

## ELF 전자계 특성 및 인체 안전기준에 관한 연구

### A Study on Characteristics and Safety Criteria for Human Body in ELF Electric and Magnetic Fields

김 두 현\* · 김 상 철\*  
Doo-Hyun Kim · Sang-Chul Kim

#### ABSTRACT

This paper presents a study on the characteristics and safety criteria for human body in ELF (Extremely Low Frequency : 50~60Hz) electric and magnetic fields.

Many researches for ELF electric and magnetic fields, which are developed in the past, are studied and analyzed in this paper. In order to establish the safety criteria for human body in the field, the field intensity, induced current and voltage are calculated by the electrostatic field approach which is far simpler than the electromagnetic field one based on Maxwell equation. The method is applied to the 345 KV transmission line system in operation and 765 KV system under consideration. According to the results, the maximum value of field intensity, 6.8627KV/m, is evaluated at the location which is 14m away from transmission line.

As the safety criteria value by the abroad researches asserting that the human can detect the induced current in 6KV/m and above, 5KV/m and 7KV/m are recommended at residence area and nonresidence area, respectively.

#### 1. 서 론

현대사회는 전기에너지에 의존하고 있다고 해도 과언이 아니며, 전력소비는 계속 늘어나는 추세에 있다. 이렇듯 우리의 생활과 밀접한 관계에 있는 전기에너지는 발전(發電), 송전(送電), 배전(配電) 그리고 최종소비로서 전기기구의 사용에서 필

연적으로 전자계(electric and magnetic fields)에 의 노출을 수반하게 된다.

그러나 전기의 수요는 산업의 고도성장과 더불어 날로 급증하고 있으며 이러한 수요에 부응하기 위하여 각국은 수많은 연구를 통하여 개발된 여러가지 방법에 의존하고 있다. 그중에서 전력손실 감소 및 송전선로의 용지구득률을 해소하고 안정적인 전력의 공급을 위한 계통의 대형화 및 전압의 초고

\* 충북대학교 산업안전공학과

압화는 이미 모든 나라에서 현실로 등장하고 있다. 이에 따른 부작용도 심각하여 하나의 사회 문제로 대두되고 있다.

그중에서도 특히 우리가 사용하는 모든 가전제품과 주변의 송변전 설비 및 송전선 등 고압 전력설비에서 발생하는 초저주파(ELF : Extremely Low Frequency) 전자계는 우리의 생활과 뗄 수 없는 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에 인체의 영향 유무에 관해서 일반국민 및 관련 종사자들의 지대한 관심과 더불어 상당한 논란의 대상이 되어 왔다.

ELF 인공전계의 가장 주된 발생원으로는 고압 가공 선로와 변전소가 있으며 소비자측에서는 가전기기 및 산업용 전기기기 등이 있다. 현재 고압송전선로는 750KV 또는 765KV까지가 대표적이지만 우리나라의 경우 345KV, 소련의 경우 1,100KV까지 운용하고 있으며 여러나라가 1,000KV~1,200KV 또는 1,500KV의 송전선로를 건설중이거나 계획중에 있다. 가공송전선로에서 발생된 전계의 크기는 농작물 또는 지면의 요철 등에 의한 대지의 불규칙한 영향을 피하기 위하여 보통 대지에서 1~2m 높이에서 측정된 전계로 나타내며 이때의 전계는 선로의 전압과 선로의 기하학적 배치, 선로로부터의 거리 등에 따라 달라진다.

송전선하의 전계강도에 영향을 미치는 요인을 들면 다음과 같다<sup>1)</sup>.

- 1) 지표면에 대한 송전선로의 높이
- 2) 송전선로의 기하학적 배치
- 3) 송전철탑에 접지된 금속 구조물의 접근정도
- 4) 나무나 울타리등과 같이 높은 물체의 접근정도
- 5) 송전선로의 중심으로부터 횡방향거리
- 6) 지표면에 대한 측정지점의 높이
- 7) 송전선로의 전압

인간이 송전선하의 전계에 노출되면 성인의 경우 1KV/m당 14~20 $\mu$ A의 전류가 유도되고 유도된 전류는 신장의 제곱에 비례한다고 알려져 있다. 따라서 10KV/m의 전계에 단기간 노출된다고 하더라도 유도되는 전류는 수십  $\mu$ A에 불과하기 때문에 생리적인 위험은 없다고 되어 있다. 하지만 전자계는 도처에 존재하므로 미소한 영향이라 하더라도 국민보건차원에서는 심각할 수도 있다. 특히 산업계에 종사하고 있는 직업적 전기취급자의 안전측면은 결코 가볍게 간과할 수 없는 내용이며 이와같은 전계에 장시간 노출되는 경우, 인체의 신경 및 조

직계통에 미치는 영향이 여러보고에 의해서 나타나고 있다.

