

송전선로 부근과 가전제품의 전자계 측정

Measurements of Electric and Magnetic Fields in the Vicinity of Transmission Lines and Electric Appliances

김상범 · 조성배 · 이동일 · 신구용 · 김정부

Sang-Beom Kim · Sung-Bae Cho · Dong-Il Lee · Koo-Yong Shin · Jeong-Boo Kim

요 약

최근 국내 전력설비에서 발생하는 전자계에 대한 관심이 증가하고 있지만 이에 대한 정확한 자료 파악은 극히 미미한 실정이다. 본고에서는 송전선로에서 발생하는 전기와 자계의 수준을 알아보기 위하여 전국 153개의 송전선로를 대상으로 전기와 자계를 측정하였다. 측정 지점의 전기와 자계 최대치들의 중간값은 각각 0.47 kV/m, 11.6 mG 최고 값은 각각 3.16 kV/m, 125 mG로 나타났으며, 전세계의 전자계 관련 권고치나 기준치에 비해 낮은 값을 알 수 있었다. 아울러 몇 가지 경우에 대하여 가전제품에서 발생하는 자계와 일일 자계 노출량을 측정하였고 이를 송전선로의 자계 크기와 비교하였다.

Abstract

In spite of increasing public concern about the human exposure to electric and magnetic fields(EM-Fs), there is little information about the EMF levels in the vicinity of power facilities and of home appliances. To provide such information, a nationwide survey for EMFs near overhead transmission lines has been conducted. The median values of the electric fields and magnetic fields of 153 transmission lines were 0.47 kV/m and 11.6 mG, respectively. The maximum values were 3.16 kV/m and 125 mG. These were low values in comparison with any EMF guidelines or standards of advanced countries. Measurements of the magnetic fields of typical home appliances and daily human exposure records have been also conducted. These magnetic field values were comparable to those of the transmission lines.

Key Words : Electric and magnetic field(EMF), Transmission line, Electric appliances, Daily exposure.

I. 서 론

전계가 인체에 좋지 않은 영향을 줄 수 있다는 가설은 1960년대 구소련의 아사노바 개폐소 노동자들이 보통 사람들과 다르게 수면부족, 두통, 호흡곤란 증상 등을 호소함으로써 비롯되었다. 소련 정부는

이 증상들이 전기와 관련있는지의 여부를 밝히고자 연구를 시작하였고, 그 결과를 1972년 CIGRE 총회에서 발표하였다^[1]. 그러나 이를 검증하기 위하여 서방 여러 국가에서도 연구하였지만 전계가 유해하다는 증거를 찾지 못하였다^[2]. 또한, 전계는 주위의 건물이나 수목 등에 의해 쉽게 차폐되는 성질이 있기 때문에 전기에 대한 실질적인 노출량은 매우 적

한국전력공사 전력연구원 765 kV 송변전그룹(Korea Electric Power Co., KEPRI, 765 kV Transmission and Substation Group)

· 논문 번호 : 980529-055

· 수정완료일자 : 1998년 8월 14일

우리라 예상되므로 최근에는 자계에 대한 관심이 더욱 높아지고 있다. 자계의 유해성 논란은 1979년 Wertheimer와 Leeper^[3]의 'Wire code'를 이용한 역학(疫學, Epidemiology) 연구로부터 시작되었다. 송전선에 인접한 가정에서의 어린이 백혈병 발병율이 2배 이상 증가한다는 결과였다. 그러나 Savitz^[4]가 사용한 자계를 직접 측정하는 방식에서는 영향이 없다는 결과가 얻어졌고, 그 후에도 미국을 포함한 선진국에서 많은 연구를 수행하였으나 전자계가 인체에 영향을 줄 수 있다는 근거를 찾지 못하였다.^{[5]~[6]}

한편, 국내에서는 송전 계통이 초고압화됨에 따라 전력 설비에서 발생하는 전자계에 대한 지역 주민들의 관심이 높아지고 있는 실정이다. 더구나 최근 개인 휴대통신이 급속히 보급되면서 이로부터 발생하는 전자기파(전자파)가 인체에 미치는 영향에 대한 관심도 어느 때보다 높아지고 있다. 전자기파는 ionizing 복사선의 일종인 X-선, 감마선 등 주파수가 아주 높은 것에서부터 적외선, 가시광선, 자외선을 포함하는 태양 광선, 가정에서 흔히 사용하는 전자레인지에서 발생하는 마이크로파, 텔레비전이나 라디오 수신파 등 주파수 별로 매우 다양하게 분류할 수 있다. 이들 전자기파는 X-선이나 감마선을 제외하고 우리가 일상 생활에서 알게 모르게 항상 경험하게 되는 것들이다.

넓은 의미로 해석할 때, 전력 설비에서 발생하는 전자계도 전자기파의 일종으로 간주할 수 있으나, 그 주파수가 50 혹은 60 Hz로 아주 낮기 때문에 전력 설비로부터의 거리에 따라 크기가 급격히 감소한다는 점에서 주파수가 높은 다른 전자기파와 크게 구별된다. 전자계 역시 자연적, 인공적 근원으로 부터 우리는 매일 경험하고 있다. 지구는 거대한 자석의 일종으로서 약 500 mG의 정적인 지구 자계에 우리는 항상 노출되어 있다. 또, 현대 사회에서 필수적인 전기의 사용으로 인위적인 전자계에 대한 노출도 항상 경험한다. 집집마다 사용하고 있는 TV, 냉장고, 전자레인지 등 필수 가전제품 뿐만 아니라 컴퓨터, 복사기, 승용차 등등 실로 다양한 기기로부터 전계와 자계가 발생된다. 특히 송전선로에서 발생하는 전자계는 고압선이라는 선입견으로 인하여 더욱 큰 관심과 우려를 불러 일으키고 있는

실정이다. 따라서 국내 송전선로에서 발생하는 전자계의 수준을 정확하게 파악하는 것은 현시점에서 매우 절실하다고 할 수 있다.

