

## 고속전철에 의한 통신용 동(copper)케이블 전력유도 대책

오 호 석, 이 영 탁, 정 학 진  
(주)KT 기술연구소

### Power Influence on Telecommunication Copper Cables by High Speed Railway System

Hoseok Oh, Youngtark Lee, Hakjin Jung  
Technology Laboratory, KT

**Abstract** - 전력선이나 전기철도에 인접한 통신용 동(copper)케이블에는 전력선이나 전기철도에 흐르는 높은 전류/전압에 의해 유도전압이 발생한다. 2004년 1월부터 고속전철의 상업 시운전이 시작되고 4월부터는 상업운행이 개시됨에 따라 유도전압으로부터 통신품질 보호하는 것은 매우 중요하다. 본 고에서는 고속전철에 의해 발생하는 유도현상과 유도대책장치인 차폐케이블, 차폐선, INT 등의 기술을 분석하였다.

전차선로에 인접한 통신케이블에 불필요한 전압을 발생시킨다. 이때 통신선과 대지사이에 common mode로 발생하는 전압은 통신기기 및 인체에 대하여 위험전압이 되며, 통신선의 불평형 성분에 의하여 두 심선 사이에 differential mode로 발생하는 전압은 통화를 방해하는 잡음의 형태로 나타난다. AT 급전방식은 급전계통이 복잡하고 전차선로의 전류분포가 일정하지 않아 유도전압 예측계산이 복잡하다.

## 1. 서 론

전력선에 의한 전력유도 현상은 많은 문헌을 통해 이론적으로 분석된 바 있고, ITU-T에서는 전력선이나 전기철도로부터 전기통신시설의 해로운 영향에 대한 지침이 제시한 바 있다[1]. 송·배전선과 같은 전력선이나 전기철도의 전압/전류로 인해 인접되어 있는 통신선에는 전자기유도현상에 의해 유도전압이 발생하며 통신신호에 잡음을 유발하거나 인명의 안전에 영향을 끼칠 수 있다. 2004년 1월부터 상업 시운전이 시작되며 2004년 4월부터는 본격적인 상업운전이 시작되는 국내 고속전철(경부선, 호남선)은 일반 전철보다 영향범위가 넓어 다량의 통신용 동(copper)케이블이 전력유도 영향하에 놓이게 되었다. 따라서 통신품질유지를 위한 보호대책이 필수적인데 대책 기준은 국가에서 지정한 기준값[2]을 초과하는 시설에 한하며, 이를 계산하는 방법은 참고문헌 [3]의 정보통신부 고시를 따르고 있다.

본 논문은 전기철도에 의한 유도발생 현상 및 유도전압기준을 기술하고, 대표적으로 사용되는 유도대책 장치인 차폐케이블, 차폐선, INT(Induction Neutralizing Transformer)의 특징 및 적용방법을 기술하였고, 특히, 이 중에서 경제적이고 효과적인 유도대책 방법으로 사용되고 있는 INT의 경우 기존 음성용을 개량시켜 초고속데이터서비스에도 적합하도록 개선한 결과를 보였다.

## 2. 고속전철에 의한 전력유도 현상

### 2.1 유도전압 발생현상

전철시설에서 전차선과 차량에 전력을 공급하는 방식으로는 삼상 또는 단상 전력을 차량에 급전하는 직접급전 방식이 있으나 이 방식은 레일전위가 높고 누설전류에 의하여 심한 통신장애를 유발하기 때문에 이를 경감하기 위해 BT (Booster Transformer : 흡상변압기) 급전방식과 AT(Auto Transformer : 단권변압기)급전방식이 고안되었고, 고속전기철도는 AT 급전방식을 사용한다. AT 전차선로의 구성은 단권변압기 양단을 각각 급전선 및 보조급전선에 연결하고 변압기권선의 중성점을 레일에 접속한다. AT의 설치목적은 전차선로의 전력공급효율을 높이고 가능한 한 귀로전류를 부급전선으로 되돌려서 대지에 접하고 있는 레일로부터의 대지누설전류를 방지하는데 있다. 그러나 이 방식도 근본적으로 레일에 의한 누설전류 및 급전계통의 불평형을 유발하여

### 2.2 유도전압 기준

국내에서 통신선에 적용하고 있는 유도전압 기준은 표 1과 같다. 이 같은 기준을 초과할 것으로 예상되거나 실제 초과하는 통신선로는 유도대책을 시행해야 하며 기유도원측(고속전철 또는 송·배전선) 또는 피유도원측(통신선) 시설에 합리적인 유도대책 방법을 결정하여 대책을 수립한다.

