생할 수 있는 전기자기장의 영향에 따른 인체 안전성 여부와 지금까지 밝혀진 AT 급전방식의 장점 중 하나인 전력유도가 경감된다는 개괄적인 주장을 확인하기 위하여 보다 과학적인 방법으로 실제 현장에서 의사선로와 실제 선로를 이용한 실험 실측을 시행하였다.

고속철도 주변 전기자기장 세기와 인체에 대한 안전성에 대한 조사는 TGV 자료와 IEEE 등의 관련 문헌을 바탕으로 고찰하였으며 경북 칠곡군 지천면 지역 애견 사육장에서 KTX 개통이후 만 2년이 경과된 현재까지 20회에 걸쳐 44마리의 강아지가 폐사한 원인을 규명하기 위해 스펙트럼 분석기를 사용, 대지전위 및 대지전위에 포함된 고조파 및 고주파 노이즈를 분석하였다.

강아지 폐사원인이 Step Voltage 에 의한 심장 쇼크사로 볼 수 있어 철도 레일 주변에 흐르는 누설전류 측정 및 고속철도 통과 전후 전계장에 의한 인체에 유도되는 전압을 측정하였으며 전차선에 흐르는 전류에 의해 발생하는 전력유도전압을 정량적으로 파악하기 위해 철도주변 의사선로와 실제 선로를 이용해 유도전압을 측정하였다.

2. 본론

2.1 측정대상 및 위치

AT 급전방식은 레일과 대지와는 저 저항 절연을 통하여 접촉되어 있으며 귀선 전류의 일부는 레일과 대지간의 저 저항을 통하여 구성되어 있으므로 고속철도 레일 주변엔 누설 전류가 흐르게 된다.

이와 같은 누설전류에 의한 철도시설물의 접촉전압을 제한치 이하로 유지시키고 대지전위 발생을 최소화시키기 위하여 레일을 매 Km 당 1옴 이하로 접지를 시키며 또한 귀선로의 임피던스를 낮추기 위해 상하행 비절연매설접지선 연결과 기존선로의 레일분당, 상하행 레일 횡단접속, 공중 보호선 연결 등으로 귀선로의 임피던스는 전차선의 임피던스보다 더 작아 대부분의 전류는 궤도귀로 및 준대지귀로를[1] 통해 변전소측으로 유입되도록 시공되어 있어 정상적인 운행 시에는 대지전위 상승은 있을 수 없으므로 실제 확인을 위해 다음과 같이 측정 대상을 선정하였다.

- 1) 레일 주변지역 대지누설전류
- 2) 레일 주변지역 통신케이블회선
- 3) 전차선 주변 환경 및 시설물

측정지점은 측정 데이터의 정확성을 높이기 위해 다양한 환경 및 장소에서 측정을 하였으며 측정지점은 다음과 같다.

- 1) 경북 칠곡군 지천면 신동리 (신설노선)
- 2) 경북 칠곡군 지천면 용산리 (기존노선)
- 3) 대구시 동구 만촌 1동 주변(동대구역-경산방향)
- 4) 대구시 중구 동인동 주변 (대구역 인접)

2.2 측정방법

고속열차 통과 전후 대지전위 및 인체에 미치는 전

압을 측정하기 위해 스펙트럼 분석기(HP 54520A), 잡음전압측정기(AM-48, AM-402), 디지털테스트 활용, 대지 사이 두 지점에 나타난 전압과 고주파 노이즈를 측정하였다.

두 지점 간 나타난 전압은 전차선과 측정기 리드선 사이 전자유도법칙에 따라 유도된 전압인지 또는 대지 누설전류에 의해 발생된 대지전위차인지 구분하기 위해 철도 레일과 횡 또는 종(병행)방향으로 두 지점간의 전압을 다음과 같이 측정 하였다.