이는 전계가 인체에 미치는 영향으로서 다음과 같은 가정에 근거한다. 첫째, 신경계의 기능은 전기화학적 변화(이온의 이동 등)로 지배되므로 전계는 신경계와 관계가 있을지도 모른다 라는 것이며 둘째, 전계에 의하여 스트레스 응답 및 심장혈관기능 변화, 혈관화학변화 등 일반적인 생리학적 변화가 있을지도 모른다는 것이다. 이것은 첫째, 인체 영향을 나타내는 메카니즘이 상당히 복잡하고 둘째, 전자계 노출과 그 영향과의 관계가 노출량과 같은 한개만의 변수에 의해서 결정되는 것이 아니고 여러가지의 매개변수에 의해서 좌우되기 때문이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 현재 운용중인 송전선을 대상으로 전자계의 특성을 분석하고 이에 대한 인체영향을 고찰해 보고자 한다.

## 2. 연구의 동향

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. 그중 중요한 연구결과들을 살펴보면 다음과 같다.

D. W. DENO는 1970년 이후 지표면에서의 전위 정도를 이용하여 송전선이 인체에 미치는 영향을 연구하였으며, 간단한 인체의 노턴(norton) 등가회로와 많은 실험데이터를 가지고 정전유도 전압 및 전류를 계산하는 방법을 제시하였다<sup>2),3)</sup>.

1983년부터 1985년에 걸쳐 R. G OLSEN, K. C. JAFFA 등은 Maxwell 방정식과 회로이론을 이용한 Carson's Theory를 이용하여 송전선로의 전자계의 결합 특성 및 파동 임피던스를 해석하였고 인체에 대한 안전성 평가에 관한 연구를 발표하였다<sup>4)</sup>.

앨범(A. Ahlbom)은 스톡홀름 소재 카로린스카 연구소에서 1992년 행한 연구에서 고압전선부근에

형성된 전자기장에의 노출이 어린이의 백혈병 발병과 증대한 연관이 있다는 사실을 발견해냈다. 엘범은 여태껏 보고된 모든 암발병 사례들을 연대기적으로 다 추적 조사했을 뿐만 아니라 일정한 시간대에 전력선을 통과한 전기량에 대한 기록도 세밀하게 조사했다.

ELF 전자계에 대한 노출이 일반주민의 암에 미치는 영향에 관한 연구로는 1979년과 1982년에 Wertheimer와 Leeper가 발표한 논문으로 본격화되었다. 그들은 1979년에 발표된 첫번째 논문에서 Denver 지역에서의 전력계통 형태와 소아 암 위험도 사이의 관계를 고찰하여 사례집단의 주택에서 비교집단의 주택보다 더 높은 자계강도가 검출되었다고 보고하고 있다. 또한 그들은 1982년에 성인암에 대한 연구에서도 유사한 결론을 얻음으로써 이 분야 연구에서 대표적인 연구로 평가받고 있다<sup>5)</sup>.

그러나 1980년 Fulton은 Rhode Island에서 백혈병에 걸린 어린이들을 노출 집단으로 하여 Wertheimer가 Leeper가 사용한 연구방법을 이용하였지만 백혈병에 걸린 사례집단이 비교집단보다 더 높은 전자계에 노출되었다는 아무런 증거도 발견하지 못했다고 발표하였다<sup>6)</sup>.

1985년에는 Jhonson이 Texas주를 대상으로 신경계통의 암으로 사망한 어린이들과 아버지의 직업에 대해 연구하여 잠재적으로 전자계에 노출된 직종에 근무하는 사람들의 자녀에게서 사망률이 약간 높았다고 발표하였다<sup>7)</sup>.

스웨덴에서 장시간에 걸쳐 실시된 두가지 연구결과는 암발병과 ELF피폭사이의 연관을 명확하게 밝혀주었다. 1992년 9월에 두가지 연구결과가 발표됐다. 그 하나는 여러 작업환경에서 ELF에 피폭된 사람들에게 뇌종양과 백혈병의 발병빈도가 높아진다는 사실을 보여준다. 또 다른 연구결과는 고압선이 지나가는 부근에 사는 어린이들의 백혈병 발생 확률이 평균치의 3배에 이른다는 것을 보여준다.

인간에 대한 전계의 영향을 나타내기 위해 Carstensen은 영국에서 행하여졌던 연구를 관련시켰다<sup>8)</sup>. Eiseman(1976)은 50Hz, 200 $\mu$ A의 전류가 인체 내에서 손에서 손으로 통과되었을 때 아무런 관련 효과가 없다는 것을 발견했다. 표면전극방법을 사용한 다른 유일한 연구는 UK Central Electricity Generating Board(Bonnell et al, 1985)였다. 이

연구에서는 500  $\mu$ A, 50Hz의 전류가 정신작용에 미치는 영향을 위해 인간이 시험되어졌다. 머릿가죽과 어깨 전극이 사용되었고 신체전류 분배는 대략 30KV/m 범위의 고요한 대기에 노출된 것과 같았다. 노출은 55시간 동안 행하여졌다. 대체로 그 결과는 거의 영향을 받지 않는다는 것이다.

Carstensen은 식물과 동물에 미친 ELF 전계의 실험적인 연구에 관한 200 이상의 표를 가지고 있지만 그 실험들의 대부분은 독자적으로 검증받지 못했다. 주목할만한 일련의 관찰·조사가 1976년 Bawin과 Adey에 의해서 행하여 졌다<sup>9)</sup>. Calcium의 감소는 단지 10~50V/m(6~16Hz)의 전계에서만 보여졌다. 다른 주파수와 field강도에서는 아무런 효과도 보여지지 않았다.