표 1. 국내 유도전압 기준

구분	제한치
이상시 유도위험전압	650V. 다만, 고장시 전류제거시간이 0.1초 이상인 경우에는 430V로 한다.
상시유도위험종전압	60V
기기동작 유도종전압	15V
잡음전압	1mV

고속전철 시설에 의한 유도전압 예측계산은 철도 노선을 중심으로 양측 각각 1km 범위 내에 있는 통신 시설을 대상으로 한다. 기유도원측에서는 피유도원측으로부터 1km이내에 설치되어 있는 통신케이블루트, 케이블종류 등 시설의 세부 자료를 제공받아 유도전압예측계산을 시행한 후, 이를 피유도원측에 제출하여 피유도원측은 이를 검토하고 서로 확인된 시설을 대상으로 적합한 유도대책방법을 결정한다.

## 3. 유도대책 기술

유도대책장치는 경제성을 고려하여 기유도원측이나 피유도원측 시설에 설치하며, 기유도원측에는 필터 설치나 차폐선 설치 등이 있으며, 통신측은 통신케이블 차폐화, INT 설치, 차폐선 설치, 광케이블화, 루트 변경과 같은 방법이 있다. 여기서는 차폐케이블, 차폐선, INT에 대해서만 다루었다.

### 3.1 차폐케이블

차폐케이블은 일반적으로 사용되는 FS(Foam Skin) 케이블과 달리 알루미늄층이 두껍고 바깥층을 강대(자성체)로 감싸놓아 저주파수대역에서 차폐효과를 발휘하도록 고안된 케이블이다. 차폐케이블은 자성체의 재료, 두께 등에 의해 고유 차폐특성이 결정되며, 설치 후의 실질적인 차폐계수는 접지저항과 도전층의 직류저항 및 자

성체층에 의해 결정된다. 따라서 일반 케이블의 차폐계수를 산출할 때 자성체의 특성  $Z_A$ 를 포함한 식 (1)을 사용하고 있다.

$$K = \frac{R_s + \frac{R_a + R_b}{l}}{R_s + Z_E + Z_A + \frac{R_a + R_b}{l}} \quad (1)$$

- $R_s$  : 도선층의 직류저항 [ $\Omega/\text{km}$ ]
- $Z_E$  : 차폐층의 대지귀로 임피던스 [ $\Omega/\text{km}$ ]
- $R_a + R_b/l$  : 접지의 양단말합성저항 [ $\Omega/\text{km}$ ]
- $Z_A$  : 자성체의 부가임피던스 (=  $r_i + x_i$ )
- $r_i$  : 자성체의 저항 [ $\Omega/\text{km}$ ]
- $x_i$  : 자성체내 자속에 의한 리액턴스 [ $\Omega/\text{km}$ ]

식 (1)에서 자성체의 부가임피던스 계산은 그림 1을 사용한다. 자성체의 부가임피던스는 차폐층의 전류 함수 임을 의미하며  $r_a/P$  와  $x_a/P$  에 대한  $I_s/r_m$  과의 관계를 나타낸다. 여기서 P는 식 (2)와 같이 정의한다.

$$P = \frac{3}{2} \cdot I \cdot f \cdot r_m \quad (2)$$

- t : 자성체 두께 [cm]
- $r_m$  : 강대층의 평균반경 [cm]
- f : 주파수 [Hz]