- 1) 철도레일과 병행한 두 지점 전압 및 유도잡음 전압
- 2) 철도레일과 수직(횡)방향으로 구성된 두 지점 간 대지전위,전류측정 및 고주파 노이즈 분석

3) 인체에 유도된 전압측정

통신회선의 전력유도 잡음전압은 정정부 고시 제 2003-6호에 따른 표준시험방법을 준수하였으며 의사선로에 사용된 통신회선은 차폐특성이 전혀 없는 점퍼선 및 비차폐케이블을 500m ~1,800m 사이 다양한 길이를 사용한 중복 실험을 실시하였으며 측정 위치는 전력유도가 최대한 발생될 수 있는 조건으로 레일과 이격거리를 5m ~ 20m 상황에서 레일과 병행하거나 수직 조건에서 측정하였다.

2.3 측정결과

. AT 급전방식의 장점인 전력유도전압이 경감된다는 이론처럼 비 차폐 전화선을 전력유도가 가장 많이 발생될 수 있는 조건으로 약 24개월에 걸쳐 대구, 경북지역 5개소에서 중복 실험을 한 결과 통신회선 전력유도 잡음전압은 대부분 - 80 dBm 이하 Under Level로 계속되어 전력유도잡음전압이 전혀 발생되지 않는다는 것과 임펄스 노이즈 등 과도현상을 측정 하였지만 단 한건의 충격성 잡음도 관측되지 않았다.

- ITU-T 충격성 잡음발생 기준 : Threshold Level -21dBm 에서 15분간 18개 이하 발생
- 측정결과 : ITU-T 기준 보다 더 엄격한 조건. (-28dBm)에서 50분 이상 측정.

. 측정장소 : 신동고교, 동대구역, 지천역부근 .

동물에게 피해를 줄 수 있는 대지전위와 누설전류는 레일과 약 3m 떨어진 펜스 지시대와 30cm 이격된 곳에 접지봉을 박은 후 양 접지체간 전류를 측정할 바 약 12mA 의 전류가 흐르는 것을 확인 하였으며, 전차선 주변 전기장에 의한 인체와 대지사이 나타난 전압을 측정할 바 고속 열차 운행과 상관없이 신장 크기에 비례한

전압이 나타났으며 신장 1m 는 9 V, 1.7m 는 13 V 등 전기장에 의한 전압이 계속되었으며 측정지점에 열차가 통과 시 금속체에 의한 등전위 형성으로 전압이 약 1V 정도로 떨어졌다가 통과 직후 종전 전압이 나타남으로 전차선 주변은 항상 전계의 영향이 미치고 있음을 확인할 수 있었으며, 프랑스 TGV 자료에 의하면 27,500V 전차선 주변, 레일과 4m 이격된 곳의 전계강도는 500V/m 로 밝히고 있다.

국제기관과 각국의 전기장 강도 한도 값은 3KHz ~300GHz 범위로 관리하고 있으며 안전기준은 10KHz 이상의 주파수 영역을 대상으로 하여 상용주파수는 포함되지 않고 있으나 향후 저주파 영역으로 확대되고 있는 추세이므로 국제비전리방사선보호위원회(ICNIRP) 가이드라인을 눈여겨 볼 필요가 있다.

- 시간적 변화에 대한 전기장과 자기장으로서 직업적 노출에 관한 등급에서는 주파수 25Hz ~820Hz 사이는 50V/m으로 정하고 있다.[2]

기존 철로변의 주택은 전차선과 매우 인접한 곳에 주거환경이 노출되어 있어 사람 또는 동물들의 신체 안전에 대한 보다 정밀한 조사가 필요하며, 또한 통신회선에 유도된 전압이 그동안 알고 왔던 페러데이 전자유도법칙에 따라 발생한 전압이 아니라 대지전위 상승에 따른 전압이란 것이 밝혀졌으므로 향후 고속철도 주변 통신회선에 대한 전력유도 대책은 재고되어야 할 것이다.

2.3.1 레일과 수직구간 대지전위

레일 누설전류에 의한 대지전위 발생 정도를 파악하기 위해 동대구역으로부터 부산 방면 약 2Km 되는 지점에서 레일과 수직으로 3m 되는 곳에 접지봉 A를 박고 A 지점으로부터 165m 이격된 B 지점 사이 고속열차 통과 전후 나타나는 잡음전압은 그림 1과 같다. 측정 시간은 약 5분 동안 연속 측정한 값이다.

