

## 345/154KV 전력소 구내의 자계 분포 특성

사 재원<sup>✉</sup>, 김 성명, 홍 정표, 전 형태, 한 성진, 주 수원  
동아대학교 전기공학과

Characteristic of Magnetic Fields Distribution  
in 345/154KV outdoor Substation

J.W. Sa<sup>✉</sup>, S.M. Kim, J.P. Hong, H.T. Jeon, S.C. Hahn, S.W. Joo  
Dept. of Electrical Eng., Dong-A Univ.

(Abstract)

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

Electric facilities in a typical substation are the main source of magnetic field.

This paper presents the measurement and analysis of magnetic field in 345/154KV outdoor substation.

The magnetic field depends on the currents which distributed by electric facilities.

The result of this paper will be able to be used as basic informations to reduce the level of EMF from the electric utility facilities.

1. 서 론

최근 1970년에 들어서면서 전자파가 인체에 미치는 영향에 관심을 갖기 시작하여 70년대 말부터는 미국의 Nancy Wertheimer 와 Ed Leeper가 배전선로 주변과 소아암 사이의 연관성에 관한 역학조사 보고서로부터 전자파에 대한 연구가 본격적으로 시작되었다 [4]. 전자파에 대한 많은 연구가 진행되고 있지만 송·변전설비 및 변전설비로부터 발생되는 저주파수 전자파 (ELF : Extremely Low Frequency)에 대한 관심이 점차 확대되면서 인체 유해성에 관한 논란은 사회 문제로 제기되기 시작했다.

근래 생활수준이 향상됨에 따라 전력수요가 급증하게 되었으며 또한 전기에너지의 활용분야도 점차 다양하게 되었다. 하지만 송·변전 설비로부터 방출되는 전자파의 인체 유해성에 대한 많은 논란으로 전력수요의 급증에 따른 전력설비의 증설과 신설을 더욱 어렵게 하고 있다.

전력설비 중 송·변전 설비는 60Hz의 고압 교류전력을 공급하며 이를 설비주변에서는 전·자계가 형성된다. 특히 전력소의 경우 고압송전선의 인입·인출선, 변압기등 각종 전력설비가 집중되어 있기 때문에 자계발생의 주요인으로 작용한다. 지금까지 각종 전기설비로부터 발생하는 전계 및 자계를 해석하기 위해 프로그램 개발 및 모델링 연구가 계속 진행되고 있는 상황이다. 그러나 자계의 주 발생원인 전류의 분포가 다양한 경우, 여기서 발생하는 자계를 분석하기 위해서는 선로의 모양이나 전류의 분포 상태를 정확히 파악하는 것이 중요하다.

본 논문은 에너지변환설비가 집중되어 있는 345/154KV 전력소를 대상으로 하여 전력소 구내의 각종 설비로부터 발생하는 자계를 측정하고 simulation하여 전류분포에 따른 자계분포를 분석하고자 한다.

2. 전력소 구내의 자계 계산

전력소내의 자계분포 특성은 선로와 그 밖의 전력설비의 배치에 따라 다르게 나타난다. 전력소 내의 복잡한 송·변전설비로부터 발생하는 자계를 계산하기 위해서는 선로도체를 유한장 선로로 가정하고 Biot - Savart법칙을 기본식으로 하여 다음과 같이 계산한다.