각종 기기로부터 발생하는 전자계와 개인별 자체 노출량의 측정에 대해서는 이미 많은 연구가 수행되었다.^{[7]~[9]} 그러나 국내에서는 일부 송전선로의 전자계 측정^[10]과 직업인에 대한 자체 노출량 측정^[11]이 수행되었지만, 전국의 송전선로를 대상으로 광범위하게 전자계를 측정하는 연구는 아직까지 없었고 가전 기기로부터 발생하는 자체 측정에 관한 연구도 미미한 실정이다. 따라서 본고에서는 전국의 송전선로를 대상으로 전계와 자계를 측정하고 그 수준을 알아보고자 하였다. 아울러 일반인들이 일상 생활에서 전자계에 노출되는 수준을 파악하기 위하여 가전제품과 사무용 기기에서 발생하는 자체와 일반인의 일일 자체 노출량을 측정하여 그 크기를 서로 비교하였다.

II. 전자계 계산의 이론

송전선로 근처에서의 전계 계산에는 공간에 자유 전하가 없고, 지면의 도전율은 충분히 커서 상용주파수의 변화보다 더 빠르게 전하 분포가 이루어지며, 공기중의 유전율은 진공중의 유전율과 동일하다고 가정하였다. n 개의 도체로 이루어진 송전선로의 전압 V 와 전하 Q 의 관계는 전압계수(potential coefficient) P 를 사용하여 다음과 같이 표현할 수 있다.^[12]

$$V_i = \sum_j^n P_{ij} Q_j \quad (1)$$

이때

$$P_{ij} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \left(\frac{2Z_i}{d_i} \right) \quad (i = j \text{ 일 때})$$

$$= \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \left[\frac{(Y_i - Y_j)^2 + (Z_i + Z_j)^2}{(Y_i - Y_j)^2 + (Z_i - Z_j)^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (i \neq j \text{ 일 때})$$

이며, Y_i, Z_i 는 각각 i 번째 도체의 지표면 기준점에 대한 수평거리, 수직거리를 의미하며, d_i 는 도체의 직경, ϵ_0 는 자유공간 속의 유전율이다. 이제 각 도체의 전계 E_i 는 다음식으로부터 계산된다. 여기서 R_i 는 각 도체와 계산 위치 간의 거리이다.

$$E_i = \frac{Q_i}{2\pi\epsilon_0 R_i}$$

자계 계산에는 도체의 길이가 무한히 길고, 대지를 흐르는 회귀전류는 없다고 가정하였다. 자계 B_i 는 다음의 간단한 식으로부터 계산되며, 여기서 μ_0 는 진공과 공기중의 투자율(Permeability Constant), I_i 는 i 번째 도체를 흐르는 전류이다.

$$B_i = \frac{\mu_0 I_i}{2\pi} \frac{1}{R_i}$$

전계와 자계의 계산 과정은 MATLAB 소프트웨어를 사용하여 수행하였으며, 계산 결과는 미국의 BPA(Bonneville Power Administration)에서 개발한 Corona and Field Effects Program으로 계산한 것과 잘 일치함을 확인하였다.

III. 측정 방법

측정에 사용된 계측기는 미국의 EPRI와 Ener-tech Consultant사에서 공동으로 개발한 모델명 EMDEX II 였다. 계측기 내부에 3 방향의 자계 센서가 내장되어 3축 합성치로서 액정화면에 표시된다. 전계를 측정하기 위해서는 두 개의 평행 금속판으로 구성된 센서를 별도로 연결하여야 하고 1 축 방향의 값을 측정한다. 이 계측기의 가장 큰 장점은

측정된 전계와 자계 수치가 계측기 내부에 있는 기억 소자에 저장되고 일반 컴퓨터와 연결하여 수치를 주고 받을 수 있다는 점이다. 이는 장시간 동안 전계 혹은 자계 노출량을 측정하기에 적합하다. 계측기의 정확도는 전계 $\pm 3\%$ 이내, 자계 $\pm 1\%$ 이내이며, 세부 사양은 표 1에 나타내었다.

송전선로에서의 전자계는 전력선의 횡방향으로 측정이 이루어졌다. 특히 자계 측정의 경우 선로의 주위가 평지이면 LINDA Wheel^[13]을 사용하였던 바, 선로의 중앙을 기점으로 1 feet 간격마다 자계 수치가 저장되게끔 하였다. 선로 주위가 평탄하지 않을 때 자계와 전계는 2 m 간격으로 측정하였다. 전계를 측정할 경우 측정자와 계측기간의 거리가 가까우면 측정자 주위로 전계가 집중되어 정확한 값을 얻기 어려우므로 계측기와의 간격을 2 m 정도 유지하면서 측정하였다. 지상 거리 기준은 인체의 중심이라고 할 수 있는 지표면 1 m 지점으로 하였다. 선로 높이의 측정은 SupaRule System 사에서 제작한 전선 높이 측정기를 사용하였는데, 이는 초음파를 이용하여 도체의 높이를 측정하는 것으로 제작사에서 제시한 정확도는 0.5% 이내였다. 선로를 흐르는 전류는 해당 선로를 관할하는 변전소나 전력소의 전류 계기판에서 확인하였다.

