

통계적방법을 이용한 초고압 송전선의 전자계 특성 및 인체 안전에 관한 연구

A Study on Characteristics and Safety for Human Body in ELF Electric and Magnetic Fields using Statistical Method

김 두 현* · 김 상 철**

Doo-Hyun Kim · Sang-Chul Kim

(1995년 11월 13일 접수, 1996년 9월 20일 채택)

ABSTRACT

This paper presents a study on characteristics and safety for human body in ELF electric and magnetic fields using statistical method. The magnetic fields from a power line can be computed given a knowledge of the currents, voltage and geometry of the line. In this paper, a statistical method for predicting the magnetic fields given the inherent indetermination of the currents is presented. But the electric field is calculated given a knowledge of the voltage and geometry of the line. The effect of unexpected fluctuations in current is modeled by the Monte Carlo simulation.

The suggested method is applied to the 345KV and 765KV transmission line system, the result shows that the maximum electric and magnetic field intensity is 6.8627KV/m and 284mG in 345KV system, 2.5590KV/m and 35mG in 765KV system, respectively.

1. 서 론

전자계 연구의 몇몇 유형은 생리학, 질병 그리고 행동에 대한 영향을 찾기 위해 행하여져 왔다. 인간에 대한 실험적 연구, 동물, 단세포, 세포그룹, 그리고 조직에 대한 실험적 연구는 50~60Hz

전자계와 주민들의 다양한 질병 사이의 관계를 찾는 역학적 연구로 이루어져 왔다. 그러나 현재까지 확실하게 인체의 유해를 확정지을 만한 연구는 나오고 있지 않으며 개인과 나라마다 각기 다른 내용과 기준치를 제시하고 있다. 그 중 중요한 연구 결과들을 살펴보면 다음과 같다.

* 충북대학교 공과대학 안전공학과

** 세명대학교 공과대학 산업안전공학과

앨범(A. Ahlbom)은 스톡홀름 소재 카로린스카 연구소에서 1992년 행한 연구에서 고압전선부근에 형성된 전자기장에서의 노출이 어린이의 백혈병 발병과 증대한 연관이 있다는 사실을 발견해냈다.

ELF전자계에 대한 노출이 일반주민의 암에 미치는 영향에 관한 연구로는 1979년과 1982년에 Wertheimer 와 Leeper가 발표한 논문으로 본격화되었다. 그들은 1979년에 발표된 첫번째 논문에서 Denver 지역에서의 전력계통형태와 소아 암 위험도 사이의 관계를 고찰하여 사례집단의 주택에서 비교집단의 주택보다 더 높은 자기장도가 검출되었다고 보고하고 있다. 또한 그들은 1982년에 성인 암에 대한 연구에서도 유사한 결론을 얻음으로써 이 분야 연구에서 대표적인 연구로 평가받고 있다.

뉴욕주의 Power Lines Project에 의한 연구에서 Severson은 암위험과 wiring code, 가정에서 측정된 자계의 강도, 전기담요 사이에 아무런 통계학적으로 의미있는 관련이 없다고 보고하고 있다. 이처럼 국외에서는 전자계가 인체에 미치는 영향에 관하여 많은 연구 결과가 발표되었으나 국내의 연구는 아직까지 여기에 못 미치고 있는 실정이다.

따라서 이러한 인체안전성 문제를 합리적으로 해결하기 위해서는 송전선로 표면의 전계강도 및 송전선로하에서의 전자계에 대한 충분한 이론연구 및 실험 등 전자계의 특성이 완전히 해석되어 저야 가능하지만 완벽한 전자계해석은 현실적으로 어려움이 많은 것이 사실이고 인체의 영향을 해석하는데 있어서는 일반적인 2차원 해석으로도 실측치와 거의 유사하게 유도해 낼 수 있으므로 본 논문에서는 이를 이용하여 해석하고자 하였다.

