

### 송전선로 자계 저감 방법

김정부 · 신구용 · 이성두 · 이동일  
중부대학교

## A Mitigation Method to Reduce Magnetic Field of Transmission Lines

Jeong-Boo Kim · Koo-Yong Shin · Sung-Doo Lee · Dong-Il Lee  
Jungbu University

**Abstract** -When 345 kV transmission lines began to be operated in 1976,electrostatic shocks were problems due to high electric field. By reducing the electric field below 3.5 kV/m ,the problems were solved.But recently a transmission line route.is proposed,nearby people strongly object to build the line worrying about the effect of magnetic field,even though they do not really know the magnetic effect. Some environmentalists insists to reduce to reduce the magnetic field to a few mG near the transmission line.So we have studied the mitigation method to reduce magnetic field by two conductor passive loop.

**Key Words** : 전자계, 송전선, 자계 저감 방법,역상배열, 수동루프,

### 1. 서 론

전계에 대한 노출로부터 건강에 해로울 것이라는 첫 번째 암시가 1960년대에 구 소련에서 행한 연구로부터 일어났다.그러나 몇 개의 나라에서 행한 다음 연구는 이러한 발견을 확인하는 데 실패하였다.우리나라에서는 1976년에 처음으로 345 kV 여수-옥천 송전선로와 울산-옥천간 송전선로를 운전하기 시작하였다.송전선로 밑 농경지에서 일하는 농부들과 선로부근 도로에 학생들이 우산을 쓰고 다닐 때 정전유도가 발생한 일이 많았다.초기사업을 설계할 때는 전선의 최저 지상고를 전기설비 기술기준령에 따라 9[m]로 하여 지지물의 높이를 정하였다.전계를 계산한 결과4-7[ kV/m]로 된 곳이 많이 발생하여 이러한 현상이 발생한 것을 알았다.정전유도가 발생은 인체에 해로운 것은 아니고 다만 기분을 좋지 않게 하는 것이기 때문에 이의 발생을 없이 설계하는 것이 타당하다.그 후 전계강도를 3.5 [kV/m] 이하로 유지하도록 지지물의 높이를 증가시키고 신설선로에서는 전계기준으로 전선의 높이를 정한이후로는 이러한 민원사항은 발생하지 않았으며 이후 전계문제에 대하여는 더 이상 거론되지 않았다.현재 우리나라의 전계의 크기는 다른 나라와 비교하여 보면 평균값이 아주 낮은 편이다. 한편 1970년 후반에 들어와서 미국의 Wertheimer와 Leeper가 자계에 대한 노출이 암 위험,특히 어린이 암에 대한,증가할 것이라고 보고하였다.사실상,역학연구를 포함하여 다음 연구의 몇몇

도 또한 자계의 불리한 건강 영향을 암시하였다. 그러나 그들의 연구는 그들의 측정,기계장치의 불확실과 재현성 부족 때문에 많은 회의론이 제기되어 왔다.오늘날도 많은 회의론이 남아 있다.전력설비에서 발생하는 자계는 60 [Hz]이기 때문에 투과력이 약하고 그 크기는 우리 나라 송전선 중심에서 측정하여도 최대 크기의 중간치가 일반 가전제품(T.V)에서 발생하는 자계 수준 정도이고 선로 가까이에 있는 주택은 거리가 많이 떨어져 있기 때문에 이보다 훨씬 적기 때문이다.최근 우리나라에서 자계 기준이 정해졌다.전력설비 부근에서 자계는 ICNIRP(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)에 따라서 833 mG이하로 되어야한다고 전기설비 기준령에 추가하였다.지금까지 최대 송전선 자계의 크기는 규정 값의 15%정도이고 선로의 최대 자계의 중간치는 12.6 mG이다[1].한전에서는 자계의 값을 가능한 최소로 유지하려고 노력하며 이 논문은 실제 적용가능한 방법을 찾으려고 노력하였다.자계 저감 방법은 여러 가지가 있으나 설계 및 시공을 고려하여 본 논문에서 채택한 방법은 지상고 증가방법과 수동루프를 설치하는 것을 채택하였다.

### 2. 자계 저감 방법

자계를 줄이는 방법은 여러 가지가 있다.2회선 송전선에서는 역상 배열(low reactance phase arrangement)이 가장 좋은 방법이다.한전에서는 이 방법이 전계와 자계를 저감하기 위하여 이 방법이 채택되어 오고 있다.도체 높이를 증가시키는 방법이 좋은 방법이나 환경적인 측면에서 보면 시각장애를 일으키고 건설비가 많이 소요되는 것이 결점이다.2회선 송전선로에서는 이미 상 분리한 것과 같으므로 더 이상 채택이 되지 않는다.지중 송전선로 건설도 가공 송전선에 대안이 될 수 있으나 건설비가 많이 들고 소요시간이 많이 걸린다.지반 심여연간 전력선으로부터 극저주파 (ELF;Extremely Low Frequency) 자계를 줄이기위하여 제안되어 왔다.[2]에서는 수평 선로 아래 놓여있는 직렬-보상 수평 루프의 사용을 정당화하기 위하여 Clarke의 변형이 사용되었다.[3]에서는 최대 유도 전류 차폐 루프로 저감이 역상 배열 송전선로에 대하여 선로로부터 약 100 [m]거리까지 저감이 가능하다고 하였다.