가전제품의 자계 측정은 최대 부하 상태에서 3 cm, 30 cm, 60 cm 거리별로 이루어졌다. 각 기기

표 1. 전자계 계측기의 사양

Table 1. Specifications of EMF Measuring Equipment.

Specification	EMDEX II	
	Magnetic Field	Electric Field
Dimension	16.8×6.6×3.8 cm	
Weight	341 g	
Frequency Bandwidth	40~800 Hz	
Measurement Method	True RMS	
Temperature Range	0~60℃	
Field Range	0.1~3000 mG	0.001~200 kV/m
Resolution	0.1 mG	1 V/m
Accuracy	± 1 %	± 3 %
Max. Sampling Rate	1.5 sec	3.0 sec

별로 사람의 접근이 가능한 앞면, 측면, 뒷면을 중심으로 동일 거리 상에서 가장 크게 자계가 나타나는 부분의 수치를 기록하였다. 직업별로 자계의 장시간 노출량을 측정하는 경우에는 대상자의 허리에 계측기를 장착시키고 하루 혹은 근무시간 동안 1.5 초 간격으로 자계 수치를 저장하였다.

IV. 결과 및 고찰

그림 1의 (a)와 (b)는 각각 전형적인 345 kV 송전선로 근처에서 측정된 전계와 자계의 분포도이다. 여기서 선로 높이는 17.1 m, 전류는 630 A였다. 그림 1 (a)에 표시된 바와 같이 지표면과 수직인 방향(z-component)의 자계 성분은 선로 중앙에서 최대이지만 선로 길이 방향과 수직하고 지표면과 평

행한 방향(y-component)의 자계 성분은 선로 중심으로부터 약 10 m 떨어진 지점에서 최대를 나타내고 있다. 선로의 길이 방향(x-component)의 자계 성분은 이론적으로 0이 되어야 하나 측정시 계측기의 길이 방향이 지표면에 수직한 방향과 정확히 일치하지 않고 약간 기울어져서 미량 검출된 것으로 믿어진다. 이들 세 가지 성분의 합성치는 선로 중심에서 최대를 나타내고 횡방향으로 멀어질수록 급격히 감소함을 알 수 있다. 그러나 횡방향 거리에 따라 단순하게 감소하지 않고 증감을 반복하는 현상을 보이고 있는데, 이는 측정 당시 선로를 흐르는 전류가 일정하게 유지되지 않았기 때문으로 생각된다.

그림 1의 (a)에서 굵은 점선으로 표시된 것은 자계의 계산 수치로서 한국전력공사의 표준 철탑 형태를 기초로 계산한 것이다. 그 기하학적인 배치는 그림 2와 같다. 계산치와 비교하여 실측치는 정확히 일치하지 않고 $\pm 7\%$ 정도 편차를 보였다. 그 원인

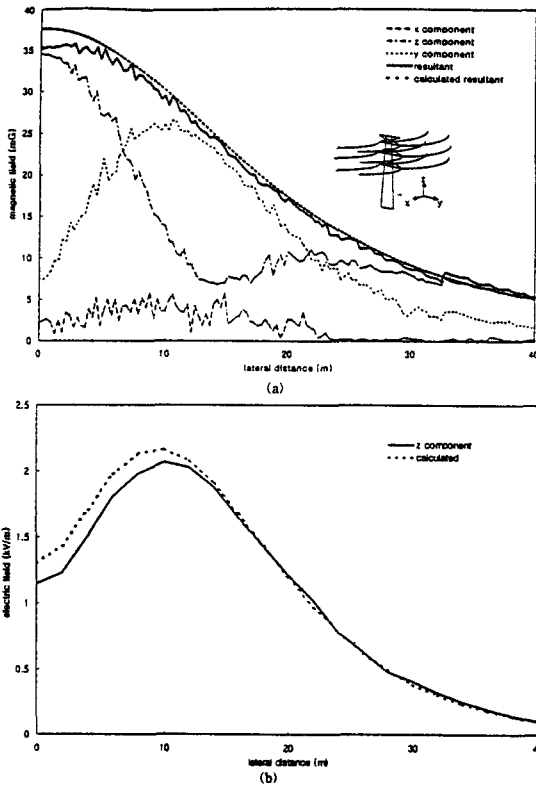


그림 1. 전형적인 345 kV 송전선로의 (a) 자계와 (b) 전계의 횡방향 분포

Fig. 1. Lateral profiles of (a) electric and (b) magnetic field for a typical 345 kV transmission line.

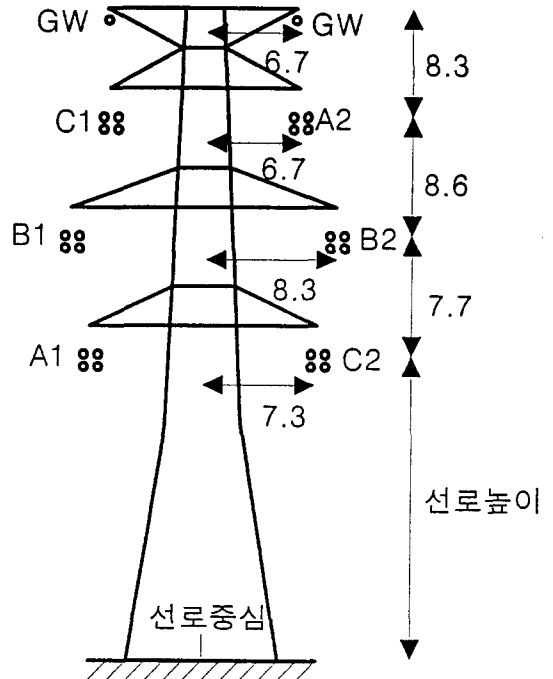


그림 2. 2. 345 kV 송전선로의 표준 철탑 모형 (단위 : m)

Fig. 2. Standard line configuration of a 345 kV transmission line (unit : m).