2차원 전자계를 해석하는 방법으로는 여러가지가 있으나 크게 두가지로 구분하면, 하나는, 전압 및 전류가 일정하다는 가정하에서 전자계를 해석하는 방법과 둘째는, 전압은 일정하지만 전류가 시간에 따라 변화한다는 가정하에 해석하는 방법이 있다. 첫번째 방법에서는 전류가 현실적으로 부하의 변동에 따라 시간적으로 변하는 것을 무시하고 일정하다는 가정하에 해석되고 있는데, 이는 전계의 경우에 있어서 크게 문제될 것이 없으나 자계의 경우에 있어서는 전류의 변화에 민감하다는 것을 고려할 때 다소 불합리한 점이 있다 하겠다.

따라서 본 연구에서는 실질적인 자계 해석을 위하여 Monte Carlo Simulation 방법을 이용하여 전류의 불규칙성을 모델링하였으며 이를 기반으로 자계의 변화를 고려하기 위한 조건부 확률밀도함수를 구하고, 특정한 전류값을 가질 확률을 나타내는 전류의 확률분포함수를 구하였다. 또한 자계 확률밀도함수 및 전류 확률밀도함수를 이용하여 최종적으로 누적확률분포를 구하고자 하였으며, 철탑으로부터 각지점에서의 자계값은 누적확률분포를 이용하여 각각 50%와 95%로 되는 값을 최종적인 해로 설정하였다.

본 논문에서는 현재 우리나라 주 송전전압인 345KV 3상 1회선, 1000A인 송전선과 설치예정인 765KV 송전선을 사례대상으로 하였으며 사례연구 결과를 토대로 인체에 대한 안전성을 평가하고자 한다.

2. 전자계 해석

2.1 전계

본 연구에 있어 전계계산은 다음과 같은 정전계적인 해석방법인 전하영상법에 근거하여 n개의 송전선이 존재할 때 철탑으로부터 떨어진 각 지점의 수평전계와 수직전계 값을 식(3)(4)로부터 최종적으로 구한다³⁾.

$$E_{ex} = \frac{\lambda_{\ell}}{2\pi \epsilon_0} \left[\frac{X_p - X_{\ell}}{R_{\ell 1}^2} - \frac{X_p - X_{\ell}}{R_{\ell 2}^2} \right] \dots\dots\dots (1)$$

$$E_{ey} = \frac{-\lambda_{\ell}}{2\pi \epsilon_0} \left[\frac{Y_{\ell} - Y_p}{R_{\ell 1}^2} + \frac{Y_{\ell} - Y_p}{R_{\ell 2}^2} \right] \dots\dots\dots (2)$$

$$E_{Px} = \sum_{\ell=1}^n E_{ex} \dots\dots\dots (3)$$

$$E_{Py} = \sum_{\ell=1}^n E_{ey} \dots\dots\dots (4)$$

2.2 자계

2.2.1 정자계적 해석

본 연구에서 다루고 있는 인공자계는 전계의 경우와 마찬가지로 할 수 있다. 다른점은 전계의 세기는 송전선의 전압과 관계가 있지만 자계의 세기는 주로 도체를 흐르는 전류, 선로의 배치구조, 선로로부터의 거리 등에 따라 달라진다. 전압과는 다르게 선로에 흐르는 전류는 전력수요에 따라

서 하루동안에도 상당히 변화한다. 또한 대지는 비자성체이고 자계는 대지의 영향을 거의 받지 않기 때문에 지표면에서의 ELF자계는 수직 및 수평 성분을 동시에 가지게 되고 대부분의 물체와 건물에 대해서는 차폐되지 않으며 지중케이블에서 발생한 자계도 대지에 의해 차폐되지 않는다.

