

## Mitigation of Transmission Line Magnetic Field by Installation of Passive Shield-Loop.

金正夫<sup>†</sup> · 申久容<sup>\*</sup> · 申明澈<sup>\*\*</sup>  
(Jeong-Boo Kim · Koo-Yong Shin · Myung Chul Shin)

**Abstract** -In our country most of transmission lines are double-circuit lines. In these lines, the combining method of increasing conductor height and installation of passive shield-loop to mitigate magnetic field near a transmission line, is a good and feasible method. The basic principle of passive shield loop is that the field from the current induced in the shield loop conductors counteracts the field from the phase conductors. This method applied to domestic transmission lines to meet the magnetic field level, 100, 30, 10 and 4 mG, respectively. In each magnetic field level, the minimum conductor height and passive loop height are presented for the implementation of the practical design.

**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 선진국에서 행한 다음 연구는 이러한 발견을 확인하는 데 실패하였다. 우리나라에서는 1976년에 처음으로 345 kV 여수-옥천 송전선로와 울산-옥천간 송전선로를 운전하기 시작하였다. 송전선로 및 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 결과 4-8[kV/m]로 된 곳이 많이 발생하여 이러한 현상이 발생한 것을 알았다. 정전유도가 발생한 인체에 해로운 것은 아니고 다만 기분을 좋지 않게 하는 것이기 때문에 이의 발생을 없애기 위해 설계하는 것이 타당하다. 그 후 전계강도를 3.5 [kV/m] 이하로 유지하도록 지지물의 높이를 증가시키고 신설선로에서는 이 전계기준으로 전선의 높이를 정한 이후로는 이에 대한 민원사항은 발생하지 않았으며 그 이후 우리나라에서 전계문제에 대하여는 더 이상 거론되지 않았다. 현재 우리나라의 전계의 크기는 다른 나라와 비교하여보면 평균값이 아주 낮은 편이다. 한편 1970년 후반에 들어와서 미국의 Wertheimer와 Leeper가 자계에 대한 노출이 암 위험, 특히 어린이 암에 대하여, 증가할 것이라고 보고하였다. 사실상, 역학

연구를 포함하여 다음 연구의 몇몇도 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 가장 높게 나타나는 송전선 중심에서 측정하여도 최대 크기의 중간치가 일반 가전제품(T.V)에서 발생하는 자계 수준 정도이고 선로 가까이 있는 주택은 거리가 많이 떨어져 있기 때문에 자계 크기가 이보다 훨씬 적기 때문에 이런 자계가 어떻게 인체에 영향을 미치겠는가 하는 의문이다. 최근 우리나라에서도 자계 기준이 정해졌다. 전력설비 부근에서 자계는 ICNIRP(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) 기준에 따라서 833 mG 이하로 되어야 한다고 전기설비 기준령에 추가되었다. 지금까지 최대 송전선 자계의 크기는 규정 값의 15% 정도이고 송전선 선하의 최대 자계의 중간치는 12.6 mG이다[1]. 이 논문은 자계를 저감시키기 위해서 실제 적용 가능한 방법을 찾아서 이를 실제 송전선로에 적용한 사례에 대하여 기술하였다. 자계 저감 방법은 여러 가지가 있으나 설계 및 시공을 고려하여 본 논문에서 채택한 방법은 지상고 증가방법과 수동루프를 설치하는 것을 결합한 방법을 채택하였다.

### 2. 자계 저감 방법

자계를 줄이는 방법은 여러 가지가 있다. 2회선 송전선에서는 역상 배열(low reactance phase arrangement)이 가장 좋은 방법이다. 우리나라에서는 전계와 자계를 저감하기 위하여 이 방법이 오래전부터 채택되어 왔다. 도체 높이를 증가시키는 방법이 좋은 방법이나 환경적인 측면에서 보면 시각장애를 일으키고 건설비가 많이 소요되는 것이 결점이다. 2회선 송전선로에서는 이미 상 분리한 것과 같으므로 더

<sup>†</sup> 교신저자, 正 會 員 : 중부대학교 전기공학과 초빙교수

E-mail : jbkim@joongbu.ac.kr

<sup>\*</sup> 正 會 員 : 한전 전력연구원 선임연구원

<sup>\*\*</sup> 正 會 員 : 성균관대 전기공학부 교수(부총장)

接受日字 : 2005年 10月 8日

最終完了 : 2005年 12月 11日

이상 상을 분리할 수 없다. 지중 송전선로 건설도 가공 송전선에 대안이 될 수 있으나 건설비가 많이 들고 소요시간이 많이 걸린다. 지난 십여년간 수동 차폐루프 방법[2]이 전력선으로부터 극저주파 (ELF; Extremely Low Frequency) 자계를 줄이기 위하여 제안되어 왔다. [3]에서는 수평 선로 아래 놓여있는 직렬-보상 수평 루프의 사용을 정당화하기 위하여 Clarke의 변형이 사용되었다. [4]에서는 최대 유도 전류 차폐루프로 저감이 역상 배열 송전선로에 대하여 선로로부터 약 100 [m] 거리까지 저감이 가능하다고 하였다.