으로서 계산시 무한히 긴 직선 선로를 가정하였으나 실제로는 첩탑과 첩탑 사이에서는 도체 자체의 중앙에 의해 직선 선로가 되지 않고, 선로의 기하학적 배열이 표준 형태와 차이날 수 있으며, 또한 전류계로부터 읽은 전류값의 오차 등을 들 수 있다.

그림 1 (b)의 전계 분포도는 자계 분포도에 비해 약간 다른 양상을 보인다. 자계 분포는 선로 중심에서 최대치를 보였으나, 전계 분포는 선로 중심에서 횡방향으로 약 10 m 떨어진 지점에서 최대치가 나타났다. 최대치가 나타나는 위치는 도체 간의 간격, 선로 높이 등 기하학적 배열에 따라 크게 달라질 수 있다. 예를 들어 선로의 높이가 높아지면 최대치가 나타나는 위치도 선로 중심으로부터 멀어지며, 345 kV 선로에 비해 규모가 작은 154 kV 선로의 경우는 대체로 선로 중심으로부터 6 m 떨어진 지점에서 최대치가 나타났다.

전계는 지면과 수직인 방향의 성분만(z-component) 측정하였으므로 x, y 성분을 모두 포함하는 합성치와 차이날 수 있다. 왜냐하면 지표면에서의 전계는 그 방향이 정확히 지면과 수직하지만 본 실험에서와 같이 지상 1 m에서의 전계는 방향이 지면과 조금 기울어져서 z 성분은 합성치보다 항상 작기 때문이다. 그러나 그림 2와 같이 선로 높이가 17.1 m 인 345 kV 표준 선로 형태에서 선로의 중심으로부터 40 m 이내에서는 합성치 전계 성분이 지면과 이루는 각도가 이론적으로 $+6.9^\circ$ 와 -3.4° 사이에서 변화하고, 이를 전계값으로 환산하면 선로 중심에서 0%, 40 m 지점에서 0.7%의 오차가 발생하게 된다. 따라서 대부분의 실제 선로에서 선로 중심으로부터 40 m 이내의 범위에서는 지면과 수직인 전계 성분을 합성치와 동일한 것으로 간주하여도 무방하다.

그림 1 (b) 전계 분포도에도 굵은 점선으로 계산치를 나타내었는데, 최대치 기준으로 5% 정도 실측치가 낮은 것을 알 수 있다. 이와 같이 실측치가 계산치보다 낮은 것은 앞서 자계 분포에서 지적된 여러 가지 원인뿐만 아니라 전계는 자계와 다르게 주위의 건물이나 나무 등에 집중되는 현상 등에 의해 대부분의 경우 계산치보다 낮게 측정된 것으로 생각된다.

이와 같은 방법으로 각각의 송전선로마다 전계와

자계의 최대치를 기록하였다. 그러나 각각의 송전선로마다 전계와 자계를 모두 측정하지 않은 경우도 있었는데, 특히 전계의 경우 선로 중심에서 6~10 m 벗어난 지점에서 최대치가 나타나기 때문에 측정이 어려워 누락된 경우가 있었다. 국내에서 운전중인 345 kV, 154 kV, 66 kV 송전선로를 망라하여 전계와 자계를 측정된 전체 송전선로는 총 153 개소였다. 그중 153 개소의 자계는 모두 측정되었지만 전계는 109 개소에서 측정되었다. 또한, 송전선로 전자계의 측정 목적이 선로 주위 주민들의 전자계 노출량을 파악하기 위한 것인 만큼 사람들의 접근이 거의 없는 산악 지역보다 통행이 빈번한 지역의 송전선로를 대상으로 측정하였다.

전체 송전선로의 전계와 자계 크기 분포는 그림 3에 나타내었다. 전체 도수 153개 중 42%인 64개

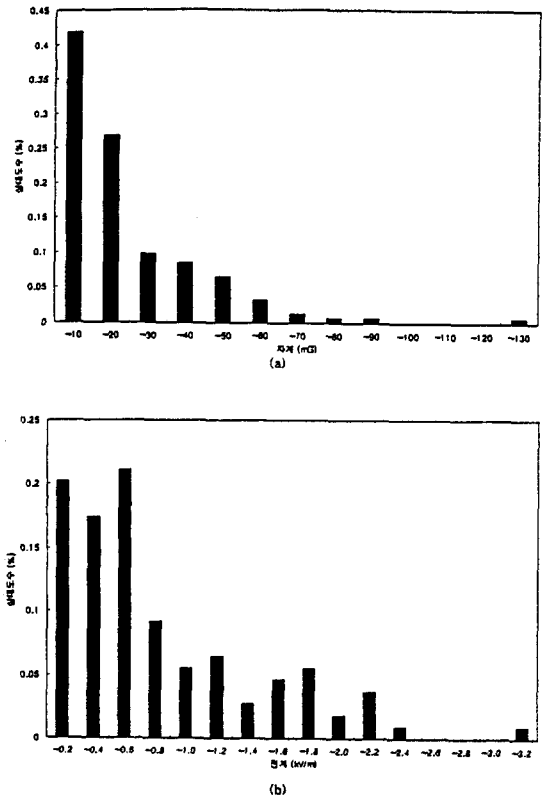


그림 3. 측정된 (a) 전계와 (b) 자계 최대치의 도수 분포

Fig. 3. Frequency distributions of measured maximum (a) electric and (b) magnetic fields.