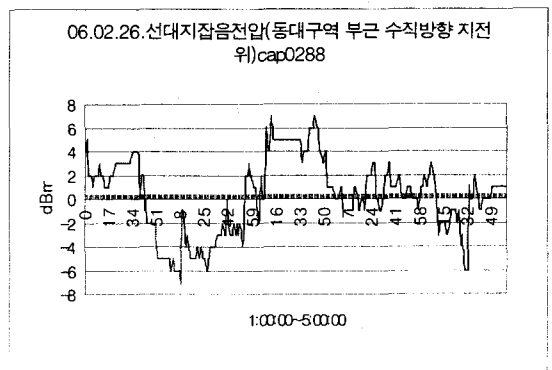


그림 1. 동대구역 주변 대지잡음전압(소포메타릭)
Figure 1. The earth noise voltage around Dongdaegu station(Sophometric).

측정일시 : 2006.2.26 15시58분 ~ 18시03분
그림 1에서 붉은 색으로 표기된 부분은 KTX 부산행 열차가 측정지점 진입 시점부터 완전통과까지 시간을 표시한 것이며 완전통과 시 까지 약 13초간 걸렸으며 시속 약 100Km 속도가 계산된다.
두 지점 간에 나타난 전압은 패러데이전자유도법칙과 무관한 레일과 수직 방향에서 나타난 전압이므로 두 대지 간 전위차로 해석이 된다.

2.3.2 레일 주변 누설전류 측정

경북 철곡군 지천면 용산리 지역 달구벌 애견 사육장의 강아지 폐사 원인을 규명하기 위해 전사 앞부분에서 측정한 대지 누설전류는 표 2와 같다.

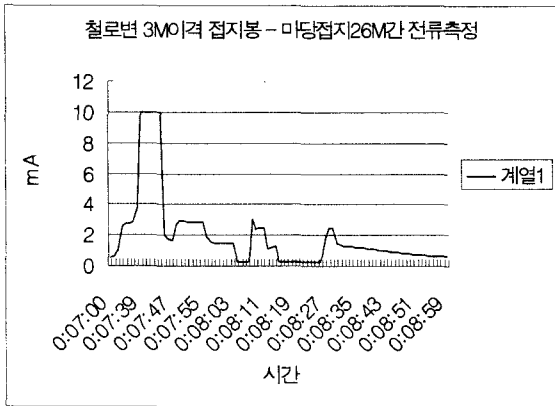


그림 2. 지천지역 대지누설전류
Fig. 2. The earth leakage current around Chicheon area

측정일시 : 2006. 3. 20 17시:37분 ~ 17시39분
그림 2에 나타난 전류는 철로변과 4m 이격된 지점에 접지봉 A를 박고 그곳에서 약22m 이격된 곳에 접지봉 B(철로변과 수직으로 26m 이격)를 박은 후 A,B 지점 간 KTX 통과 전후 전류를 측정한 값이다.
서울발 동대구행 KTX 열차가 측정지점에 도착하는 순간부터 5초간 10mA 이상 전류가 측정되었으나 전류계 측정범위가 10mA 초과시 O.L(Over Lange)로 표기되어 정확한 값은 측정 할 수 없었으나 표 1을 참고로 한다면 그 전류의 범위를 가늠할 수 있다.

경과시간	전압(V)	전류(mA)	비고
------	-------	--------	----

0:00:00	0.20		
0:00:05	0.26		
0:00:10	0.23	부산발 KTX 앞부분 통과	
0:00:15	0.30		
0:00:20	0.89		
0:00:25	2.15		
0:00:30	3.46	부산발 KTX 끝부분 통과	
0:00:35	3.66		
0:00:36	3.67		
0:00:37	3.66		
0:00:38		0.8	
0:00:39		7.7	
0:00:40		12.2	
0:00:41		12	
0:00:42		11.9	
0:00:43		11.5	
0:00:44		11.1	
0:00:45		10.9	
0:00:46		10.6	
0:00:47		10.5	
0:00:48		10.3	
0:00:49		10	
0:00:50		9.7	
0:00:51		6	
0:00:52		4.2	
0:00:53		2.5	
0:00:54		2.3	
0:00:55		2.3	
0:01:00		2.6	
0:01:05		2.4	

표 1. 동대구역 주변 지역 누설전류
Table 1. The leakage current around Dondaegu station

표 1 측정 자료는 2006. 4. 8 18시52분경 동대구역 인접지역에서 철도시설물인 철로변 펜스 지지대와 30Cm 이격된 접지봉 사이에 나타난 누설전류와 전압을 측정 한 것이다.