AC선로에서 n개의 도체가 존재할 때 전류는 I_1, I_2, \dots, I_n 이 되며 이 전류는 phasor가 된다. 따라서 어떤지점 P에서의 자계 H_p 의 성분은 실수부(H_{px})와 허수부(H_{py})로 표현할 수 있다³⁾.

$$H_{PX} = H_{pxr} + jH_{pxi}$$

$$= \sum_{i=1}^n \frac{I_{\ell r}}{2\pi} \cdot \frac{(Y_{\ell} - Y_P)}{R_{\ell}^2}$$

$$+ j \sum_{i=1}^n \frac{I_{\ell i}}{2\pi} \cdot \frac{(Y_{\ell} - Y_P)}{R_{\ell}^2} \dots \dots \dots (5)$$

$$H_{PY} = H_{pyr} + jH_{pyi}$$

$$= \sum_{i=1}^n \frac{I_{\ell r}}{2\pi} \cdot \frac{(X_P - X_{\ell})}{R_{\ell}^2}$$

$$+ j \sum_{i=1}^n \frac{I_{\ell i}}{2\pi} \cdot \frac{(X_P - X_{\ell})}{R_{\ell}^2} \dots \dots \dots (6)$$

따라서 P점에서의 자속밀도 B_p 는 식(7)으로 표현된다.

$$B_p = \mu \sqrt{H_{px}^2 + H_{py}^2} \dots \dots \dots (7)$$

2.2.2 자계 확률밀도함수

전류의 예기치 않는 변동을 효과적으로 모델링하기 위하여 Monte Carlo Simulation방법을 사용하며, 구해지는 전류치는 정규분포를 갖도록 한다. 이 전류치를 이용하여 자계를 계산한 후 이 자계값을 이용하여 주어진 전류치에서 특정 자계를 가질 확률을 나타내는 자계의 조건부 확률밀도함수를 구하였다. 전류가 i이고 자계가 b일때의 확률을 수학적으로 표현하면 식(8)과 같으며 정규분포화 된 자계의 확률밀도함수를 구할 수 있다.

$$f_{B/I}(b | i) \dots \dots \dots (8)$$

2.3 전류 확률밀도함수

특정전류가 임의의 시간에 선로를 흐르는 확률을 나타내는 전류확률밀도함수 $f_1(i)$ 는 일일 전류치의 변화에 의해 결정할 수 있다.

하루의 전류싸이클을 일일최대, 평균, 최소전류 3단계로 구분한 간단한 근사곡선을 구하였으며 이를 기호로 표시하면 아래와 같다.

I_{d1} : 일일최대전류

I_{a1} : 일일평균전류

I_{d3} : 일일최소전류

a1 : 일일최대전류가 지속되는 시간변동폭

a2 : 일일평균전류가 지속되는 시간변동폭

a3 : 일일최소전류가 지속되는 시간변동폭

여기서 전류가 지속되는 변동폭은 식(9)를 만족하여야 한다.

$$\sum_{n=1}^3 a_n = 1 \dots \dots \dots (9)$$

따라서 일년간의 일일최대전류 값 중에서 최대 전류치를 I_{max} , 최소전류치를 I_{min} 이라 하고, 일일 최대전류는 I_{max} 와 I_{min} 사이에서 일정하게 분포되어 있다고 가정한다. 또한 일일평균전류 및 일일 최소전류도 I_{max} 와 I_{min} 에 적당한 가중치를 부여하면 그 구간내에 일정하게 분포하고 있다고 해석할 수 있으므로 전류에 대한 확률분포는 식(10)에 의해 구할 수 있다.

$$f_1(i) = \frac{a1}{I_{max} - I_{min}} [U(i - I_{min}) - U(i - I_{max})]$$

$$+ \frac{a2}{(I_{max} - I_{min})(I_{d2}/I_{d1})} \left[U\left(i - I_{min} \frac{I_{d2}}{I_{d1}}\right) - U\left(i - I_{max} \frac{I_{d2}}{I_{d1}}\right) \right] + \frac{a3}{(I_{max} - I_{min})(I_{d3}/I_{d1})}$$

$$\left[U\left(i - I_{min} \frac{I_{d3}}{I_{d1}}\right) - U\left(i - I_{max} \frac{I_{d3}}{I_{d1}}\right) \right] \dots \dots \dots (10)$$

2.4 누적확률분포

최종적으로 자계가 특정한 값 B보다 작게 되는 확률을 구하기 위하여 자계의 누적확률분포를 구한다. 이 누적확률분포는 식(8)과 (10)의 곱인 이중적분의 형태 식(11)로 구해지며 전류의 구간은 0부터 I_{max} 의 값으로 된다.

$$p(b < B) = \int_0^B \int_0^{I_{max}} f_{B/I}(b/i) f_1(i) db di \dots \dots \dots (11)$$

Fig. 1은 765KV 철탑으로 부터 1m 떨어진 지점에서 자계에 대하여 위에서 언급한 방법을 이용하여 구한 누적확률분포 그래프이다.