표 2. 송전선로 전계와 자계 최대치의 통계 수치

Table 2. Statistics for the measured maximum electric and magnetic fields of transmission lines.

	전압	선로 개수	평균	중간값	최대치	최소치	L ₅	L ₉₅	비고
전계 (kV/m)	345 kV	41	1.12	0.99	3.16	0.08	2.14	0.18	
	154 kV	66	0.47	0.35	2.01	0.03	1.56	0.06	
	66 kV	2	0.96	-	1.5	0.43	-	-	
	전체	109	0.73	0.47	3.16	0.03	2.0	0.08	
자계 (mG)	345 kV	51	26.8	23.2	125	2.6	65.0	3.6	
	154 kV	97	14.7	9.9	86.6	0.3	49.7	0.4	
	66 kV	5	8.7	3.6	22.8	2.2	20.1	0.6	
	전체	153	18.6	11.6	125	0.3	53.9	0.6	

의 송전선로에서 자계가 10 mG 이하로 측정되었고, 전계는 109개 중 38%에 해당하는 42 개의 송전선로에서 0.4 kV/m 이하로 측정되었다. 이러한 분포도로부터 전계와 자계 분포는 통상적인 정규분포와 매우 다른 양상을 보이고 있음을 알 수 있다. 즉, 수치가 작은 쪽에 많은 도수가 분포하고 매우 큰 수치는 드물게 분포하고 있다. 이러한 분포에서는 산술 평균치보다는 중간값을 대표치로 주로 사용한다 [7].

표 2는 측정된 전계와 자계 최대치에 대한 각종 통계 수치를 나타낸 것이다. 송전선로의 전압별 구분없이 109 개 전계 측정치의 중간값은 0.47 kV/m, 자계는 총 153 개소로서 중간값은 11.6 mG 이었다. 전계와 자계의 최대치는 경북 포항 지역의 345 kV 신포항 송전선에서 측정되었으며 각각 3.16 kV/m, 125 mG로 측정되었다. 신포항 송전선의 철탑번호 228번과 229번 사이의 공간에서는 선로 높이가 8.6 m로 지상고가 매우 낮아 이같이 전계와 자계가 상대적으로 높게 측정되었는데, 이 구간은 98년도에 재공사를 하여 선로의 지상고를 높일 계획이어서 이후에는 전계와 자계가 크게 낮아질 것으로 예상된다.

여기서 중간값, L₅, L₉₅ 수치는 각각 전체 자료를 크기 순으로 배열한 후 정 중앙에 위치하는 값, 95%에 위치하는 값, 5%에 위치하는 값을 읽은 것이다. 자료의 수가 작수이면 정 중앙에 해당하는 값이 없으므로 인근 두 수치중 큰 값을 중간값으로 선택하였다. L₅, L₉₅ 수치는 95%와 5%에 정확히 해

당되는 수치가 없을 경우 인근 두 수치를 보간법으로 구하였다. 전계와 자계의 L₅ 수치는 각각 2.0 kV/m, 53.9 mG로서, 이는 95%의 송전선로에서 발생하는 전계와 자계 수치가 이보다 작다는 뜻이다.

하지만 본 연구에서 제시된 전자계 수치의 평균이나 중간값은 실제 송전선로의 그것보다 높게 측정되었다는 점을 주지하여야 한다. 왜냐하면 송전선로를 찾아 다니면서 선로의 높이가 너무 높은 경우에는 전자계 수치가 매우 작을 것으로 예측되어 제외하였고, 또한 전력관리처별로 높이가 낮은 선로를 주로 찾아 측정하였기 때문에 실제 평균치나 중간값보다 높게 제시되었다고 할 수 있다.

그러나 여기서 제시한 송전선로의 자계 대표치는 항구적인 대표치가 될 수 없다. 전계는 송전선로의 전압과 도체의 기하학적 배열에 의해 결정되므로 철탑의 형태와 가압 전압이 변경되지 않는 한 변화하지 않겠지만 자계의 크기는 선로의 전류에 크게 의존하므로 계절별, 시간대별 전력사용량이 변경된다는 점을 감안할 때 자계의 크기는 변화할 수 있기 때문이다. 하지만 본 연구에서 자계를 측정할 시기는 96년 여름부터 98년 봄까지 약 2년간이고 비교적 전국적으로 골고루 측정이 이루어졌기 때문에 적어도 이 기간의 자계 대표치로서 제시될 수는 있으리라 믿어진다.

이러한 송전선로의 전계와 자계의 크기와 비교하기 위하여 일반인들이 일상 생활에서 흔히 접하는 주요 가전제품과 사무기기에서 발생하는 자계를 측

표 3. 주요 가전제품과 사무용 기기의 자계 중간값

Table 3. The median values of magnetic fields of several electric appliances.