뉴욕주의 Power Lines Project에 의하여 위탁받아졌던 Savitz<sup>10)</sup>나 Severson는 그 어떤 연구도 전자계에 의해서 인간이 위협의 현저한 증가를 발견하지 못했다는 것을 알았다. Severson은 암위험(cancer risk)과 전선코드, 가정에서 측정된 자계의 강도, 전기담요 사용 사이에 아무런 통계학적으로 의미있는 관련이 없다고 보고했다<sup>12)</sup>.

P. K. Adair는 Connecticut주의 어린이 백혈병 비율을 1940년부터 1980년 까지의 1인당 전력사용과 비교했다. 어린이 백혈병 비율은 1960년 이래 일정하다. 만약, 실제로 전자계가 어린이 백혈병을 유발시킨다면 증가가 발견되어야 할 것이며 흥미로운것은 만약, 호흡계통의 암이 모든 암의 범주에서 제외된다면 나머지 암 사망율은 감소하였다는 것을 발표하였다.

1979년에 발표된 캐나다의 연구에서는 전계노출을 정량화 하고 전기관련 종사자 30명을 대상으로 뇌파, 심전도, 헤모글로빈, 오줌, 혈구, 혈중칼슘 및 염화물 등 함께 22종류의 검사와 신경학 및 정신 의학적 평가를 실시하였다. 그 결과 노출 지역과 비노출지역간에 차이가 발견되지 않았다고 보고하였다. 이 연구에서는 매일의 전계 노출량의 추정치가 선로작업원이 6.9KV/mh 변전소 작업원이 12.7KV/mh라고 밝히고 있으며 전계영향에 관한 역학적 연구로는 최초로 전계노출량을 표시하여 그 중요성을 인정받았다.

1985년에 Smialowicz는 ELF 전자계의 면역학적인 영향에 대한 고찰을 통하여 혈액 및 면역계통, 또는 세포소에 대해서 ELF 전자계가 심리학

적으로 어떤 영향을 미친다고 설명할 만한 아무런 근거가 없다고 결론을 내렸다. 또한 ELF 전자계에 의해서 유발된 변화는 대부분 일시적이며 미약하다고 하였다.

이처럼 국외에서는 이 분야에 관하여 많은 연구 결과가 발표되었으나 국내의 연구 실적은 아직 미흡하다고 할 수 있다. 따라서 이러한 문제를 합리적으로 해결하기 위해서는 송전선로 표면의 전계강도 및 송전선로하에서의 전자계에 대한 충분한 이론연구 및 실험을 통하여 전자계의 특성이 완전히 해석되어야 가능하다. 본 연구에서는 전자계가 인체에 미치는 영향을 살펴보고 세계각국의 안전기준을 바탕으로 현재 우리나라에서 운용되고 있는 송전선의 전자계값을 전하 영상법에 의한 방식으로 고찰해보고 우리나라 실정에 맞는 안전기준치를 제시하고자 한다.

### 3. 안전기준

#### 3.1 국내

현재 우리나라의 경우 전자계의 영향에 관한 연구가 전무한 것과 관련하여 이에 따르는 규제와 관련법칙 기준은 더욱 찾아보기 어렵다. 다만 1981년 대한전기 협회에서 수행한 조사보고서에서 '우리나라 초고압송전선의 최대 전계강도는 사람의 출입이 자주있는 평지에서는 5KV/m, 사람의 출입이 거의 없는 산지에서는 7KV/m 정도로 추천한다'라고 서술하고 있다<sup>13)</sup>.

현재 전자파 관련 규제기관으로는 체신부와 보사부가 있다. 노동환경과 관련한 기준은 노동부가 마련해야 하나 노동부는 아직까지 작업환경의 전자계 관련기준을 갖고 있지 않다. 다만 전파연구소에서 체신부의 무선기기 형식검정규칙에 따라 제품의 사용환경 적격여부를 확인하는 검사를 수행하고 있을 뿐이다. 하지만 이 규정 또한 제품의 기능과 관련한 전자파 장애에 초점이 맞춰져 있을뿐 구체적인 사용자의 건강과 관련한 장애기준은 되지 못하고 있다.

#### 3.2 국제적인 권고안

1984년 WHO/IRPA(International Radiation Protection Association) 공동으로 세계각국의 보

건당국과 규제당국에 대해 일반국민 혹은 관련직업 종사자가 ELF 전자계에 노출되었을 때의 영향에 관한 정보를 제공하고 위험도를 종합 평가하기 위한 기준을 제공하기 위하여 ELF 전자계의 환경기준에 관한 회의가 GENEVA에서 개최되어 10개항의 결론을 발표하였다. 이에 따르면 10KV/m 이하의 전계강도에서는 개인차는 있지만 출입을 제한할 필요는 없고 1~10KV/m의 전계에 장기간 노출되어도 안전과 위험에 관해서 명확하게 구명할 근거는 없다고 하였으나, EHV 및 UHV 관련 종사자는 적당한 방호장비를 갖추는 것이 바람직하다고 하였다. 또한 1986년 IRPA/INIRC에서는 1~300Hz의 ELF 전자계에 노출된 동물들의 영향에 관해서 조사한 결과 50/60Hz 전계에 대해서 Table 1 과 같은 권고안을 제시하였다.