두 지점 간 이격 거리가 30 Cm 정도에서 누설 전류가 10mA 이상 흐른다는 것은 생후 2개월 된 강아지 앞, 뒤 다리 간격과 비슷하며 표1의 누설전류가 강아지 몸을 통과한다면 어린 강아지의 심장에 충격을 줄 수 있는 그림3 Fibrillating Current 를 참고하면 강아지 폐사원인이 무엇인지 짐작할 수 있다[3]

그 이유로는 전사가 철로변과 4m 정도 떨어진 거리에 있으며 전사 청결 문제로 하루에 2차례 이상 바닥 물 청소와 소독을 실시하므로 전사 바닥이 물기로 젖어 있는 상태에서 강아지의 Step Voltage는 강아지 심장에 충격을 주기엔 충분한 전류가 된다.

Fig 4-
Fibrillating Current Versus Body Weight for Various Animals
Based on a Three-Second Shock

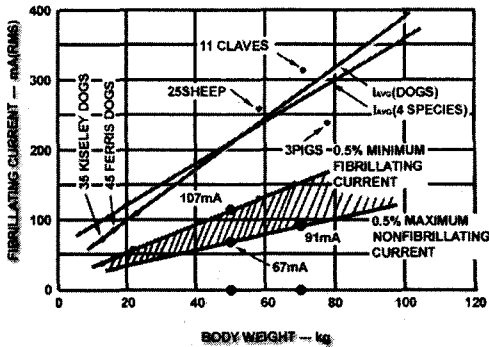


그림 3. Fibrillating Current 와 몸무게
Fig. 3. Fibrillating Current Versus Weight

아래 표 2는 KTX 개통이후 경북 칠곡군 지천면 용산리 소재 달구벌 애견 사육장의 강아지 폐사 내역을 보여 준다.

폐사일	나이	피해내역	비 고
04. 8.22	생후 53일	1마리	와이어포인트
04. 8.25	생후 51일	1마리	"
04. 10.15	생후 55일	4마리	"
04. 11.6	생후 48일	2마리	사모애드
04. 11.6	생후 16개월	4마리	사모애드
04. 11.9	-	1마리	와이어포인트
05. 2.23	생후 62일	6마리	"
05. 3.18	생후 58일	3마리	"
05. 5.15	생후 48일	1마리	사모애드
05. 5.16	생후 48일	1마리	"
05. 6.25	생후 51일	2마리	숫포인트
05. 7.26	생후 54일	5마리	와이어포인트
05. 11.17	생후 56일	5마리	숫 포인트
05. 11.21	6살	1마리	와이어 포인트
06. 1.1	3년 2개월	1마리	세퍼드
06. 2.8	생후 48일	3마리	와이어포인트
06.2.19	생후 49일	1마리	사모애드
06.2.23	생후 42일	1마리	"
06.3.10	--	1마리	와이어 포인트
06.3.12	-	1마리	"

표 2. 강아지 폐사내역
Table 2. The list of animal(dog) damage

2.3.3 레일 병행 구간 대지전위 분석

KTX 신설구간인 경북 칠곡군 신동리 고가교 아래 레일과 병행한 1.2Km 지점 사이 고속열차 통과 시 나타난 전압으로써 측정지점을 연결한 전선에서 유기된 유도전압인지 두 지점 간 나타난 전위차인지 구분은 KRRI 연구 01-59 논문 72/73쪽 레일 전위와 유사한 형태를 띠고 있다.[4]