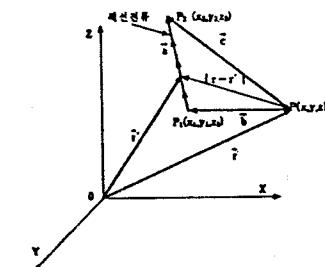


그림 2-1 유한장 직선전류에 의한 자계의 계산

그림 2-1에서  $\vec{a}$ ,  $\vec{b}$ ,  $\vec{c}$ 를 포함하는 전류요소를 살펴보면

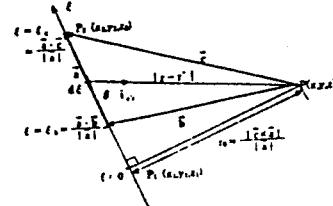


그림 2-2  $\vec{a}$ ,  $\vec{b}$ ,  $\vec{c}$ 를 포함하는 전류 요소

$\vec{b}$ 를  $\vec{a}$ 로 투영시킨 것은  $\xi_b = \vec{a} \cdot \vec{b} / |\vec{a}|$  이다. 따라서 그림 2-2에서 보는 바와 같이  $\xi_b = 0$ 인 점에서 직선전류는 시작하여,  $\vec{a}$ 축으로  $\vec{c}$ 를 투영시킨  $\xi_c$  지점에서 끝난다. 외적  $\vec{c} \times \vec{a} / |\vec{a}|$ 은 그림 2-2의 평면에 수직이고, 또한  $\vec{c}$ 를  $\vec{a}$ 에 수직이며 그림 2-2 평면의  $\vec{z}$ 축 상에 있는 벡터로 투영시킨 것의 크기와 같다. 따라서 관측 점과 직선전류가 형성하는 최단거리는 다음과 같다.

$$\tau_0 = \frac{|\vec{c} \times \vec{a}|}{|\vec{a}|} \quad (2-1)$$

이와 같은 사실로부터 외적을 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\vec{ds} \times \hat{\vec{r}}_{rr'} = d\xi \frac{[\vec{c} \times \vec{a}]}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \quad (2-2)$$

여기서,  $\vec{ds}$ 는 전류의 길이 소이며

$$|\vec{r} - \vec{r}'| = (\xi^2 + r_0^2)^{1/2} \quad (2-3)$$

이상의 관계를 이용하여 Biot-Savart의 법칙을 다시쓰면 자계의 세기  $\vec{H}$ 는 다음과 같다.

$$\vec{H} = \frac{1}{4\pi} \int_{\xi_1}^{\xi_2} \frac{d\vec{S} \times \hat{\vec{r}}_{rr'}}{|\vec{r} - \vec{r}'|^2} \quad (2-4)$$

이 식을 위의 식 (2-2)의 적분변수  $\xi$ 로 나타내면

$$\vec{H} = \frac{1}{4\pi} \int_{\xi_1}^{\xi_2} \frac{\vec{c} \times \vec{a} d\xi}{|\vec{a}| (\xi^2 + r_0^2)^{3/2}} \quad (2-5)$$

이 식을 다시 전개하면

$$\vec{H} = \frac{1}{4\pi} \frac{\vec{c} \times \vec{a}}{|\vec{a}|} \left[ \frac{\xi}{r_0^2 (\xi^2 + r_0^2)^{1/2}} \right] \vec{c} \quad (2-6)$$

직분의 꼴점은 다음과 같이 정의된다.

$$(\xi^2 + r_0^2)^{1/2} = |\vec{c}| : (\xi_b^2 + r_0^2)^{1/2} = |\vec{b}| \quad (2-7)$$

그리면 위의 식 (2-6)은 관측점에서 직선전류의 위치를 고려한 자제의 세기  $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ 에 대한 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\vec{H} = \frac{1}{4\pi} \frac{\vec{c} \times \vec{a}}{|\vec{c} \times \vec{a}|^2} \left( \frac{\vec{a} \cdot \vec{c}}{|\vec{c}|} - \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{b}|} \right) \quad (2-8)$$

$$\vec{B} = \frac{I \mu_0}{4\pi} \frac{\vec{c} \times \vec{a}}{|\vec{c} \times \vec{a}|^2} \left( \frac{\vec{a} \cdot \vec{c}}{|\vec{c}|} - \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{b}|} \right) (T) \quad (2-9)$$

### 3. 전력설비의 자개측정 및 모델링

#### 1) 측정방법

전력소 구내에서 현재 운전중인 345/154KV 선로에 대해서만 측정하였고, sensor의 측정높이는 IEEE에서 권고하고 있는 지상 1m에서 측정하였다.

자제의 구체적인 측정방법으로는 그림 3-1과 같이 전선로를 가로질러 측정하는 평방향 크기 측정방법과 전선로를 따라 일정한 간격으로 측정하는 종방향 크기 측정방법 두 가지가 있다. 하지만 위 두 가지 방법중 전자가 전류에 의한 자제분포 특성을 이해하는데 더 적합하다.

