

전력설비에 의한 자계 측정 및 컴퓨터 시뮬레이션

전 형태^o, 사 재원, 한 성진
 동아대학교 전기공학과

Magnetic Field Measurement and Computer Simulation for Electrical Utility Facilities

Hyung-Tae Jeon^o, Jae-Won Sa, Sung-Chin Hahn
 Dept. of Electrical Eng., Dong-A Univ.

Abstracts

For two decades and more, a lot of research work on the biological effects of EMF(Electromagnetic Fields) on Human health have been reported.

Power-frequency magnetic fields are a natural consequence of the flow of electricity. This paper deals with the modeling of electric utility facilities taking into account the line geometries. The magnetic field profiles obtained from the computer simulation are compared to those from measurements.

1. 서론

최근 20여년동안 전자파가 생체계에 미치는 영향에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다. 그 중에서도 전력설비에 서 발생하는 전력 주파수 자계(power-frequency magnetic field)가 인체에 미치는 영향에 대해 많은 논란이 있어 전력 수요의 증가에 따른 송배전 설비의 증설 및 신설을 더욱 어렵게 하고 있다. 전력설비 중 송배전 선로는 60Hz의 교류 전력을 공급하며 선로 주변에 60Hz의 전계와 자계를 형성한다. 즉, 154KV, 345KV의 고압 송전선로, 22.9KV의 배전선로 및 220V/110V의 전력을 사용하는 가정, 사무실내의 선로 주변에는 60Hz의 전계와 자계가 형성되며, 냉장고, 세탁기, 헤어 드라이어와 같은 가전제품도 이 교류 전력을 이용하기 때문에 우리 생활 환경은 극저주파 전자계 (ELF/EMF : Extremely low Frequency/ Electromagnetic Field)에 노출되었다고 말할 수 있다.[1][2][3] 일반적으로 전류가 흐르는 단일 선로에 의해 발생하는 자계의 세기는 Ampere의 법칙으로 구하며, 다수의 전류도체에 의한 자계의 세기는 선로간의 영향이 없다는 가정하에 중첩하여 얻는다.[4] 그러나, 송전선로에 의한 자계는 송전설비의 형상이나 선로의 기하학적 배치(Geometry)에 영향을 받기 때문에, 정확한 자계 계산을 위해서는 이들을 고려하여야 한다.[2]

본 논문에서는 송배전 설비를 modeling하여 이를 컴퓨터 시뮬레이션 한 후 이 값을 실제 측정값과 비교하고자 한다.

2. 송배전 선로에 의한 자계계산

송배전선로의 자계계산에서 지구는 평평한 균일 무한장으로 선로는 처짐이 없는 평형선으로 무한선이라고 가정한다.[1]

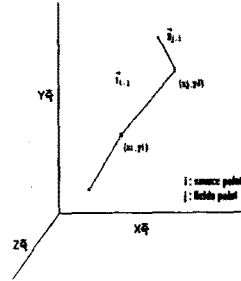


그림 1. 송전선 좌표계

좌표계는 그림 1에 나타내었는데, 송전선로는 z축 방향으로 정현전류 $\sqrt{2}(I_i)_{rms} \sin(\omega t + \theta_i)$ 를 전달한다.

관측점에서 자계의 세기는 Ampere 주회 법칙으로부터

$$\vec{H}_{i,i}(t) = \frac{I_i(t)}{2\pi} \left[\frac{(y_j - y_i)\hat{x} - (x_j - x_i)\hat{y}}{(y_j - y_i)^2 + (x_j - x_i)^2} \right] \quad [A/m] \quad (1)$$

이며, 다도체 선로에 의한 합성자계

$$\vec{H}_i(t) = \sum_{i=1}^n \vec{H}_{i,i} \quad [A/m] \quad (2)$$

이다. 이를 페이지 식으로 나타내면

$$\vec{H}_{i,i}(\omega) = \frac{(I_i)_{rms} L \theta_i}{2\pi} \left[\frac{(y_j - y_i)\hat{x} - (x_j - x_i)\hat{y}}{(y_j - y_i)^2 + (x_j - x_i)^2} \right] \quad (3)$$

이다.

3상 선로에서의 자체 세기와 자속밀도의 실효값은 각각

$$\vec{H}_j(\omega) = \sum_{i=1}^3 \vec{H}_{j,i}(\omega) \quad [A/m] \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \vec{B}_j(\omega) &= \mu_0 \vec{H}_j(\omega) \quad [T] \\ &= 4\pi \vec{H}_j(\omega) \quad [mG] \end{aligned} \quad (5)$$

으로 표현된다. 그리고, 자속밀도의 x성분과 y성분은 각각

$$\vec{B}_{j,x}(\omega) = 2 \sum_{i=1}^3 \frac{((I_i)_{ms} L \theta_i)(y_j - y_i)}{(y_j - y_i)^2 + (x_j - x_i)^2} \quad [mG] \quad (6-1)$$

$$\vec{B}_{j,y}(\omega) = -2 \sum_{i=1}^3 \frac{((I_i)_{ms} L \theta_i)(x_j - x_i)}{(y_j - y_i)^2 + (x_j - x_i)^2} \quad [mG] \quad (6-2)$$