## 2.1 차폐 유도 전류

송전 선로에 의해서 생성된 지표면 자기 크기를 줄이기 위해서, 추가적으로 가볍게 절연된 가공 도체를 전력 회선과 지면 사이에 설치할 수 있다. 다른 쪽에 도체들은 폐 회로를 만들기 위하여 저장된 구간 각 끝에서 가로질러서 연결한다. 폐 회로에 의해서 싸여진 순 자계는 전압을 유기해서 결과적으로 폐회로 전류 흐름은 송전선의 자계를 부분적으로 상쇄하는 자계를 만든다. 차폐 루프의 전류 흐름은 폐회로 저항과 유도 리액턴스에 의해서 방해 받는다. 차폐 루프에 설치된 직렬 캐패시터는 루프 리액턴스의 부분을 상쇄해서 유도 와류전류를 증가시킨다. 적당한 캐패시터를 선택함으로써, 차폐 효과를 본질적으로 증가시킬 수 있다[2]. 송전 선로 외에 어떤 외부 전원도 차폐 루프에 공급할 필요가 없다. 또한 루프 전류의 크기와 위상 각은 송전선 부하 전류 크기와 각도에 고정된 관계를 가진다. 그러므로 정상 운전을 위하여 어떤 제어나 조절이 필요하지 않다. 폐회로 RMS 전류 벡터  $I$ 를 다음과 같이 표현될 수 있는 것은 잘 알려진 사실이다[4]

$$I = -Z^{-1}X_p I_p \quad (1)$$

여기서  $Z$ : 루프 임피던스

$X_p$ : 루프와 상간 상호 리액턴스

$I_p$ : RMS 벡터로 주어진 상전류

### 2.2 765 kV와 345 kV 송전선로에 수동 루프 적용

제안된 자계 수준을 만족하기 위하여 도체 높이를 증가하는 방법과 수동루프 설치방법이 동시에 적용되었다. 수동루프만으로는 자계 기준을 만족시킬 수 없기 때문이다.

표1 765 kV 송전선의 자계 기준에 따라 도체 및 수동 루프 높이와 저감률

Table 1 Passive Loop height and mitigation rate according to magnetic field(MF)level of a 765kV line

자계기준 [mG]	도체최소 높이[m]	수동루프 높이[m]	저감률 [%]
833	28		
150	31		
100	40	15	28
30	60	15	49
10	95	15	49
4	145	45	27

표1은 765 kV 송전선로에서 도체 높이를 증가시키는 방법과 수동루프를 채용한 응용결과를 보여주고 있다. 현행 설계에서 765 kV 송전선로의 최저 지상고는 전계기준 3.5[kV/m]를 만족하기 위하여 28[m]가 소요된다. 도체에 흐르는 전류는 최대 전류용량을 흘릴 때를 가정하였다. 현재에는 적은 전류가 흐르지마는 앞으로 계통이 확장될

때를 고려하여 상당 5,514 [A]가 흐르고 2회선 역상배열 때의 자계를 계산하였다. 차폐루프를 설치하지 않았을 때 선로 중심에서 약 240 [mG]이고 2조의 차폐선을 지상고 10 [m]로 설치하였을 때 최대 자계의 크기는 약 160 [mG]로 저감된다. 이는 물론 자계 설계기준 833 [mG]의 크기 이내에 들어온다. 자계 크기 기준을 100, 30, 10과 4[mG]를 가정하고 이들 기준을 만족하기 위하여 요구되는 도체의 최소높이와 수동루프 높이를 계산하여 표1에 나타내었다. 예를 들면 100 [mG]의 자계기준을 만족하기 위하여는 40[m]의 전력선 최소 높이와 15[m]의 지상고를 가진 수동루프가 요구됨을 표1에서 알 수 있다. 표1에서 수동루프 도체의 위치는 2회선 송전선의 맨 아랫 쪽 상 도체의 아래에 소도체의 크기가 같은 도체가 각각 1개씩 설치하는 것으로 가정하였다. 저감률은 차폐선을 설치하였을 때 선로 중앙에서 자계의 감소율을 차폐선을 설치하지 않았을 때의 자계량과의 비율을 말한다. 자계 수준은 선로 중앙에서 발생하는 최대 자계를 말한다. 우리나라에서는 송전선의 지상권을 설정하지 않았기 때문에 선로 중앙에서 자계의 크기를 자계수준이라하나 지상권을 설정하면 지상권 끝에서 자계를 자계수준이라고 함이 타당할 것이다. 수동루프의 유도 인덕턴스를 보상하기 위하여 60[%] 보상 직렬 캐패시터를 전압 조정 없이 사용되었다. 상 도체는 Cardinal 6도체가 사용되고 있다. 으며 이의 최대 전류용량이 5,514[A]이다.