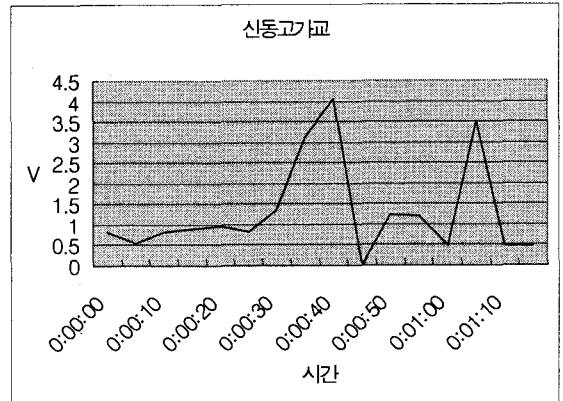


그림 4. 의사선로 유도전압
Fig. 4. The communication line induction voltage

신동고가교 아래 열차 진행방향으로 1.2Km 떨어진 두 지점 간 측정된 전압이 누설전류에 의한 대지전위차에 의한 전압인지 아니면 양 지점 간 연결한 전선에 유기된 전압인지 사전에 구분할 필요가 있다.

패러데이 전자유도법칙에 따라 전차선에 흐르는 등가방해전류에 의한 유도전압이라면 전차선에 흐르는 전류와 비례 관계가 형성되어야 할 것이며(부하전류와 등가방해전류 비례) 대지 누설전류에 의한 전압이라면 레일전위와 유사한 형태의 레일전위가 나타나게 된다.

참고로 측정구간의 환경은 기존 노선과 신설 노선 접경 지역으로 열차 방향에 따라 채동과 견인전류가 지속적으로 흐르는 구간이며 그림 4 에서 나타난 전압변동을 분석하면 고속열차는 시속 140Km의 속도로 주행하는 것으로 나타났으며 초당 약 40m 로 주행 시 SP의 절반 구간인 5Km 를 통과하려면 125초의 시간이 소요되며 그 시간동안 지속적인 전류가 공급되는 조건이면 유도 전압 역시 전류에 비례하는 형태로 측정되어져야 할 것이다.

그럼에도 그림 4는 열차가 통과하는 48초부터 58초 사이 전압이 4V 대에서 1.2V 대로 전압이 급격히 떨어졌다가 열차가 통과된 이후부터 약 5초동안 상승되었다가 10초 이후는 0.5V 대로 떨어지며 지금까지 조사된 레일전위 변동 그래프와 유사하게 나타나므로 고

속열차 통과 전후에 나타나는 전압은 대지전위상승에 의한 대지전위차가 지배적임을 알 수 있다.

전력유도대책이 필요한 통신회선에 나타난 유도전압 역시 고속열차가 약 700m 접근하는 시점부터 통과 후 500m 경과되는 시점에 전압이 높게 나타났다가 평상시 전압으로 떨어지는 것으로 조사되었다.

그림 4 에서 보는 바와 같이 지속적인 등가방해전류에 의해 나타나는 전압은 0.5 V 정도 밖에 안 되며 그 외 전압이 높게 나타나는 부분은 열차 접근 시 누설되는 전류에 의한 대지상승전압으로 해석할 수 있다.

그림 5 는 대구역 주변 실제 통신선로에 나타난 유도전압으로서 그림 4와 유사한 모양을 갖추고 있으며 측정시간 3분이 경과된 시점에 나타나는 전압은 또 다른 열차 접근 시 나타나는 전압이다.

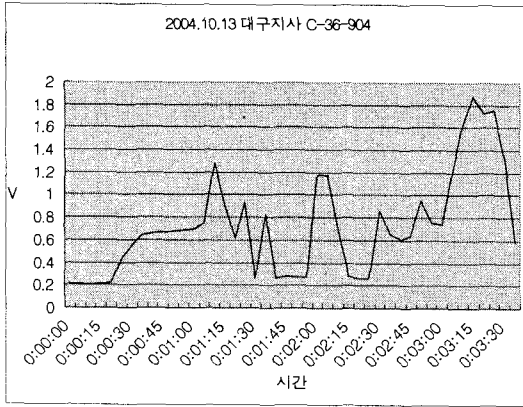


그림 5. 대구역 주변 통신회선 유도전압
Fig. 5. The Communication Line Induction voltage around Daegu-station.

2.3.4 대지전위와 전력유도전압 구분

대지전위는 레일로부터 1m 이내 떨어진 곳을 기준으로 허용접촉전압을 최고 60V로 제한하고 있으며 레일과 접지체간 전압이 허용접촉전압의 2배가 되는 거리 동안은 대지전위가 계속 상승된다.[5]

대지전위 상승이 멈추는 저항구역[1]의 지역은 레일로부터 얼마나 떨어진 거리인가는 향후 정밀 조사할 필요성이 제기된다.