Table 1 IRPA/INIRC recommendation<sup>1)</sup>

구 분	전계강도	제한시간
직업관련 종사자	10 KV/m	8시간/일
	20 KV/m	2시간/일
일반 국민	10 KV/m	수시간/일
	2 KV/m	24시간/일

#### 3.3 일 본

일본에서는 전기설비에 관한 법률인 Ordinance (Udo, 1983)에서 송전설비에 관한 전계규정을 하고 있으며 지상 1m 높이의 전계강도가 3KV/m를 초과하지 못하도록 하고 있다. 그러나 이것은 농작물 재배지역이나 삼림 등 비거주 지역에서는 적용되지 않는다. 3KV/m에 대한 기술적 근거는 일본 IERE Council(1976)에 의해 이 정도의 전계의 세계에서 우산등과 같은 금속물체에 인체가 접촉하면 유도전류를 감지할 수 있다는 근거에 의해 마련되었다.

### 4. 송전선하의 전·자계 계산

#### 4.1 전계<sup>14)</sup>

IEEE의 전기·전자학 용어사전에서는 전계를 "전계강도 또는 전기적인 흐름밀도의 벡터계"라고 정의하고 있다. 전계는 전하가 다른 전하에 영향을 미치는 힘을 대표하는 것이며 전압의 크기에 따라

또한, Fourier수는 물체의 크기와 어떤 주어진 시간 t동안 그 물체 안으로 온도가 침투된 깊이의 비로 정의되며 아래 식과 같다.

$$F_o = \alpha_s t / R_w^2 \dots\dots\dots (3)$$

여기서  $\alpha_s$ 는 고상 상변화물질에서 열확산 계수이고  $R_w$ 은 냉각관의 반지름이다.

상변화물질의 응고과정중 용융 상변화물질로 부터 방열된 에너지는 다음과 같은 식들로 표현된다.

상변화물질의 초기 온도를 용융온도와 같게 하였을 경우, 응고된 상변화물질을 M이라고 하면 이때 방출되는 잠열에 의한 에너지  $E_\lambda$ 는

$$E_\lambda = \lambda M \dots\dots\dots (4)$$

용기 내 액상 상변화물질이 초기과열도가 존재하지 않는 경우의 응고될 수 있는 최대응고질량을  $M_T$ , 초기과열도가 존재하는 경우의 응고될 수 있는 최대응고질량을  $M_T'$ 라 하면 이 상변화물질이 모두 응고되었을때 방출되는 잠열에 의한 에너지  $E_{\lambda \max}$ 는

$$E_{\lambda \max} = \lambda M_T (M_T') \dots\dots\dots (5)$$

고상 상변화물질의 비열이 일정하다고 하면 응고된 상변화물질이 용융온도 이하로 냉각될때 방출되는 현열 에너지  $E_{s1}$ 은

$$E_{s1} = MC_s (T_m - T_{bs}) \dots\dots\dots (6)$$

여기서,  $C_s$ 는 고상 상변화물질의 비열,  $T_m$ 은 상변화물질의 용융온도이고  $T_{bs}$ 는 응고된 상변화물질의 질량평균온도로 다음과 같이 계산된다.

$$T_{bs} = \int_{R_w}^{r_m} T(r) \rho_s 2\pi r dr / \int_{R_w}^{r_m} \rho_s 2\pi r dr \dots\dots\dots (7)$$

여기서 온도  $T(r)$ 은 반경  $r$ 의 함수이다.  $R_w$ ,  $r_m$ 은 각각 냉각관의 반경과 용기의 중심선으로 부터 상 경계면까지의 거리이고,  $\rho_s$ 는 고상 상변화물질의 밀도이다.

상변화물질의 초기 온도가 용융온도  $T_m$ 와 동일할때 상변화물질에서 방열되는 총 에너지  $E_T$ 는

$$E_T = E_\lambda + E_{s1} \dots\dots\dots (8)$$

액상 상변화물질의 초기온도가 용융온도보다 높은 경우에는 초기온도  $T_i$ 에서 상변화물질이 용융온도  $T_m$ 까지 냉각될때 방열되는 에너지  $E_{s2}$ 를 고려할 수 있으므로 다음과 같이 계산된다.

$$E_{s2} = M \int_{T_m}^{T_i} C_L dT \dots\dots\dots (9)$$

여기서  $C_L$ 은 액상 상변화물질의 비열이다.

일정시간이 경과 후 고상이된 상변화물질로 부터 방출되는 총 에너지  $E_T$ 는

$$E_T = E_\lambda + E_{s1} + E_{s2} \dots\dots\dots (10)$$

와 같이 된다.

### 3.2 응고량

Fig. 3, 4, 5는 초기 과열도를 나타내는 액상 Stefan수가 0이고, 벽면과냉도를 의미하는 고상 Stefan수가 0.061, 0.183, 0.366일 경우, 흰불이 냉각관과 흰불 부착하지 않은 냉각관 표면에서 발생하는 응고량의 무차원값( $M/M_T$ )을 시간의 무차원 함수( $F_oStes \times 10^2$ )로 나타낸 것이다.