으로, 위상각은 항상 일정하지 않으므로, $\vec{B}_j(t)$ 의 궤적은 x-y 평면에서 타원형으로 나타나며, $\vec{B}_j(t)$ 를 자속밀도의 벡터식으로 나타내면,

$$\begin{aligned} \vec{B}_j(t) &= \hat{x}(B_{jx})_m \cos(\omega t + \theta_x) \\ &+ \hat{y}(B_{jy})_m \cos(\omega t + \theta_y) \end{aligned} \quad (7)$$

이다. 따라서, $\vec{B}_j(t)$ 의 실효값은

$$B_j(t) = [((B_{jx})_m \cos(\omega t + \theta_x))^2 + ((B_{jy})_m \cos(\omega t + \theta_y))^2]^{1/2} \quad (8)$$

$\vec{B}_j(t)$ 의 궤적을 그림 2에 나타내었으며, 이는 전력 주파수 한 주기동안의 궤적이다.

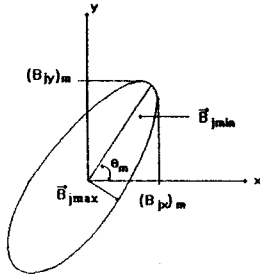


그림 2. 3상 송전선로의 자속밀도 궤적 여기서,

$$\theta_m = (\omega t)_m + \theta_x + (m-1) \frac{\pi}{2} \quad (9)$$

$$m = 1, 2, 3, 4$$

$$B_{jmax} = \max [((B_{jx})_m \cos((\omega t)_m + \theta_x + (m-1) \frac{\pi}{2}))^2 + ((B_{jy})_m \cos((\omega t)_m + \theta_y + (m-1) \frac{\pi}{2}))^2]^{1/2} \quad (10)$$

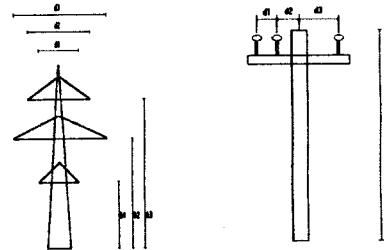
$$B_{jmin} = \min [((B_{jx})_m \cos((\omega t)_m + \theta_x + (m-1) \frac{\pi}{2}))^2 + ((B_{jy})_m \cos((\omega t)_m + \theta_y + (m-1) \frac{\pi}{2}))^2]^{1/2} \quad (11)$$

$$B_{jresult} = [B_{jmax}^2 + B_{jmin}^2]^{1/2} \quad (12)$$

3. 측정 및 모델링

측정은 지상에서 1.5 m 높이의 지점에서 행하였다. 측정 장비로는 Holaday Industries Inc의 ELF Survey Meter(모델명 III 3604)를 사용하였으며, 컴퓨터를 이용하여 송배전설비에 의한 전계와 자계의 계산을 수행하기 위해 남가주 에디슨 전력회사 (Southern California Edison Company)에서 개발된 FIELD 프로그램을 이용하였다.

계산을 수행하기 위해서는 첩탑을 모델링하여야 하는데 그림 3은 첩탑모형이며 표 1은 그림 3에 나타난 송배전 선로의 정수값이고 표 2에서 표 4는 3상 선로 도체에 대한 정수값이다.



(a) 송전설비(154,345KV) (b) 배전설비(22.9KV)

그림 3. 송배전 첩탑모형

4. 결과 및 검토

그림 4는 각각 345KV, 154KV, 22.9KV에 대한 자계값을 보이는데 실선은 계산값을, ×표시는 측정값을 나타낸다. 전자계 계산시 계산의 간략화를 위해 대지는 평평하며 완전도체로 전위는 0이며 도체는 지면과 평행하고 무한 도체라 가정하고, 도체의 전자계에 영향을 준 도체 지지물과 주위의 건물등은 무시한다.[5] 따라서 실제 측정값과 계산값은 차이가 발생하나, 345KV no 1. T/L은 측정값과 계산값이 차이가 크지않은데, 이것은 측정 장소가 주위에 전자계를 왜곡할 물체가 없는 목초지이기 때문인 것 같으며, 154KV no 2. T/L은 첩탑의 높이가 다른 선로의 첩탑보다 높고 자계값에 영향을 미칠 건물이 없는 산지 지형에서 측정하여 측정값이 낮게 나왔다. 생활 주변에서 흔히 접하는 22.9KV T/L에 대한 자계의 측정값과 345KV T/L이나 154KV T/L보다 현저히 작게 나타남을 알 수 있다.