철탑으로 부터 각 지점에서의 자계값은 누적확률분포를 이용하여 각각 50%와 95%로 되는 값을 최종적인 해로 설정하였다. 이와같이 설정한 이유는 송전선아래에서 인체가 느낄 수 있는 자계의 평

권위대치는 자계의 특별한 변화를 고려하여 95%의 값을 최대값으로 산정하는 것이 타당하다고 사료되었으며, 인체가 평균적으로 자계값의 영향을 받는 의미로 50%를 설정하였다. 따라서 본 논문 에 있어서는 95%의 자계치를 자계의 최대값으로 하고 50%를 자계의 평균치로 한다.

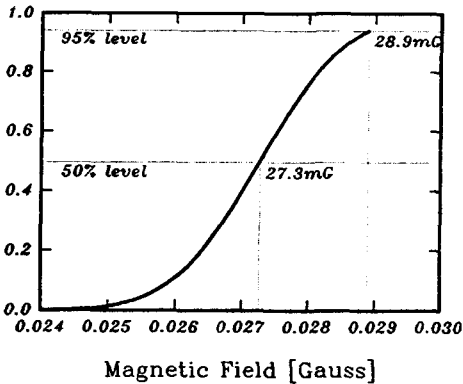


Fig. 1 Typical magnetic field cumulative probability distribution at ground level under the 765KV transmission line

3. 사례연구

본 연구에서 이용된 사례연구는 현재 우리나라에서 사용중에 있는 345KV 3상 1회선, 1000A인 송전선을 대상으로 하였으며, 전계 및 자계 계산은 Table 1의 데이터에 의거 수행하였으며, 전류에 대한 확률분포는 Table 2에 의거 산출하였다. 또한 같은 전류 조건하에서 765KV 2회선 역상배열과 765KV 2회선 순상배열에 관하여도 사례연구하였다.

Table 1 Parameters of line configuration

parameter	345KV/1회선 역상배열	765KV/2회선 역상배열
공칭전압	345KV	765KV
공칭 선로전류	1000 A	1000 A
도체수	2	4
소도체 반지름	1.48 cm	1.48 cm
도체간의 거리	45.72 cm	45.72 cm
선간거리	13.716 m	10.4 m
송전선 높이	9 m	30 m
		42.79 m
		55.58 m

Table 2 Parameters used to calculate magnetic field cumulative probability distribution

annual maximum daily maximum current	1500 Amp./Phase
annual minimum daily maximum current	1125 Amp./Phase
Id1, Id2, Id3	1000, 670, 500 Amp./Phase
a1, a2, a3	0.25, 0.5, 0.25

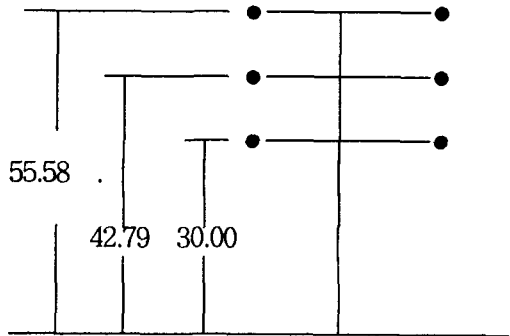


Fig. 2 The Model of Transmission Line Tower of 765KV

3.1 345KV

본 연구에서는 첩탑으로부터 60m 떨어진 지점까지 1m 간격으로 전·자계값을 구하였으며, Fig. 3과 4에 나타내었다.