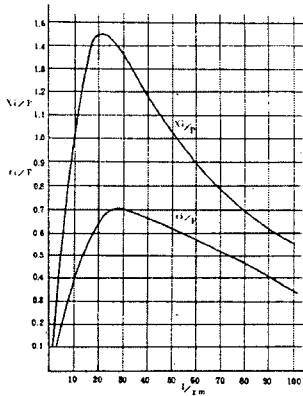
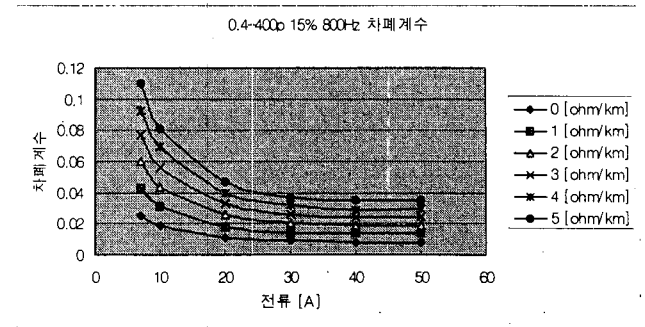


그림 1.  $r_i/p$ 와  $x_i/p$ 에 대한  $I_s/r_m$  관계 곡선

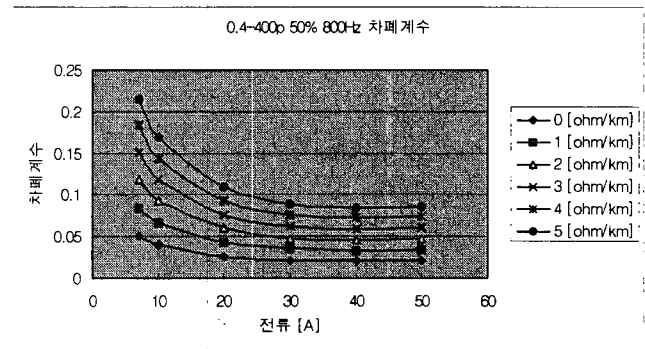
식 (1)에서 알 수 있듯이 차폐케이블은 차폐케이블 실드에 흐르는 전류, 실드의 자기임피던스, 접지저항 등과 밀접한 관련이 있으며 주파수 함수이다. 통신용 차폐케이블의 차폐계수는 심선수에 따라 실드의 자기임피던스가 다르고, 고속전철 운행 조건에 따라 실드에 흐르는 전류가 다르게 발생할 수 있다. 그러나 계산의 편리성을 위해 대표적인 값을 적용하여 사용하기도 한다. 그림 2는 심선경 0.4mm, 심선수 400p를 갖는 두 가지 종류 (15%, 50%)의 차폐케이블을 대상으로 접지의 양단말합성저항과 외피에 흐르는 전류에 따라 계산된 800Hz에서의 차폐계수이다. 여기서 15% 차폐케이블은 0.15를 의미하며 50% 차폐케이블은 0.5를 의미한다. 그림 2에서 케이블 실드에 흐르는 전류가 커지면 차폐효과가 상승하지만 어느 한계를 넘으면 다시 감소하는 경향을 보인다. 또한 접지저항이 커질수록 차폐효과가 감소하는 경향을 보인다.

### 3.2 차폐선

전력선이나 통신선 가까이 병행하여 양단이 접지된 도체가 존재하면 유도전압을 경감시키는 역할을 한다.



(a) 15% 차폐케이블



(b) 50% 차폐케이블

그림 2. 0.4-400p 차폐케이블의 800Hz 차폐계수 이 때의 차폐계수는 식(3)과 같다.

$$\lambda = 1 - \frac{Z_{24}Z_{12}}{Z_{14}(Z_{22} + R_e)} \quad (3)$$

여기서  $R_e$ 는 식(4)와 같고,  $Z_{22}$ 는 차폐선의 자기임피던스,  $Z_{12}$ ,  $Z_{14}$ ,  $Z_{24}$ 는 각각 전력선과 차폐선, 전력선과 통신선, 통신선과 차폐선간의 상호임피던스이다. 상호임피던스와 상호인덕턴스  $M(\text{H}/\text{km})$ 과의 관계는 식 (5)와 같다.