기기 종류	자계 (mG)			샘플수
	3 cm	30 cm	60 cm	
TV	61.6	12.0	4.2	11
냉장고	22.3	5.3	1.7	7
세탁기	11.4	1.8	0.6	6
전자레인지	630	44.0	10.0	7
진공청소기	202	13.0	1.8	7
PC 모니터	37.6	2.8	0.7	7

정하였다. 이들은 주로 220 V 전원을 사용하기 때문에 전계는 일반적으로 송전선로에 비해 아주 미약하므로 측정은 생략하였다. 대체로 가전제품과 사무기기에서 발생하는 자계는 제작사와 모델에 따라 매우 크게 차이나다. 따라서 여러 모델별로 자계를 측정하고 대표값으로 중간값을 선택하였다. 즉, 각 가전제품마다 전후좌우를 구분하여 3 cm, 30 cm, 60 cm 거리에서 자계를 측정하고 각 면에서의 거리별로 가장 큰 수치를 기록하였다. 동일한 제품에서 많게는 11개, 적게는 6개 모델별로 측정된 수치의 중간값을 그 제품의 대표값으로 선택하였고 이를 표 3에 요약하였다. 그런데 냉장고나 세탁기 처럼 무게가 무거워 장기간 이동이 없고 건물의 내벽 가까이에 위치한 기기들의 후면과 윗면은 실제 사람이 접근하지 않는 것으로 판단되므로 대표값 산출에 사용하지 않았다. 그림 4는 각종 가전제품과 사무기기의 자계 측정 결과와 송전선로에서의 측정 결과를 비교하는 그래프로서 가전제품과의 거리는 30 cm를 기준으로 한 것이다. 가전제품 중에서 가장 크게 측정된 것은 전자레인지로서 44.0 mG까지 측정되었고, 가장 적게는 세탁기에서 1.8 mG로 측정되었다. 이 같은 수치는 송전선로 최대치의 중간값인 11.6 mG에 비해 비슷한 수준이다.

가전제품에서 발생하는 자계의 측정은 미국의 EPRI(Electric Power Research Institute)를 중심으로 광범위하게 수행된 바 있으며, 제품과 10.5 inch(27 cm) 떨어진 지점 자계의 중간값은 냉장고(367 개) 2.5 mG, TV(397 개) 6.6 mG, 전자레인

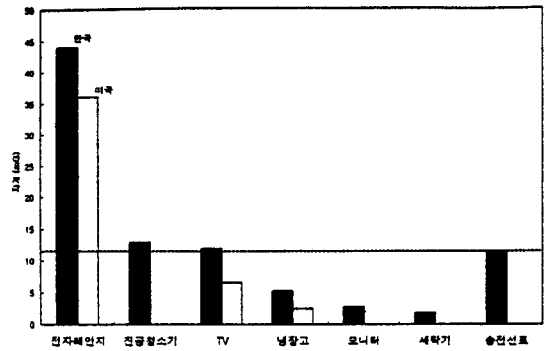


그림 4. 가전제품과 송전선로에서 발생하는 자계의 크기 비교 (중간값)

Fig. 4. Comparison of magnetic fields of transmission lines to those of electric appliances (median values).

지(371 개) 36.0 mG로 보고되었다^[7]. 이 결과도 그림 4에 함께 표시하였는데, 세 가지 가전제품에서 미국의 결과가 본 연구 결과에 비해 절반 정도임을 알 수 있다. 이 차이에 대한 원인은 여러 가지가 있을 것이나 본 연구에서의 자료수가 상대적으로 적기 때문인 원인도 있을 것이다. 국내의 다른 연구^[11]에서도 몇 가지 가전제품에 대한 자계 측정이 수행되었지만, 샘플수가 절대적으로 적어 대표치로 간주하기에는 무리가 있다. 따라서 동종의 가전제품이더라도 제작사별, 모델별로 더욱 많은 자료의 확보를 통해 신뢰성있는 대표치 산출이 필요한 것으로 판단된다.

이밖에 사람이 하루 혹은 근무 시간 동안 노출되는 실제 노출량을 알아보기 위하여 사무직 근로자, 가정주부, 변전소 근무자, 용접 작업자 등 4 가지 경우에 대하여 직업별로 장시간 자계 노출량을 측정하였다. 자계 계측기는 대상자의 허리에 장착되었고 하루 혹은 일정 근무 시간 동안 1.5 초 간격으로 계측기 내부에 저장하였다. 따라서 하루 24 시간 노출 실험일 경우 전체 데이터 수는 57,600 개에 이른다. 그림 5는 개인용 컴퓨터를 사용하는 전형적인 사무실 근무자의 하루 동안 자계 노출의 추이를 나타낸 것이다. 대상자는 오전 7시 경에 기상하여 전기면도기를 사용하는 동안 7.3 mG의 자계에 노

표 4. 직업별 장시간 자계 노출량

Table 4. Mean and maximum exposure records to magnetic field for selected workers.

	평균 (mG)	최대 (mG)	비고
사무직 A	0.7	19.8	하루
사무직 B	0.2	30.0	"
가정 주부	0.3	46.8	"
변전소 근무자	19	992	근무 시간 (20 시간)
용접 작업자	550	3,568	근무 시간 (160분간)

출되고 승용차로 출근하는 동안 7.6 mG의 자계에 노출되고 있다. 근무 시간 동안에는 인근의 컴퓨터로 인해 노출되는 자계는 약 0.5 mG이고 간혹 사무용 기기에 근접하였을 때 3~7 mG의 자계를 경험하고 있다. 퇴근 후에는 주방의 전자레인지에서 발생하는 자계로 인해 19.8 mG까지 경험하고 있다. 수면을 취하는 동안에는 1.6 mG 정도의 일정한 자계에 노출되었는데 대상자 바로 옆의 벽 속에 있는 전선 때문인 것으로 판단되었다.