저항구역은 누설전류의 크기와 접지저항에 따라 그 면적이 넓어지므로 접지저항이 불량한 곳에서는 사고시 전류 또는 공중보호선으로부터 유입될 수 있는 서지전압 등은 향후 인체 및 고속철도 신호장비에도 심각한 문제를 야기시킬 수 있으므로 표 1과 같은 전압 및 전류가 등 전위 구간에서 나타났다는 사실은 매우 위험한 상태라 볼 수 있다.

그림 6 과 그림 7 은 접지저항 측정법 중 전위강하법을 사용하는 방식에서 측정 오차가 발생한다는 이론을 근거로 철도매설접지체 주변 지역은 고속열차 누설전류에 의한 저항구역이 넓게 형성되어 있는 조건에서 통신회선의 전력유도잡음전압을 측정할 경우 측정 오차가 발생한다.

- KT 와 KTX 에서는 2001년도 시험선 구간에서 전력유도예측잡음전압과 실측전압을 검증하는 과정 중 대지전위 상승에 따른 전압을 전력유도전압으로 오측하면서 과도한 전력유도 대책을 수립하게 되었다.

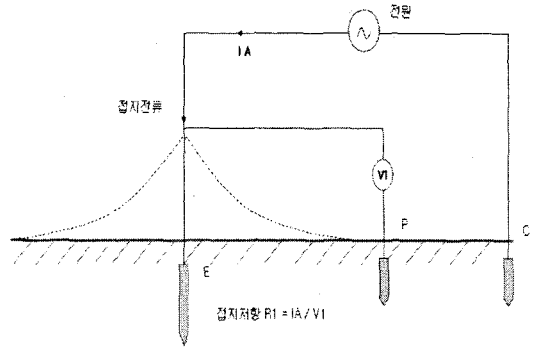


그림 6. 정상적인 접지저항 측정방법
Fig. 6. The Normal ground resistance measurement

아래 그림 6은 접지전극 주변의 전위에 간섭을 받는 곳에 P극을 박았을 경우 V2 의 전압은 그림 5의 V1 전압보다 dV 만큼 감소되어 접지저항 측정오차가 발생한다.

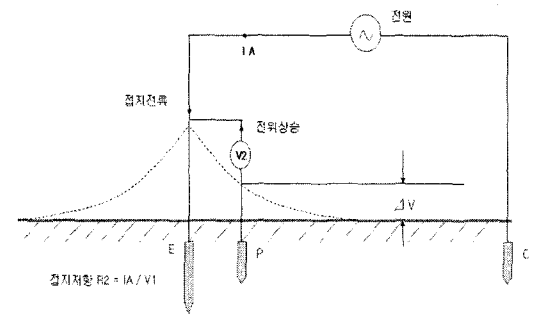


그림 7. 비정상적인 접지저항 측정방법
Fig. 7. The Abnormal ground resistance measurement

2.3.5 독립접지 계통간의 상호 간섭

고속철도 주변에 설치된 통신케이블 접지와 레일 접지는 독립적으로 접지공사를 하더라도 대지를 공유하고

있기 때문에 크든 작든 상호간에 간섭을 일으킬 여지가 있다.

그림 6에 나타난 P극이 통신회선 잡음전압을 측정하기 위해 박은 접지봉이라면 통신과 철도 계통의 접지 전극이 저항구역에 Overlap 되어 한쪽 계통의 접지 전류에 의한 전위 상승이 다른 쪽 계통으로 파급되고 있음을 그림 8에 표현되어 있으며 실제 이와 같은 현상을 입증한 것이 그림 1과 그림 2에 잘 나타나 있다.

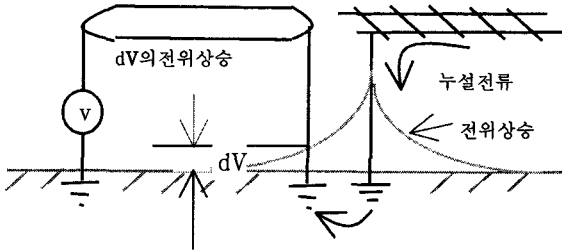


그림 8. 접지계통 상호간섭
Fig. 8. The Mutual Interference between ground system.