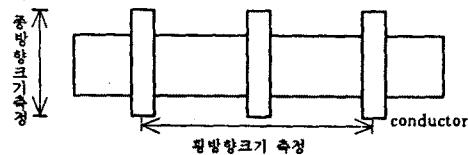


그림 3-1 측정방법의 종류

전력소에서 가장 근접한 송전탑에서 구내로 들어오는 선로는 4복도체 2회선이며 선로의 배치는 변압기를 중심으로 변압기 1차측으로는 345KV 송전선로가 있고 변압기 2차측으로는 154KV 송전선로가 배치되어 있으며 여기서 5개의 154KV 송전선으로 분기되어 전력이 공급된다. 변압기는 단상 변압기(345/154KV, 150(MVA)) 6대를 운행하고 있으며 특히 #2A상 변압기의 고장으로 다른 여분 변압기에 결선하여 운행하고 있다.

측정은 전력소구내의 자제분포를 3차원으로 구성하기 위해서 하나의 큰 좌표로 가정하고 기준점(0,0)을 정하여 구내의 가공모선의 배치에 대해 종·횡방향으로 측정하였다.

#### 2) 측정대상 전력소

측정 대상 전력소의 평면도는 그림 3-2와 같고 우측면도는 그림 3-3에 나타내었다.

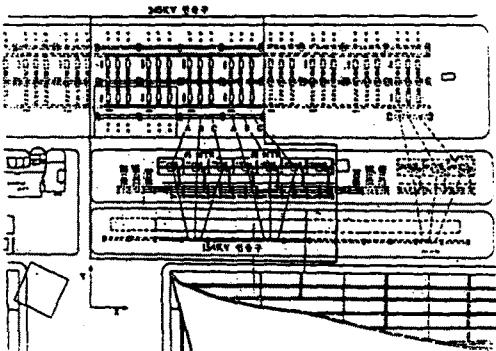


그림 3-2 전력소 평면도

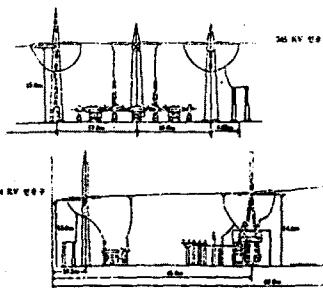


그림 3-3 전력설비 우측면도

그림 3-2와 그림 3-3에 나타나 있는 전력소내의 복잡한 설비를 단순화시켜 운전중인 고압선로만 고려하여 그림 3-4와 그림 3-5에 나타내었다.

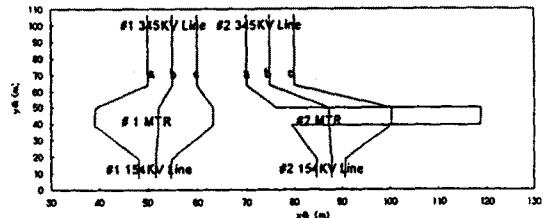


그림 3-4 단순화시킨 전력설비 평면도

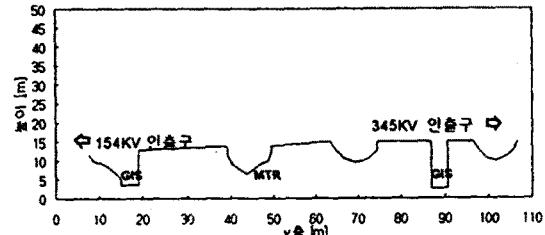


그림 3-5 단순화시킨 전력설비 우측면도

전력소내의 자제분포를 정확히 측정·분석하기 위해서는 여러 가지 사항을 고려해야 한다. 측정당시 전력선에 흐르고 있는 전류, 전선의 형상, 측정기기의 위치, 주변설비의 접근정도 등이다. 전력소내의 임의의 위치에서 측정되는 자제는 전류원이 여러개로 작용하기 때문에 오차의 원인으로 작용할 수 있으며 또한 각 선로에 흐르는 전류는 부하의 시간적인 변동으로 따라 달라지기 때문에 전력소 구내의 자제분포도 또한 다르게 나타난다.