평균 자계 노출량은 그림 5의 곡선 면적을 계산하여 전체 시간을 나누어 구한 것이다. 이렇게 구한 평균 자계 노출량을 표 4에 나타내었다. 가정주부의 경우는 전자레인지를 사용할 때 최대 46.8 mG의 자계에 노출되는 것으로 나타났고, 하루 평균 자계 노출량은 0.3 mG 정도였다. 변전소 근무자의 최대 노출량은 992 mG로서 변전소 구내의 송전선로 점점 과정 중에 345 kV 모선 근처에 접근하였을 때 나타났으며 근무시간 평균 노출량은 19 mG 였다. 전기 아아크 용접 작업자의 경우 최대 노출량은 3,568 mG로서 용접 작업 동안 발생하였고 작업 시간 평균 노출량은 550 mG 였다.

그러나 동일 직업인이라 하더라도 하루중 노출되는 자계의 수준은 개인별로 차이가 있을 것으로 예상되며 또 날짜별로도 다를 것이므로 표 4에 제시된 수치가 동일 직업인의 평균 자계 노출량을 정확히 대변해 준다고 하기는 어렵다. 따라서 직업별 자

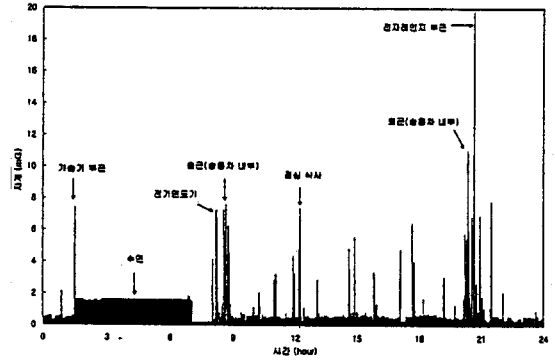


그림 5. 전형적인 사무실 근로자의 일일 자계 노출량
Fig. 5. Typical daily exposure records to magnetic field for a clerical worker.

계 노출량은 대상자를 달리 하여 많은 자료의 확보가 필요하며 앞으로도 지속적인 측정을 통해 좀더 정확한 대표치의 산출이 요구된다.

전계와 자계에 대한 국가적인 규제는 아직까지 없는 것으로 알려져 있다. 그러나 각국에서는 국민 보건 차원에서 권고치나 기준치를 설정하고 있으며 선진국에 대한 기준치를 다음의 표 5에 요약하였다. 국내의 한전에서는 전계 기준치로서 일반인의 통행이 빈번한 지역 3.5 kV/m, 빈번치 않은 지역 7 kV/m를 사용하고 있으며, 자계 기준치로서는 1,000 mG를 사용하고 있다. 세계적으로 기준이 가장 엄격한 국가인 미국도 국가 차원에서의 기준치는 없고 전계에 대해서는 6 개 주정부에서, 자계에 대해서는 2 개 주정부에서 권고치를 제정하고 있는 상태이다. 특히 미국은 송전선 좌우 약 20 m 이내에는 선로의 안정적인 운전을 위해 지상권(Right Of Way)을 설정하고 있다. 전계와 자계의 기준은 이러한 지상권 경계와 구역 내부를 구분하고 있는데, 전계는 몬타나주가 지상권 구역 7 kV/m, 경계 1 kV/m로, 자계는 플로리다주에서 150 mG로서 가장 엄격하다. 국내 송전선로에서 측정된 최대치는 미국 각 주의 지상권 구역 내의 기준치와 비교되어야 하는데, 국내 송전선로 직하에서 측정된 전계 가운데 가장 큰 것은 3.16 kV/m로서 미국 기준치에 비해서도 낮은 값이다. 마찬가지로 125 mG의 최대 자계는 플로리다주 기준에 비해서도 낮은 값

표 5. 각 기관 및 국가의 상용주파 전계와 자계에 대한 권고치 혹은 표준치^[13]

Table 5. Guidelines or standards of power frequency electric and magnetic fields for several countries and organizations.

기관 및 국가	전계 (kV/m)	자계 (mG)	비고
국제 방사선 보호 협회 ^[15]	직업인 : 8.33 일반인 : 4.16	직업인 : 4,166 일반인 : 833	60 Hz
유럽 연합 ^[16]	직업인 : 25 일반인 : 10	직업인 : 13,333 일반인 : 5,333	60 Hz (가표준치)
미국	1~3	150~250	지상권 경계
일본	3	50,000	
영국	-	20,000	
호주	2	1,000	전계 : 지상권경계
한국(한전)	3.5	1,000	전기설비기술기준

이다.

한편, 세계 보건 기구(World Health Organization)에서는 1980년대 후반에 전세계의 전자계 관련 문헌 약 600 편을 조사하여 전계의 경우 10 kV/m 이내의 지역에 접근을 제한할 필요는 없으며, 자계 5,000 mG 이하에서는 어떠한 생물학적 영향이 발견되지 않고 있다고 평가한 바 있다^[14]. 국제 방사선 보호협회(International Radiation Protection Association)의 산하기관인 ICNIRP(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)에서는 최근 1997년에 전계와 자계에 대한 권고치를 제정하여 각국으로 하여금 이를 사용하도록 독려하고 있다^[15]. 이에 따르면 일반인의 경우 전계 4.16 kV/m, 자계 833 mG를 권장하고 있다. 직업인의 경우는 이보다 높게 설정되어 있는데, 전계 8.33 kV/m, 자계 4,166 mG이다. 앞서 직업별로 측정된 장시간의 평균 자계 노출량도 용접 작업자의 경우 550 mG로서 국제 방사선 보호협회에서 권장하는 것에 비해 매우 낮은 값을 알 수 있다.