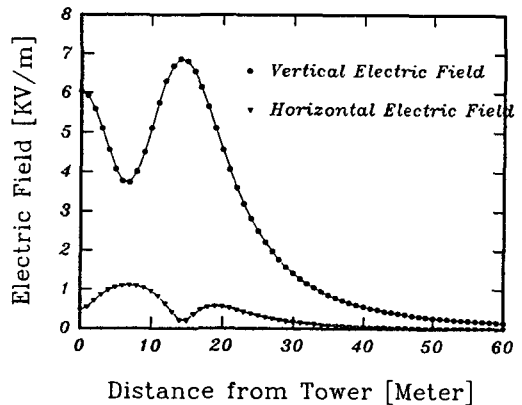


Fig. 3 Vertical and horizontal electric field intensity at ground level under the 345KV transmission line

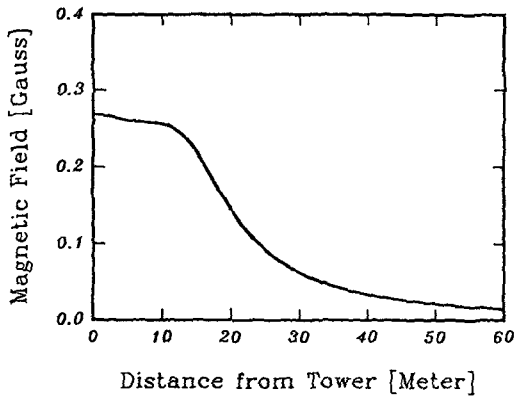


Fig. 4 Magnetic field intensity at ground level under the 345KV transmission line

Fig. 5는 첩탑으로부터 60m 떨어진 각지점에서
의 자계 누적확률분포 그래프이며, 이것은 식(12)
를 이용하여 자계 확률값이 50%와 95%가 되는 자
계의 값을 각 지점에서 각각 선택하여 최종적으로
나타낸 것이다.

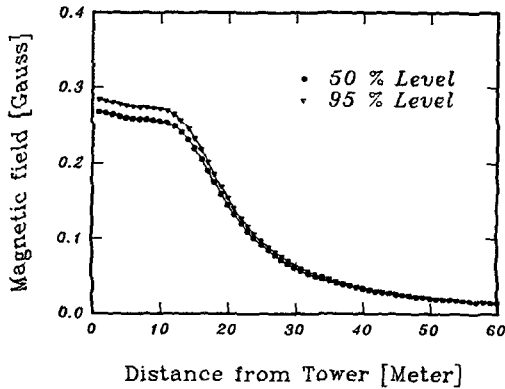


Fig. 5 Probabilistic calculation of magnetic field under the 345KV transmission line

3.2 765KV

Fig. 6은 765KV 역상 2회선에 대한 자계의 확률
적 계산치 그래프이며, Fig. 7은 765KV 순상 2회
선에 대한 자계의 확률적 계산치 그래프이다. 사
례연구 결과 순상배열이 역상배열에 비하여 다소
높은 자계값을 나타내고 있음을 알 수 있다.

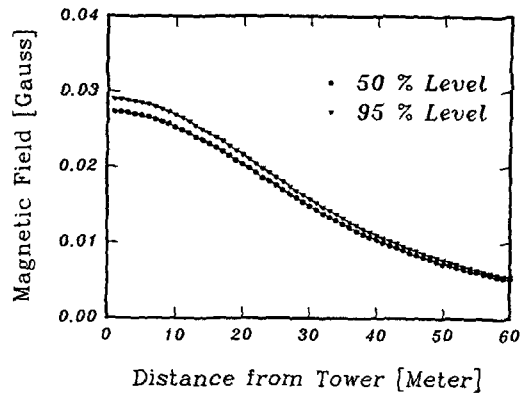


Fig. 6 Probabilistic calculation of magnetic field under the 765KV Inverse transmission line