여기서 시간 변수로서  $F_oStes$ 을 사용한 것은 상변화를 동반하는 열전도 이론에 의한 것으로 이 무차원 수에 사용된 물성치들은 고상 상변화물질의 용융온도에서 계산된 값이다. Fig. 3, 4, 5 각각의 그림에서 나타난 바와 같이 흰불이 냉각관과 흰불 부착하지 않은 냉각관에서 응고초기(응고시간 15분정도)의 응고질량은 시간이 경과함에 따라 급격히 증가하나 그 후에는 거의 선형적으로 증가하고 있다. 이러한 응고질량의 증가 경향을 나타내는 주된 이유는 첫째, 초기 과열도를 나타내는 액상 Stefan수가 0이 되기 때문이며 둘째, 응고과정시 고상 상변화물질에서 서릿발 같은 수지상의 결정(고상 상변화물질과 같은 물질)이 생성되기 때문인데 이것은 액상 상변화물질과 고상 상변화물질이 접촉하는 경계면적(전열면적)을 확대시키므로 응고가 촉진되어 응고질량을 크게하기 때문이라고 생각된다.

흰불이 냉각관에서 응고질량은 흰불 부착하지 않은 냉각관에서의 응고질량보다 크게 나타났으며 시간이 경과함에 따라서 두 냉각관에서의 응고질량의 차이는 점점 증가하였고 응고시간 60분 경과시에 흰불이 냉각관에서의 응고질량이 흰불 부착하지 않은 냉각관에서의 응고질량보다 각각 156%(Fig. 3), 129%(Fig. 4), 104%(Fig. 5)로 향상되었다.

응고시간 60분이 경과할때 고상 Stefan수가 0.061(Fig. 3), 0.183(Fig. 4), 0.366(Fig. 5)로 증가할수록 흰불이 냉각관에서 응고질량의 값이 Fig. 4는 Fig. 3보다 39% 증가했고, Fig. 5는 Fig. 4보다 47% 증가했다. 흰불 부착하지 않은 냉각관에서는 Fig. 4는 Fig. 3보다 56% 증가하고

$$H_{py} = \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{2\pi} \frac{(X_p - X_i)}{R_1^2} \dots\dots\dots (7)$$

여기서  $R_1^2 = (X_p - X_i)^2 + (Y_1 - Y_p)^2$

AC선로에서는 전류  $I_1, I_2, \dots, I_n$ 은 pahasor이다. 따라서  $H_p$ 의 성분은 실수부와 허수부로 표현할 수 있다.

$$H_{PX} = H_{PXR} + jH_{PXi}$$

$$H_{px} = \sum_{i=1}^n \frac{I_{1r}}{2\pi} \frac{(Y_1 - Y_p)}{R_1^2} + j \sum_{i=1}^n \frac{I_{1i}}{2\pi} \frac{(Y_1 - Y_p)}{R_1^2} \dots\dots\dots (8)$$

$$H_{PY} = H_{PYR} + jH_{PYi}$$

$$H_{py} = \sum_{i=1}^n \frac{I_{1r}}{2\pi} \frac{(X_p - X_i)}{R_1^2} + j \sum_{i=1}^n \frac{I_{1i}}{2\pi} \frac{(X_p - X_i)}{R_1^2} \dots\dots\dots (9)$$

4.3 유도전압 및 전류<sup>2,3)</sup>

자동차, 사람같은 전도체가 전계안에 있을 때 이 물체에 전류·전압이 유도된다. 유도전류는 전계강도, 주파수, 물체의 크기와 형상물체의 내부저항 및 접지저항에 따라서 다르다. 물체가 충분히 접지되었으면 유도전류는 땅으로 흐르므로 이것을 그 물체의 단락전류라 한다. 60Hz 전계 1KV/m에서 어떤 물체에 대하여 측정된 단락전류는 사람(175cm)일 경우 0.016mA이고, Trailer Truck일 경우 0.6mA값을 나타내고 있다. 유도전류 및 전압에 인가될 경우 인체에서 나타나는 현상에 대하여는 참고문헌 14)에서 다루고 있다.

본 연구에서는 지표면에서의 전위경도(Voltage gradient)를 이용하여 송전선으로부터의 정전효과를 산출하였으며, 물체에 유도되는 유도전류 및 전압의 계산을 아래식에 의거 산출하였다.

양발이 지면에 놓여 있으면서 서 있는 사람에게 유도되는 전 전류의 크기는 (10)식으로 된다.

$$I_{sc} = \omega \epsilon E_g \cdot S$$

$$= \omega \epsilon E_g \cdot \pi (h \cdot \tan 35.7^\circ)^2$$

$$= 5.4 \times 10^{-9} h^2 \cdot E_g \dots\dots\dots (10)$$

으로 되고 유도전압은 (11)식과 같이 된다.

$$V_{oc} = \frac{I_{sc}}{(j\omega C_{og} + 1/R_{og})} \dots\dots\dots (11)$$

여기서,

$R_{og}$  : 누설저항  
 $C_{og}$  : 물체의 캐패시턴스

4.4 전자계 계산 흐름도

송전선하에서의 전·자계 및 유도 전류 및 전압을 위에서 언급한 식을 바탕으로 프로그램화 하였다. Fig. 2는 이 프로그램에 대한 흐름도이다.