표 1. 송배전 선로정수

[단위 : m]

구분	345KV 송전선로		154KV 송전선로		22.9KV 배전선로		
	no 1.	no 2.	no 1.	no 2.	no 1.	no 2.	
내용	B ₁ -14	B ₂ -35	B ₂ -25	D ₂ -20	-	-	
철탑형	A ₂ -15	B ₂ -26	C ₂ -36	A ₁ -24	-	-	
철탑높이	14/15	26/35	25/35	20/24	13.5	13.5	
상배열순	CBA/	CBA/	BAC/	CBA/	ABC	ABC	
높이	h ₀	29.1/	50.1/	33.1/	41.5/	-	
	h ₁	31.2	41.1	43.1	33.3	12.5	13.5
이	h ₂	21.3/	42.3/	28.8/	37/	-	-
	h ₃	22.7	33.3	38.8	28.3	12.5	13.5
폭	d ₁	14/	35/	25/	35/	-	-
	d ₂	15	26	35	24	12.5	13.5
폭	d ₃	17/	17/	9.2/	10.6/	-	-
	d ₄	16.6	17	9.6	10.6	1.2	1.2
폭	d ₅	15/	15/	7.4/	8.8/	-	-
	d ₆	14.6	15	7.8	8.8	0.56	0.56
폭	d ₇	13.8/	13.8/	6.8/	8/	-	-
	d ₈	13.4	13.8	7.2	8.2	0.49	0.49

표 2. 345KV 선로도체 정수

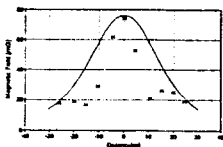
구분	345KV no 1. T/L						345KV no 2. T/L					
	A	B	C	a	b	c	A	B	C	a	b	c
상수평좌표 (m)	-6.9	-8.5	-7.5	6.9	8.5	7.5	-7.0	-8.6	-7.6	7.0	8.6	7.6
높이 (m)	14	21.3	29.1	14	21.3	29.1	20	27.7	36.2	20	27.7	36.2
상전압 (KV)	345	345	345	345	345	345	345	345	345	345	345	345
상전류 (Am)	970	970	970	970	970	970	400	400	400	400	400	400
위상각 (deg)	0	120	240	0	120	240	0	120	240	0	120	240

표 3. 154KV 선로도체 정수

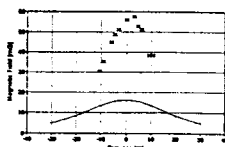
구분	154KV no 1. T/L						154KV no 2. T/L					
	A	B	C	a	b	c	A	B	C	a	b	c
상수평좌표 (m)	-4.6	-3.7	-3.4	4.6	3.7	3.4	-4	-4.3	-5.3	5.3	4.3	4
높이 (m)	28.8	33.1	25	28.8	33.1	25	35	38.9	43.4	43.4	38.9	35
상전압 (KV)	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154
상전류 (Am)	163	163	163	163	163	163	842	842	842	842	842	842
위상각 (deg)	0	120	240	0	120	240	0	120	240	0	120	240

표 4. 22.9KV 선로도체 정수

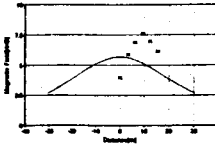
구분	22.9KV no 1. T/L			22.9KV no 2. T/L		
	A	B	C	A	B	C
상수평좌표 (m)	-1.05	-0.49	1.2	-1.05	-0.49	1.2
높이 (m)	12.5	12.5	12.5	13.5	13.5	13.5
상전압 (KV)	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9
상전류 (Am)	127	127	127	143	143	143
위상각 (deg)	0	120	240	0	120	240



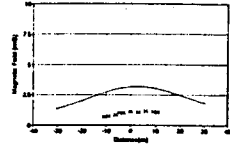
(a) 345KV no 1. T/L



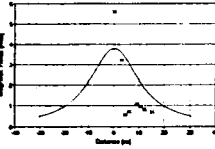
(b) 345KV no 2. T/L



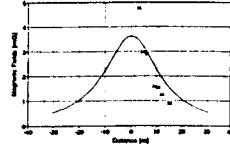
(c) 154KV no 1. T/L



(d) 154KV no 2. T/L



(e) 22.9KV no 1. T/L



(f) 22.9KV no 2. T/L

그림 4. 송배전선로 자체값

5. 결론

본 논문에서는 송배전 설비를 modeling하여 이를 컴퓨터 시뮬레이션 하였으며, 송배전 설비로부터 거리에 따른 자체의 측정값과 비교하였다. 송배전 선로의 특성이 거리에 따라 자체가 감소 할 뿐만 아니라, 사용전압, 전류, 선로 높이에 따라 크게 변한다는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서 얻은 결과는 향후 보다 넓은 전력설비에서 발생하는 자체를 계산하기위한 자료로 사용될 수 있으며 한편으로 전력설비로부터 발생하는 EMF를 경감시키는 연구의 기초 자료로 이용될 수 있을것이다.

참고 문헌

1. William F. Horton, Saul Goldberg, "Power Frequency Magnetic Fields and Public Health," CRC Press, 1995.
2. Tekla S. Perry, "Today's view of magnetic fields," IEEE Spectrum, pp.14-23, 1994. 12.
3. R. Olsen, V. L. Chartier and D. C. James, "The Performance of Reduced Magnetic Fields Power Lines Theory and Measurements on an Operating Line," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 8, No. 3, pp. 1430-1442, July, 1993.
4. David K. Cheng, "Field and Wave Electromagnetics," Addison - Wesley, 1989.
5. 한국전기연구소, "Research on the Biological Effect of Electromagnetic Fields," 과학기술처, 1987.