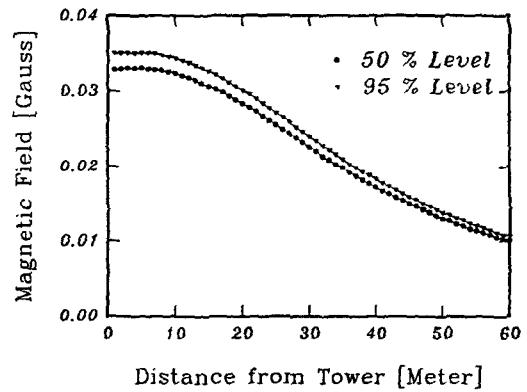


Fig. 7 Probabilistic calculation of magnetic field under the 765KV sequence transmission line

본 연구를 통한 사례연구에 있어서는 현재 우리
나라에서 운용중인 345KV급에서는 최고치가 첩탑
으로부터 14m 떨어진 지점의 전계강도가 6.
8627KV/m를 기록하고 있다. 이러한 수치가 인체
에 결정적으로 유해한 것은 아니나 인체가 유도전
류를 확실히 느낄수 있는 전계강도치는 6KV/m 이
상치임을 감안할 때 현재 우리나라에서 운용중에
있는 345KV 송전선로에 대하여는 충분한 고려를
하여야 할 것이다. 또한 자계값에 관하여는 미국
생물학 연구소 보고서에 의하면 140mG에 이르기
까지 인체에 해롭지 않다는 보고를 하고있으나 사
례연구 결과 첩탑으로부터 1m 떨어진 지점에서의
최대 자계값은 284mG로 나타나고 있다. 송전선

아래에서의 전·자계값은 첩탑의 높이에 따라 매우 유동적인 값을 가지고 있으므로 이에 대한 충분한 심의가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 논문에서는 송전선로에 의한 전·자계의 인체 안전성을 평가하기 위하여 전·자계의 값을 정전계적인 해석방법과 불규칙한 전류의 변화를 고려한 통계적인 방법을 이용하여 계산하였다. 사례연구 결과 345KV에 있어서 전계값은 인체가 전계를 느낄 수 있는 값 6KV/m를 조금 상회하는 6.8627KV/m를 나타내고 있으며 자계값은 최대값이 284mG를 나타내고 있다. 이 결과에 의하면 현재 우리나라 송전선의 경우에 있어 크게 문제될 것이 없으나 첩탑의 높이 따라 전·자계의 값이 유동적이므로 이에 대한 대책이 마련되어야 할 것으로 사료된다. 추후 과제로는 전류의 변동폭 및 년중 최대 전류값 등을 한전에서 실제로 사용중에 있는 값으로 구성하여 인체안전성을 평가하고자 한다.

참 고 문 헌

- 1) Robert G. Olsen "Electromagnetic Fields from Power Lines", IEEE International EMC Symposium, Dallas, pp. 138~143, August, 1993.
- 2) IEEE Committee Report, "An Evaluation of Instrumentation Used to Measure AC Power System Magnetic Fields," IEEE Trans., Vol. PWRD-6, No. 1, pp. 373~383, January, 1991.
- 3) 김두현, 김상철, ELF 전자계 특성 및 인체안전기준에 관한 연구, 한국산업안전학회지, 제 8권, 제3호, 1993.
- 4) N.W. wertheimer, E. Leeper. "Electrical wiring configurations childhood cancer", Am. J. Epidemiology, Vol. 109, pp. 273~284, 1979.
- 5) New York State Power Lines Advisory Panel, Biological Effects of Power Line fields-New York State Lines Project Scientific Advisory Panel Final Report. Albany, NY : New York State Dept. Health, 1987.
- 6) D.W. Zipse, "Health Effects of Extremely Low-Freq. (50-and 60-Hz) Electric and Magnetic Fields" IEEE Trans. Indus. App., Vol. 29, No. 2, MARCH/APRIL 1993.
- 7) R.G. Olsen et al, "Characteristics of Low Frequency Electric and Magnetic Fields in the Vicinity of Electric Power Lines" IEEE Trans. Power Del. Vol. 7, No. 4, Oct. 1992.