표 1. 측정시 선로내의 전류

변압기 1차측(345KV)	변압기 2차측(154KV)
420 [A]	960 [A]

표 2. 전력소 구내 자개측정 data

v	0m	5m	15m	25m	35m	45m	55m	65m	75m	85m	95m	105m	115m
0m	1.63	17.9	29.00	23.70	7.36	4.05	8.46	10.56	8.37				
7m	15.53	97.00	31.90	21.40	9.95	2.00	12.49	15.00	13.84				
26m	18.69	25.90	18.20	12.11	50.1	26.7	114.5	98.1	31.3				
56m	5.75	5.31	3.71	2.20	5.90	20.70	26.7	10.59	11.08	27.0	22.1	22.0	6.0
61m	5.79												
66m	7.44												
71m	9.61	33.3	136.5	13.86	140.3	15.87	136.7	25.5	92.8	59.6			
76m	7.42												
81m	9.84												
96m	7.47												
91m	2.31												
96m	4.34												
101m	4.95												
106m	7.95	7.69	53.0	15.37	59.0	19.39	17.70	5.20	21.9	7.97			
111m	12.42												
116m	15.67	50.4	32.8	31.2	21.7	11.25	8.59	6.85	7.08	5.97			

#### 4. 시뮬레이션 및 고찰

simulation한 것을 그림 4-1(a)와 그림 4-1(b)에 나타내었다.

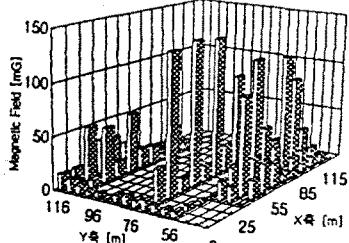


그림 4-1(a) 전력소 구내의 자계 분포(measured)

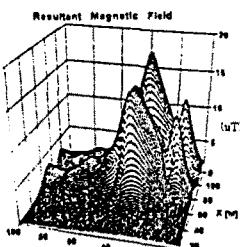


그림 4-1(b) 전력소 구내의 자계분포 (simulated)

전력소 구내의 자계 분포를 분석하기 위해서 자계 발생의 주요인인 345/154KV 가공모선을 대상으로 하였다. 그림 4-2에서 전력소 구내로 345KV 송전선이 인입되는 위치에서는 선로의 기하학적 배치가 여러갈래로 서로 엇갈려 있기 때문에 인입구 부근에서는 30~60[mG]의 자계가 측정되었다. X=0인 Y축상의 값들은 다른 위치에 비해 값이 작게 나타났는데 이는 전력소 내의 가공모선의 위치와 18[m]정도 이격되어 있기 때문에 4~15[mG]의 자계가 측정되었다. 전력소 구내에서 자계분포가 가장 크게 나타난 위치는 에너지 변환 이 일어나는 변압기 주변이었으며 측정된 자계의 범위는 12.0~140[mG]였다. 154KV 송전선 인출구에서는 대부분의 전력을 가공모선의 배치가 기하학적으로 여러갈래로 엇갈린 형태로 외부의 송전탑에 연결되어 있고, 일부의 전력은 22.9KV 지중배전선로를 통하여 공급되는 등 전류의 분포가 넓기 때문에 최대 90[mG]의 자계가 측정되었다.

다음은 전력소 구내의 345/154KV 가공모선 아래에서 측정한 값과 가공송전선로 아래에서 측정한 값을 비교하여 그림 4-2와 그림 4-3에 나타내었다.