V. 결 론

대용량 전력 수송의 근간이 되는 송전선로 주위에서 발생하는 전계와 자계의 크기를 알아보기 위하여 전국의 송전선로를 대상으로 153 개소에서 전

계와 자계를 측정하였다. 전계와 자계 최대치들의 중간값은 각각 0.47 kV/m, 11.6 mG로 나타났다. 또한, 일반인들이 일상 생활에서 흔히 접할 수 있는 각종 가전제품과 사무용 기기들에서 발생하는 자계의 크기를 측정하였다. 제품과의 거리 30 cm를 기준으로 할 때, TV 12.0 mG, 냉장고 5.3 mG, 전자레인지 44.0 mG, 진공청소기 13.0 mG, 컴퓨터 모니터 2.8 mG, 세탁기 1.8 mG 등으로 측정되었다. 그리고 직업별 장시간 자계 노출량을 측정된 결과, 사무직 근로자와 가정 주부는 각각 일일 평균 0.7 mG, 0.3 mG, 변전소 근무자와 용접공은 각각 근무 시간 평균 19 mG, 550 mG로 나타났다. 이들 전계와 자계의 크기를 세계 각국의 전자계 기준치 및 장시간 노출량 권고치와 비교해볼 때, 매우 낮은 수치임을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Korobsova V, Morozov Y, Stolorov M, and Yacub Y, "Influence of the electric field in 500 and 750 kV swichyards on maintenance staff and means for its protection", *Presented at The International Conference on High-Tension Electric Systems*, August 28-September 6, Paris, France Paper 23-06, 1972.

[2] Broadbent DE, Broadbent MHP, Male J and Jones MRL, "Health of workers exposed to electric fields", *British Journal of Industrial Medicine*, 42, pp. 75-84, 1985.

[3] N. Wertheimer and E. Leeper, "Electrical wiring configurations and childhood cancer", *Am. J. Epidemiol.*, 111(4), pp. 273-284, 1979.

[4] D. A. Savitz and J. Chen, "Association of childhood cancer with residential traffic density", *Scandinavian Journal of Work and Environmental Health*, 15, pp. 360-363, 1989.

[5] S. London, D. Thomas, J. Bowman, E. Sobel, and J. Peters, "Exposure to residential electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia", *Am. J. Epidemiol.*, 134, pp. 923-937, 1991.

[6] M. Feychting and A. Ahlbom, "Magnetic fields and cancer in people residing near Swedish high-voltage power lines", *Am. J. Epidemiol.*, 138, pp. 467-81, 1993.

[7] Electric Power Research Institute, "EMF in American homes", *EPRI Journal*, pp. 18-25, April / May 1993.

[8] Electric Power Research Institute, "Managing magnetic fields", *EPRI Journal*, pp. 6-13, July / August 1993.

[9] T. D. Bracken, R. F. Rankin, R. S. Senlor, J. R. Aldredge, and S. S. Susman, "Magnetic field exposure among utility workers", *Bioelectromagnetics*, 16, pp. 216-226, 1995.

[10] 과천시, 한국전력공사, "과천 송전선로 전자계 조사 보고서", 1996.

[11] 김윤신 외 3인, "극저주파 영역에서의 전자파 노출에 관한 조사 연구", *한국환경위생학회지*, 23(1), pp. 55-61, 1997.

[12] 한국전력공사 전력연구원, "송전선로 전자계 계산 프로그램", 기술보고서, TM.96EJ29.I. 1997.1194, pp. 10-24, 1997.

[13] 한국전력공사 전력연구원, "송전선로 전자계 영향 연구 (I)", 기술보고서, TM.96EJ29. 97.211, pp. 20-21, 1997.

[14] 石川光一, "電磁界問題 について", *送研リポート*, 5(429), pp. 429-7-429-14, 1997.

[15] International Radiation Protection Association / International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields up to 300 GHz", *ICNIRP Guidelines* (1997).

[16] European Committee for Electrotechnical Standardization, "Human exposure to electromagnetic fields : Low-frequency(0 Hz to 10 kHz)", *European Prestandard, ENV 50166-1* (1995).

김 상 범



1986년 : 서울대 무기재료공학과(공학사)
 1988년 : 서울대 무기재료공학과(공학석사)
 1994년 : 서울대 무기재료공학과(공학박사)
 1994년~1996년 : 대우자동차 기술연

구소

1996년~현재 : 한전 전력연구원 선임연구원
 [관심분야] 절연 애자, 피뢰기 개발

조 성 배



1979년 : 충남대 전기공학과(공학사)
 1998년 : 충남대 전기공학과(공학석사)
 1979년~현재 : 한전 전력연구원 책임연구원
 [주 관심분야] 초고압 송전선 건설 및

운용기술

이 동 일



1979년 : 단국대 전기공학과(공학사)
1983년 : 인하대 전기공학과(공학석사)
1996년 : 한양대 전기공학과(공학박사)
1978년~현재 : 한전 전력연구원 선임연구원 재직중.

[주 관심분야] 초고압설비에 의한 전기환경분야

김 정 부

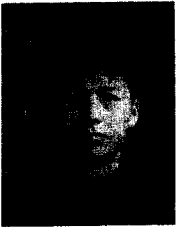


1971년 : 서울대 전기공학과(공학사)
1985년 : 서울대 전기공학과(공학석사)
1990년 : 서울대 전기공학과(공학박사)
1971년~현재 : 전력연구원 수석연구원

원

[주 관심분야] 송전선로 설계 및 전기환경분야

신 구 용



1991년 : 동아대 전기공학과(공학사)
1993년 : 경남대 전기공학과(공학석사)
1988년~현재 : 한전 전력연구원 일반연구원

[주 관심분야] 초고압설비에 의한 전파환경장해분야