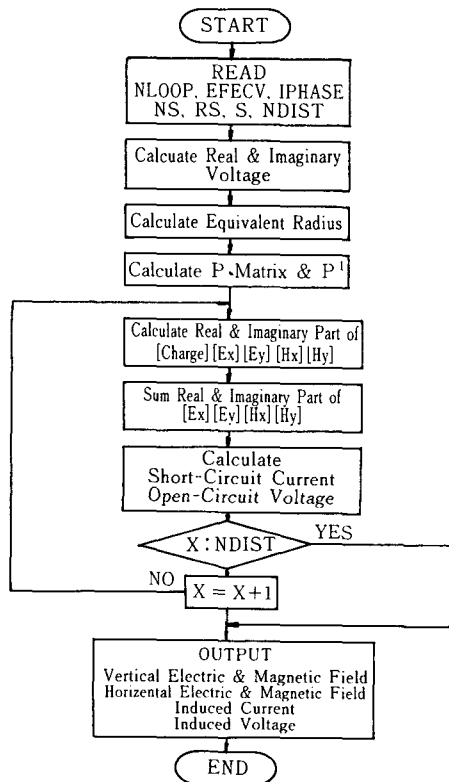


Fig. 2 Flow chart for the calculation of electric-magnetic field and/or induced current and voltage

여기서, NLOOP : 3상 회선수  
 EFECV : 실효전압  
 IPHASE : 역상 및 순상  
 NS : 소도체의 수  
 RS : 소도체의 반지름  
 S : 도체간의 거리  
 NDIST : 철탑으로부터의 거리

$E_x$  : 수직전계  
 $H_x$  : 수직자계

### 5. 사례연구 및 고찰

상기 프로그램에 의거 송전선하에서의 전·자계 및 유도 전류 및 전압 계산치를 구하고 해외의 안전 기준과 현재 국내에서 운용중에 있는 송전선하에서의 전자계 값을 비교하기 위하여 사례연구를 수행하였다.

사례 1 : 현재 국내에서 운용중에 있는 345KV 1회선을 Table 2에 있는 parameter를 가지고 프로그램을 수행한 결과 전자계 및 유도전류와 전압 값들은 Table 2와 Fig. 3~6에 나타나 있다.

Table 2 Parameters of line configuration

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

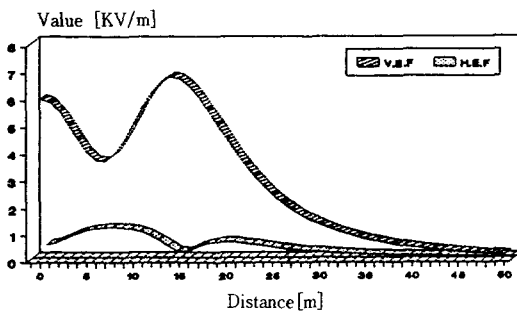


Fig. 3 Vertical and horizontal electric field intensity at ground level under the 345KV transmission line

사례 2 : 국내에서 앞으로 건설될 예정이고 현재 시험 운용중에 있는 765KV 2회 선용에 대하여 2가지 측면에서 수행하여 보았다. 하나는 Table 2.에 표시된 선로 parameter에 의해 시도하였으며 또다른 하나는 철탁의 최저 높이를 10m로 가상하여 수

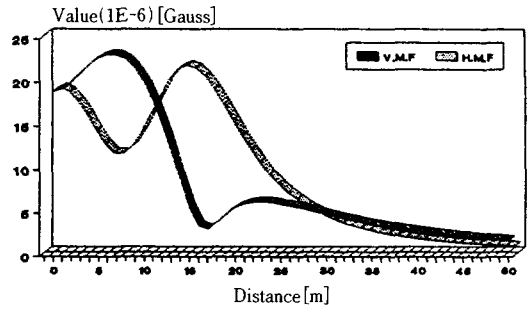


Fig. 4 Vertical and horizontal magnetic field intensity at ground level under the 345KV transmission line

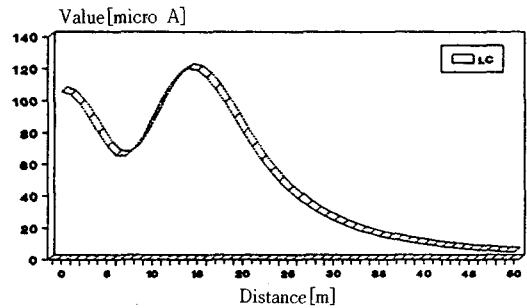


Fig. 5 Induced current in human body under the 345KV transmission line

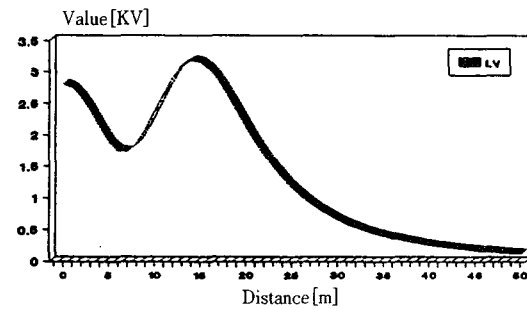


Fig. 6 Induced voltage in human body under the 345KV transmission line

행하였다.