표2 345 kV 송전선의 자계 기준에 따라 도체 및 수동 루프 높이와 저감률

Table2 Conductor & passive loop height and mitigation rate according to magnetic field level of a 345kV transmission line

자계기준 [mG]	도체 최소높이[m]	수동루프 높이 [m]	저감률 [%]
833	18		
100	22	13	24
30	35	15	34
10	50	15	58
4	75	25	35

표2는 345 kV 송전선에서 도체 높이 증가와 수동루프 채용의 응용 결과를 보여준다. 현행 설계에서 345 kV 송전선로의 최소 지상고는 전계크기를 3.5[kV/m]이하로 낮추기 위해서 18 [m]가 소요된다. 상당 도체크기는 ACSR RAIL(480 mm<sup>2</sup>)4도체이며 2회선 역상배열이며 최대 전류용량은 3,668[A]이다. 차폐선의 유도 인덕턴스에 대한 보상은 765 kV 송전선로와 같이 60[%]로 하였다. 이와 같이 수동루프를 설치함으로써 도체 최소 높이를 줄일 수 있어서 대형 지지물의 송전선에서는 경제적이라 할 수 있으나 소형 지지물을 가진 154 kV 송전선로 이하에서는 지지물 높이만 증가시키는 것이 더 유리하다. 표3은 765 kV 송전선로에서 전계 기준 강도를 만족하기 위해서 차폐선 설치에 따라 전선의 지상고 차이를 보여주고 있다.

표3 765 kV 송전선로에서 자계기준에 따라 차폐선 설치 전.후의 전선 최저 지상고 비교.

Table3 The comparison of minimum conductor height before and after installation of passive loop to meet MF in 765 kV transmission line

자계 기준 [mG]	차폐선 설치전 전선 최소 높이[m]	차폐선 설치후 전선 최소 높이[m]
100	46	40
30	75	60
10	116	95
4	164	145

### 3 사회적 비용

앞으로 신설선로만을 고려하여 자계기준 100 mG를 유지하기 위하여는 향후 5년간 매년 전력판매액의 0.11% (약 256억원), 30 mG는 0.82%(1911억원), 4 mG는 6.4%(1조 4912억원)이 소요된다. 위의 계산은 345 kV 이상의 송전선로의 전류 용량은 정격용량의 60%, 154 kV 이하 선로에서의 전류 용량은 정격용량의 100%로 운전하는 것으로 가정하였다.

### 4 결 론

자계를 아주 낮은 수준까지 줄이기 위해서 얼마나 많이 전선의 지상고를 높이고 차폐선까지 설치되어야 함을 알 수 있으며 그렇게 하기 위하여는 막대한 비용이 소요되고 지지물 높이를 높임으로써 또한 시각장애의 환경문제를 발생한다[4].

2도체 수동루프는 최하상 도체 아래에 수동루프를 설치할 충분한 이격거리가 있는 조건에서 기존 선로의 어떤 수정과 정전 없이 사용할 수 있고 자계를 줄이는 데 좋은 접근 방법을 제공한다. 현재 운전되고 있는 선로를 고려한다면 최대 용량시 전류보다 적으므로 최소 높이를 더 줄일 수 있다. 앞으로 이에 대한 연구를 더 진행할 수 있기를 바란다.

#### 감사의 글

본 연구는 2004년도 기초전력연구원의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] D.I.Lee, K.Y. Shin, J.B. Kim, "Health Assessment of Electric and Magnetic Fields from Transmission Lines(1)", KEPRI Technical Report, TR.96EJ29. J1999.243, pp.18-32, 1999.
- [2] R.A. Walling, J.J. Pasrba, and C.W. Burns, "Series-capacitor compensated shield scheme for enhanced mitigation of transmission line magnetic field", IEEE Trans.

Power Delivery, Vol.8, pp.461-469, Jan.1993.

- [3] P. Cruz, C. Izquierdo, and M. Burgos, "Optimum passive shield for mitigation of power line magnetic field", IEEE Trans. Power Delivery, Vol.18, pp.No.4, pp.1357-1362, Oct.2003.
- [4] Jeong-Boo Kim, Dong-Il Lee, Sung-Doo Lee and Koo-Yong Shin, "Social Expense of Extremely Low Frequency Electric and Magnetic Field", ISH2005 Proceedings of the XIVth International Symposium on High Voltage Engineering, pp.37, Aug.2005.