**2.1 차폐 유도 전류**

송전 선로에 의해서 생성된 지표면 자계 크기를 줄이기 위해서, 추가적으로 지지물에서 낮게 절연된(표준 현수애자 1개 정도 취부) 가공 도체를 전력 회선과 지면 사이에 설치할 수 있다. 다른 쪽에 도체들은 폐 회로를 만들기 위하여 저감된 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. [3]. 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 I를 다음과 같이 표현될 수 있는 것은 잘 알려진 사실이다 [4]

$$I = -Zl^{-1} Xl_p I_p \quad (1).$$

여기서 Zl: 루프 임피던스

$Xl_p$ : 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. 모의 방법은 수동루프가 없는 경우의 자계 계산은 미국 BPA 전력청에서 개발한 프로그램을 이용하였고 수동루프가 있을 시는 문헌 [4]의 저자인 Cruz 교수가 개발한 프로그램을 사용하였다. 이 프로그램의 원리는 (1)식에서 표현하는 바와 같이 수동루프에 상 도체에 의해서 유도되는 전류가 상도체에 흐르는 전류에 의해서 발생하는 자계를 상쇄하는 자계를 발생하기 때문에 자계가 감소된다.

표1은 765 kV 송전선로에서 도체 높이를 증가시키는 방법과 수동루프를 결합한 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 고

**표 1** 765 kV 송전선의 자계 기준에 따라 도체 및 수동루프 높이와 저감률

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

려하여 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 상도체의 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 자계수준이라고 하나 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.

**표 2** 345 kV 송전선의 자계 기준에 따라 도체 및 수동루프 높이와 저감률

**Table 2** Conductor & passive loop height and mitigation rate according to magnetic field level of a 345 kV transmission line

자계기준 [mG]	도체 최소높이[m]	수동루프 [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 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 차폐선 설치에 따른 공사비의 비율이 높으므로 지지물 높이만 증가시키는 것이 더 유리하다고 할 수 있다..

### 3 결 론

자계를 아주 낮은 수준(예를 들면 4 mG)까지 줄이기 위해서 얼마나 많이 전선의 지상고를 높이고 차폐선까지 설치되어야 함을 알 수 있으며, 지지물 높이를 높임으로써 시각 장애의 환경문제를 발생한다. 자계를 아주 낮은 값으로 줄이기 위하여는 현행 설계보다 몇배의 건설비를 초래한다는 것을 보여줌으로써 이에 대한 주장에 대하여 반론을 제기하며 전력회사에서는 비용을 많이 증가시키지 않는 범위내에서 자계를 줄일 수 있는 방안에 대하여 앞으로 더 연구할 필요가 있다고 본다. .

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 전선의 최소 높이를 더 줄일 수 있다. 앞으로 이에 대한 연구를 더 진행할 계획이다..

### 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. J 1999. 243, pp.18-32,1999.
- [2] U.Jonsson,et al,"Optimized Reduction of the Magnetic Field near Swedish 400 kV Lines by Advanced Control of Shield Wire Currents.Test Results and Economic Evaluation."IEEE Trans. Power Delivery, Vol.9, No.2, April 1994.
- [3] R.A. Walling, J.J. Paserba, 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.
- [4] 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.

## 저 자 소 개



### 김정부 (金正夫)

1943년 11월 14일생. 1971년 서울대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학).1970-2002.한전근무.2002~현재 중부대 전기과 초빙교수

Tel : 041)750-6865

Fax : 041)750-6400

E-mail : jbkim@joongbu.ac.kr



### 신구용 (申久容)

1967년 7월 8일생. 1991년 동아대 전기공학과 졸업. 1993년 경남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년~현재 전력연구원 선임연구원

Tel : 042)865-5853

Fax : 042)865-5844

E-mail : kyshin@kepri.re.kr



### 신명철 (申明澈)

1947년 4월 3일생. 1970년 성균관대 전기공학과 졸업. 1978년 연세대 대학원 전기공학과 졸업(공학) 1978~현재 성균관대 전기공학부 교수(부총장)

Tel : 031)290-5003

Fax : 031)290-7179

E-mail : mcshin@speed.skku.ac.kr