$$R_e = \frac{1}{l}(R_1 + R_2) \quad [\Omega/\text{km}] \quad (4)$$

- $R_1, R_2$  : 차폐선의 양단 접지저항 [ $\Omega$ ]
- $l$  : 차폐선의 길이 [km]

$$Z_{12} = j\omega M_{12}, \quad \omega = 2\pi f \quad (5)$$

만일, 차폐선이 통신선에 가까이 설치해 있다면,  $Z_{12} = Z_{14}$  로 되어 식 (6)으로 근사화 할 수 있다.

$$\lambda_2 = 1 - \frac{Z_{24}}{Z_{22} + R_e} \quad (6)$$

위 수식에서 상호임피던스는 클수록 즉, 통신선과 차폐선의 거리가 가까울수록, 차폐선의 자기임피던스는 작을수록, 그리고 접지저항은 작을수록 차폐효과를 높일

수 있음을 알 수 있다. 또한 위 수식에는 정확히 표현되지 않았으나 임피던스 계산에는 대지비저항값이 포함되어 있으며 대지비저항이 클수록 차폐효과가 상승한다. 따라서 차폐선을 유도대책으로 사용할 경우에도 차폐선의 종류 및 설치 위치를 결정하고, 그 효과를 계산하여 적용할 수 있다. 표 3은 고속전철 유도대책용 차폐선으로 사용되는 ACSR 58mm<sup>2</sup>에 대해 주파수, 대지비저항, 접지저항(양단말합성저항)에 따라 계산한 결과이다.

표 3. ACSR 58mm<sup>2</sup>의 차폐계수

58mm <sup>2</sup> 감심알루미늄연선(ACSR)KSC 3113							
대지비저항 접지저항	주 파 수	100(Ω·m) 이하		100(Ω·m) 초과 - 500(Ω·m) 이하		500(Ω·m) 이상	
		60Hz	800Hz	60Hz	800Hz	60Hz	800Hz
2[Ω/Km]		0.918	0.425	0.913	0.406	0.91	0.398
3[Ω/Km]		0.953	0.461	0.95	0.442	0.948	0.433
4[Ω/Km]		0.968	0.502	0.967	0.482	0.966	0.473
5[Ω/Km]		0.977	0.544	0.976	0.524	0.975	0.515

### 3.3 INT

INT는 그림 3과 같이 양단말이 저저항으로 접지된 1차 권선에 흐르는 전류에 의해 2차 권선(통신회선)에 기전력을 발생시켜 전력선에 의해 통신회선에 발생된 유도전압을 상쇄시키는 기능을 한다. 이 때 1차 권선과 2차 권선은 규소강판으로 제작된 코어에 감겨져 있다. INT는 일반적으로 통신 케이블에 나타나는 유도전압의 전기적 중간지점에 통신회선과 1:1 직렬 접속하여 사용하며 유도전압 경감효과는 60Hz 상용 주파수와 800Hz 잡음전압에 대해 동일하게 90% 차폐효과를 갖도록 제작되었다.

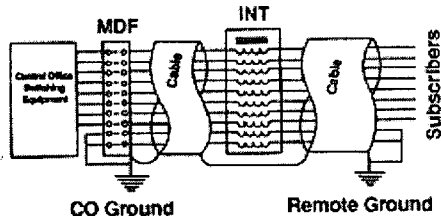


그림 3. INT 구성

INT의 각 회선은 통신케이블에 직렬로 연결되므로 손실이 작을수록 유리하며, 높은 유도전압에도 동일한 유도경감효과를 갖기 위해서는 포화전압이 높을수록 유리하다. 또한 고속전철에 의한 유도전압 영향은 주로 잡음전압이므로 잡음에 대한 경감효과가 클수록 유리하다. 기존에 사용하던 INT는 음성서비스만을 대상으로 설계되었기 때문에 그림 4와 같이 손실이 커 ADSL과 같은 고속데이터서비스를 제공하는데 품질저하를 유발시킨다. 그리고 유도전압 경감율은 90%이지만 최고 350V의 유도전압에 대해 90% 효과를 보장할 수 있었다. 따라서 이를 개선하여 1MHz를 기준할 때 그림 5와 같이 4.5dB를 개선시켰고, 유도전압 경감효과의 경우 60Hz에 대해서는 600V까지, 잡음에 대해서는 30kHz까지 90%의 효과가 있도록 개선하였다. 또한 외형의 경우 기존의 원통형 구조를 직육면체 형태로 변경하여 적층이 가능하여 맨홀내에서 차지하는 공간을 줄일 수 있도록 하였다.