본 연구를 통한 사례연구에 있어서는 현재 우리나라에서 운용중인 345KV급에서는 최고치가 철탁으로부터 14m 떨어진 지점의 전계강도가 6.8627KV/m를 기록하고 있으며 유도전류는 약 120  $\mu$ A 값을 기록하고 있다. 이러한 수치가 인체에 결

Table 3 Electric and magnetic fields intensity and induced current and voltage at ground level under the 345 transmission line

거리	높이	수직전계 [KV/m]	수평전계 [KV/m]	수직자계 [Gauss]	수평자계 [Gauss]	유도전류 [ $\mu$ A]	개방전압 [KV]
0	1.0	6.0457	.4657	.1905E-04	.1885E-04	105.7759	2.8058
1	1.0	5.9270	.5434	.1936E-04	.1845E-04	103.6983	2.7507
2	1.0	5.5938	.7041	.2019E-04	.1734E-04	97.8693	2.5961
3	1.0	5.1100	.8601	.2123E-04	.1573E-04	89.4046	2.3715
4	1.0	4.5686	.9779	.2220E-04	.1395E-04	79.9322	2.1203
5	1.0	4.0823	1.0534	.2291E-04	.1236E-04	71.4245	1.8946
6	1.0	3.7731	1.0935	.2327E-04	.1137E-04	66.0150	1.7511
7	1.0	3.7402	1.1052	.2321E-04	.1129E-04	65.4887	1.7358
8	1.0	4.0058	1.0907	.2269E-04	.1219E-04	70.0356	1.8591
9	1.0	4.5026	1.0454	.2166E-04	.1383E-04	78.7778	2.0896
10	1.0	5.1217	.9600	.2005E-04	.1587E-04	89.6086	2.3769
11	1.0	5.7539	.8251	.1785E-04	.1795E-04	100.6696	2.6703
12	1.0	6.3026	.6392	.1511E-04	.1975E-04	100.2705	2.9250
13	1.0	6.6892	.4172	.1196E-04	.2098E-04	117.0340	3.1044
14	1.0	6.8627	.2118	.8691E-05	.2147E-04	120.0691	3.1849
15	1.0	6.8095	.2035	.5704E-05	.2118E-04	119.1392	3.1603
16	1.0	6.5541	.3532	.3611E-05	.2019E-04	114.6704	3.0417
17	1.0	6.1471	.4782	.3229E-05	.1871E-04	107.5489	2.8528
18	1.0	5.6480	.5501	.4075E-05	.1695E-04	98.8166	2.6212
19	1.0	5.1106	.5737	.5023E-05	.1512E-04	89.4146	2.3718
20	1.0	4.5754	.5616	.5720E-05	.1334E-04	80.0510	2.1234
21	1.0	4.0684	.5270	.6139E-05	.1170E-04	71.1815	1.8862
22	1.0	3.6038	.4808	.6330E-05	.1023E-04	63.0529	1.6725
23	1.0	3.1872	.4305	.6354E-05	.8936E-05	55.7630	1.4792
24	1.0	2.8187	.3807	.6261E-05	.7818E-05	49.3165	1.3082
25	1.0	2.4957	.3340	.6093E-05	.6856E-05	43.6652	1.1583
26	1.0	2.2140	.2918	.5878E-05	.6030E-05	38.7359	1.0275
27	1.0	1.9688	.2544	.5637E-05	.5321E-05	34.4468	.9137
28	1.0	1.7557	.2218	.5384E-05	.4713E-05	30.7171	.8148
29	1.0	1.5702	.1934	.5129E-05	.4190E-05	27.4717	.7287
30	1.0	1.4085	.1689	.4878E-05	.3739E-05	24.6435	.6537
31	1.0	1.2674	.1479	.4634E-05	.3349E-05	22.1736	.5882
32	1.0	1.1438	.1297	.4401E-05	.3009E-05	20.0113	.5308
33	1.0	1.0353	.1141	.4179E-05	.2714E-05	18.1130	.4805
34	1.0	.9397	.1007	.3969E-05	.2455E-05	16.4418	.4361
35	1.0	.8554	.0891	.3771E-05	.2228E-05	14.9660	.3970
36	1.0	.7807	.0791	.3586E-05	.2028E-05	13.6589	.3623
37	1.0	.7143	.0703	.3411E-05	.1851E-05	12.4978	.3315
38	1.0	.6552	.0628	.3247E-05	.1694E-05	11.4635	.3041
39	1.0	.6024	.0562	.3094E-05	.1555E-05	10.5393	.2796
40	1.0	.5551	.0504	.2950E-05	.1430E-05	9.7114	.2576
41	1.0	.5126	.0454	.2815E-05	.1318E-05	8.9676	.2379
42	1.0	.4743	.0409	.2689E-05	.1218E-05	8.2977	.2201
43	1.0	.4397	.0370	.2570E-05	.1128E-05	7.6929	.2041
44	1.0	.4084	.0335	.2459E-05	.1046E-04	7.1455	.1895
45	1.0	.3800	.0304	.2354E-05	.9722E-06	6.6488	.1764
46	1.0	.3542	.0277	.2256E-05	.9052E-06	6.1972	.1644
47	1.0	.3307	.0253	.2163E-05	.8443E-06	5.7857	.1535
48	1.0	.3092	.0231	.2076E-05	.7887E-06	5.4100	.1435
49	1.0	.2896	.0212	.1994E-05	.7379E-06	5.0662	.1344
50	1.0	.2716	.0194	.1916E-05	.6915E-06	4.7511	.1260