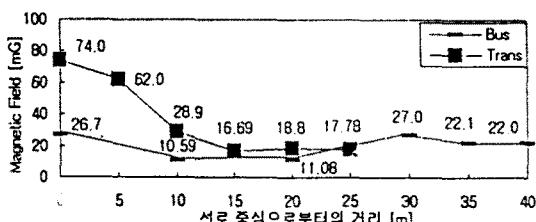


그림 4-2 345KV 가공모선, 송전선 직하의 자계의 횡방향 크기

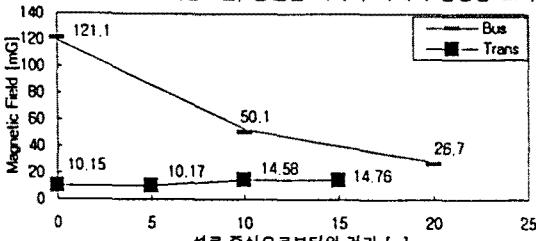


그림 4-3 154KV 가공모선, 송전선 직하의 자계의 횡방향 크기

그림 4-2는 2복도체이고 가공모선과 송전선의 전류가 각각 420[A], 970[A]이며 판측점과 선로의 최저높이는 각각 15[m], 14[m]이다. 그림 4-3은 2복도체이며 가공모선과 송전선의 전류가 950[A], 500[A]이고, 판측점과 선로의 최저높이는 14[m], 29[m]이다. 따라서 전류와 판측도체와의 거리에 따-

라 자계값이 달라짐을 알 수 있다.

다음 각각의 그림들은 전력소 구내의 345/154KV 가공모선, 154KV 인출구 부근에서 축정치와 계산치에 따른 자계의 횡방향 크기를 비교하여 나타내었다.

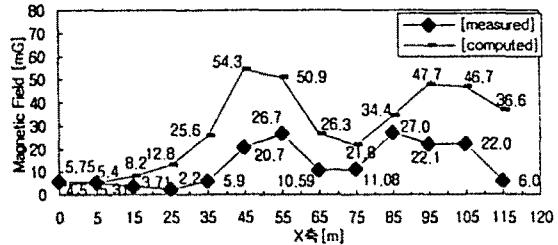


그림 4-4 345 (KV) 가공모선 아래에서의 자계의 횡방향 크기

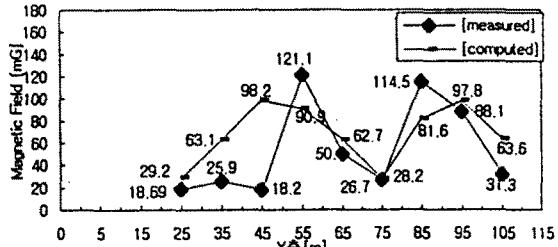


그림 4-5 154 (KV) 가공모선 아래에서의 자계의 횡방향 크기

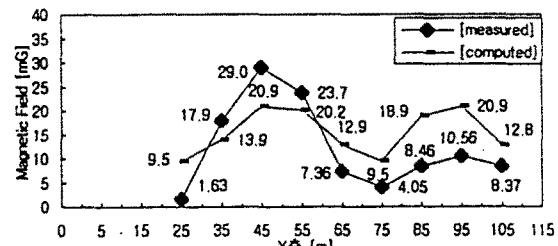


그림 4-6 154 (KV) 인출구 부근에서의 자계의 횡방향 크기

154KV 가공모선에 하에서의 자계의 횡방향 크기는 345KV 측보다 에너지 변환이 발생하는 변압기를 중심으로 높게 분포되어 있음을 알 수 있다. 특히, 변압기 부근에서는 최고 120~140(m G)의 자계가 측정되었으며 154KV 인출구 쪽으로 위치가 변할수록 전류의 분포가 넓어지는 반면 자계의 분포도 약해짐을 알 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 345/154KV 옥외 변전소내의 전력설비에 의한 자계의 분포를 측정하고 분석하였다.

측정을 통하여 변전소 구내의 각종 전력설비에 의해 발생하는 자계는 전력설비의 기하학적 배치와 전류분포에 따라 크게 좌우됨을 알 수 있었다. 특히, 전력소내 가공모선 아래에서의 자계값은 가공송전선로 아래에서 값보다 전류분포가 높기 때문에 큰 값이 나타남을 알 수 있었다.

## 참고 문헌

- [1] "IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines", ANSI/IEEE Std. 644-1987 pp17-21, 1992
- [2] W.K. Daily, F.Dawalibi, "Measurements and Computations of Electromagnetic Fields in Electric Power Substations", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.9, No.1, pp 324~333, January 1994.
- [3] P.S. Wong, S.M. Harvey, "Power Frequency Electric and Magnetic Fields From A 230 KV Gas-Insulated Substation", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 9, No.3, pp 1494-1501, July 1994.
- [4] William F. Horton and Saul Goldberg, "Power Frequency Magnetic Fields and Public Health", CRC Press, 1995