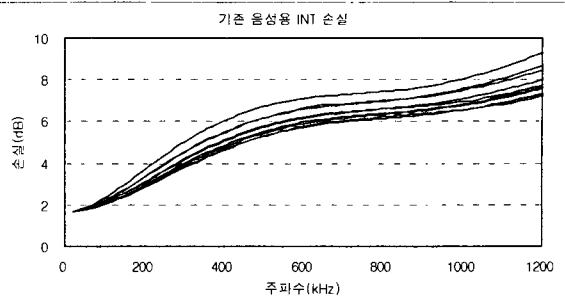


그림 4. 기존 음성용 INT의 회선별 손실 특성

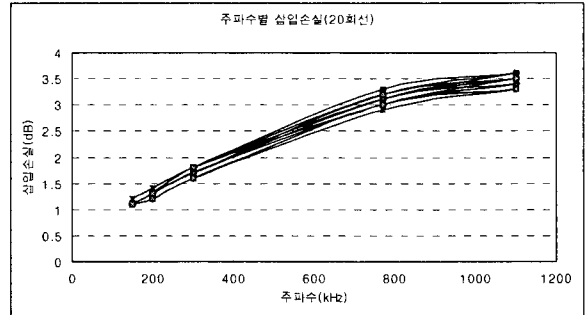


그림 5. 개선된 INT의 회선별 손실 특성

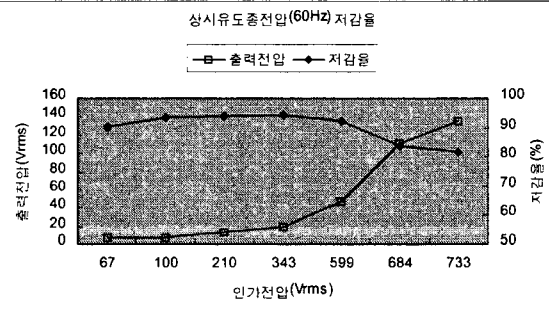


그림 6. 개선된 INT의 60Hz 잡음경감효과

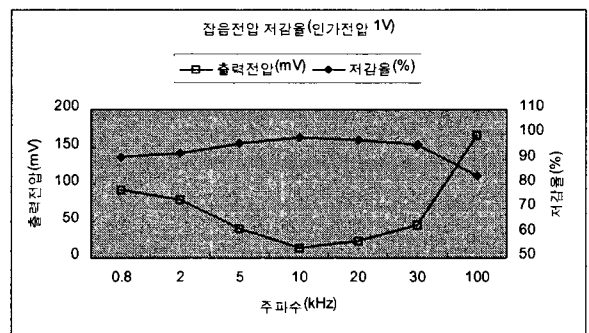


그림 7. 개선된 INT의 잡음전압 경감효과

## 4. 결 론

송·배선전과 같은 전력선이나 전기철도에 의해 통신선에 나타나는 유도전압 현상 및 대책방법은 알려져 있는 기술이지만 고속전철이 국내에 도입됨에 따라 철도 노선 주위에 많은 통신시설이 전자기유도현상에 노출되고 초고속서비스 증가에 따른 통신품질 유지를 위한 유도대책은 매우 중요하며, 대책장치에 대한 기술을 면밀히 분석하여 경제적이고 효과적인 대책방안을 선택하는 것이 필요하다. 본 고에서는 고속전철 유도대책 대책장치인 차폐케이블, 차폐선에 대한 적용방안을 기술하였

고. INT의 경우 ADSL서비스에 적합하도록 손실특성 및 유도전압 경감효과를 개선시킨 결과를 보였다.

[참 고 문 헌]

- [1] ITU-T Directives concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified railway systems, 1989
- [2] 정보통신부령 제116호, 전기통신설비의 기술기준에 관한 규칙
- [3] 정보통신부 고시 제2003-5호, 전력유도의 구체적인 산출방법에 관한 기술기준
- [4] 전기통신협회, 유도(상, 하), 일본, 1970