정적으로 유해한 것은 아니나 인체가 유도전류를 확실하게 느낄 수 있는 전계 강도치는 6KV/m 이상치임을 감안할 때 현재 우리나라에서 운용중에 있는 345KV 송전선로에 대하여는 충분한 고려를 하여야 할 것이다. 또한 앞으로 운용예정인 765KV급 3상 2회선의 경우 송전선의 최저 높이가 30m일 경우 345KV급보다 다소 전계강도가 떨어지나 철탑의 최저 지상고가 10m일 경우 14.2416KV/m로서 IRPA/INIRC 권고안 보다 높은 수치를 나타내고 있다. 따라서 차기 계획중인 765KV급 송전선로에 있어서는 철탑의 높이에 따라 전계가 매우 유동적인 값을 가지고 있으므로 이에 대한 충분한 심의가 이루어진 다음 운용하여야 할 것이다.

## 6. 결 론

초저주파(ELF) 영역에서의 전자계의 인체에 미치는 효과에 대한 연구는 비교적 최근에 시작되었기에 아직도 알려지지 않은 부분이 많고 그 허용기준치 설정에 있어서 많은 논란이 있는 형편이다. 이것은 전자계의 인체영향이라는 것이 하나의 변수에 의해서 이루어지는 것이 아니라 여러가지 복잡한 상황에 의해서 좌우되기 때문일 것이다. 따라서 본 논문에서는 송전선로에 의한 전자계의 안전기준을 제시하기 위하여 전계, 자계, 유도전류 및 전압을 정전계적인 해석 기법을 이용하여 계산하였다. 정전계적인 해석방법은 간단한 식으로 전자계를 계산할 수 있는 잇점이 있으며 Maxwell 방정식을 이용한 복잡한 식에 의한 결과치와도 거의 정확하게 일치한다고 할 수 있다.

사례연구 대상으로는 345KV 송전선로와 추후에 건설될 765KV 송전선로를 선정하여 검토 고찰하였다. 사례연구 결과로써 현재 운용중인 345KV 송전선로의 전계강도는 선로로부터 14m 지점에서 6.8627KV/m를 나타내고 있다. 각국의 안전기준과 인체가 확실하게 느낄 수 있는 전계 강도치는 6KV/m임을 감안할 때 거주지역의 5KV/m, 비거주지역 7KV/m는 합리적인 권고치라 생각한다.

## 참 고 문 헌

1) 김석주, "ELF전자계의 인체 유해성" 전기학회지 41권 7호, 1992.

2) Don. W. Deno, "Calculating Electrostatic Effects of Overhead Transmission Lines" IEEE Trans. Power App. Syst., Vol. Pas-93, No.5, Sept. 1974.

3) Don. W. Deno, "Currents Induced in the Human Body by High Voltage Transmission Line Electric Field Measurement and Calculation of Distribution and Dose" IEEE Trans. Power App. Syst., Vol. Pas-26, No.5, Sept. 1977.

4) 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.

5) N.W. wertheimer, E. Leeper, "Electrical wiring configurations childhood cancer.", Am. J. Epidemiology, Vol. 109, pp.273-284, 1979.

6) J.P. Fluton et al., "Electrical wiring configurations and childhood leukemia in Rhode Island", Amer. J. epidemiology, Vol. 111, No.3, pp. 292-296, 1980.

7) R.H. Jhonson, "The need for scientific consensus in the courtroom" Appliance, pp. 91-92, June 1990.

8) E.L. Carstensen, "Power lines and cancer? Overview of research on biological effects of ELF fields" Univ. of Rochester, NY.

9) S.M. Bawin and W.R. Adey, "Intersaction between nervous tissues and weak environmental electric fields", Nat. Acad. Sci., 1976.

10) D.A. Savitz, "Human health effects of extremely low frequency electromagnetic fields-critical review of clinical and epidemiologic studies", in Proc. IEEE Winter Power Mtg., Feb. 3, 1986.

11) K.R. Forster, "Weak magnetic fields : A cancer connection?" Contained in Rutgers University course "Management of electromagnetic energy hazards : Critical issues-Relevant strategies." handout, Univ. of Pennsylvania, Philadelphia

12) 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.
- 13) 김정부, 민석원, “환경장해 측면에서 765KV(2회선) 차기 초고압 송전선 도체 선정에 관한 연구”, 전기학회지, Vol. 35, No.8, 1986.
- 14) T.M. Mccauley, “EHV and UHV Electrostatic Effect : Simplified Design Calculations and Preventive Measures” IEEE Trans. Power App. Syst., Vol. Pas-93, No.5, Sept. 1974.
- 15) D.W. Zipse, “Health Effects of Extremely Low-Frequency(50 and 60-Hz) Electric and Magnetic Fields” IEEE Trans. Indus. App., Vol. 29, No.2, MARCH/APRIL 1993.
-