이와 같은 유사 사례는 고속철도 레일로부터 이격거리 500m 이내 설치된 통신 회선의 전력유도잡음전압 측정 시 나타난 전압 대부분 저항구역에서 측정된 전압과 유사한 형태로 고속열차가 측정지점에 가까이 접근하거나 멀어지는 경우 짧은 순간에 전압이 나타나고 있는 유도전압변동그래프와 동대구역에서 출발하여 지천역사까지 시속 80 ~ 100Km 속도로 약 9분간 지속적으로 견인하는 열차의 부하전류와는 상관관계 없이 짧은 시간동안 측정된 전압은 그림 8과 같이 레일을 통한 누설전류가 인접 통신회선 유도전압 측정용 접지로 유입되어 측정 오차를 일으킨 경우로 해석된다.

3. 결론

AT 급전방식의 교류선로에서는 레일을 통한 전류가 복귀되므로 레일전위가 상승되지 않도록 완벽한 접지시공과 귀선회로의 임피던스를 최소화하기 위한 레일본딩, 황단접속, 가공보호선 연결 등 완벽한 시공을 하므로 대부분의 전류는 궤도를 따라 흐르지만 어떤 조건에서는 일부의 전류가 대지로 분류되어 흐른다. 여기서 전차선의 임피던스보다 귀선로의 임피던스는 사실상 더 낮은 값을 가지므로 대부분의 전류는 궤도귀로 및 준대지 귀로로 변전소에 유입되므로 등가방해전류에 의한

전자유도전압은 매우 낮아 정보통신부고시 제 2003-6호 기준에 따라 표준시험방법을 적용하면 통신회선 간 잡음전압은 전혀 측정되지 않았으며 AT 변압기 사용시 흐르는 전차선 전류와 귀선전류의 크기는 같고 방향이 반대인 경우 전류 흐름에 따른 자기장 발생 방향이 서로 상쇄되어 전자유도전압이 경감된다는 이론은 실험을 통해 검증할 수 있었다.

대지 누설 전류에 의한 유도 잡음이 발생된다는 일부의 주장은 전류의 흐름이 변전소로 흐르며 궤도 도체와 매설 접지체에 흐르는 전류의 방향과 동일하므로 등가방해 전류를 오히려 낮추는 방향으로 흐르기 때문에 유도전압은 오히려 경감이 된다.

금번 고속철도 누설전류에 따른 대지전위 영향을 조사하면서 발견한 특이 사항은 대지에 흐르는 전류에 포함된 고주파 노이즈는 1KHz 대역에서 5KHz 대역 사이 높게 형성되어 있었으며 특히 10KHz 대역의 잡음 세력은 0 dBm 이상이라는 것을 확인하였다.

이런 누설전류가 흐르는 조건에서 철로변 주변의 접지저항을 측정할 경우 클램프는 테스트나 전위강하법을 이용할 경우 누설전류에 흐르는 고주파 잡음 세력은 접지저항 계측에 영향을 주어 매우 낮은 저항 값으로 나타나 계측 오차를 유발시킬 수 있다.

즉 계측기에 나타난 접지저항은 실제 값보다 매우 낮게 나타난다는 것을 이해하고 매설접지저항 측정 시 계측 오차가 발생하지 않도록 신중한 측정이 필요하며 매설접지체의 접지저항 값은 인체 안전 및 시설보호에 매우 직결된 문제이므로 보다 신중한 접근이 필요하다고 사료된다.

참고문헌

- [1] 川瀬 太郎 저 이종선 역 “접지기술과 접지 시스템” 성안당
- [2] (주)의제전기설비연구원. 전설기술 2004. 9월호
- [3] IEEE STD.80 The Basic Concept of American Grounding Method 참조
- [4] 창상훈, 최규형, 오광해이장무, 이기원, 이한민, 김주락, “교류전기철도접지시스템연구” 논문 P.73/74 (2001)
- [5] 윤용규 “전기철도시스템에서의 터널교량구간 접지방안 연구” 논문 P.9 2002.