

송전선로의 상배열이 자계 크기에 미치는 영향

김상범, 이동일, 신구용, 김정부
한국전력공사 전력연구원

Effect of Phase Arrangement on Magnetic Field of Overhead Transmission Lines

Sang-Beom Kim, Dong-Il Lee, Koo-Yong Shin, Jeong-Boo Kim
KEPRI (Korea Electric Power Research Institute)

Abstract - The purpose of this study is to obtain optimum arrangement of phase conductors in minimizing magnetic field from overhead transmission lines. Data of the transmission lines rated 345 kV of the KEPCO(Korea Electric Power Company)'s system were used. For a three phase-double circuit transmission line, low-reactance arrangement is optimum in minimizing magnetic fields. For a three phase-four circuit, optimum phase arrangement is a-b-c-b-a-c(lower two circuits, clockwise)/b-c-a-c-a-b(upper two circuits, clockwise).

1. 서 론

1979년 전력선과 인체 질병과의 연관성을 보고한 Wertheimer와 Leeper를[1] 비롯해 일부 역학연구에서는 수 mG 정도의 자계가 인체에 영향을 미칠 수 있다고 주장하고 있다. 그러나 역학연구의 결과는 사례수 부족, 일관성 부재 등의 문제점들이 있고 교통량이나 유전적인 인자 등의 영향 가능성도 배제할 수 없어 아직까지 확정적인 결과로 인정받지는 못하고 있다. 반면, 세포실험이나 동물실험에서는 최소한 수천 mG 수준 이상이 되어야 영향이 나타나는 것으로 보고되고 있다. 그러나 국내 송전선로에서 발생하는 자계는 이보다 훨씬 적은 수준인 것으로 최근 밝혀졌다.[2]

이와 같이 전력설비에서 발생하는 수준의 자계가 인체에 영향을 줄 수 있다는 근거가 없음에도 불구하고 미국, 스웨덴을 비롯한 일부 국가에서는 '신중한 회피' 원칙에 입각하여 일정 비용 한도 내에서 가능한 한 전력설비의 자계를 저감시키고자 하고 있다. 3상 2회선 송전선로의 경우 상배열이 자계 크기에 미치는 영향은 외국에서 이미 조사된 바 있으나,[3] 국내의 송전선로 특히 수직 4회선 배열에 관한 연구는 아직까지 없었다. 따라서 본고에서는 국내에서 운전중인 345 kV 2회선, 4회선 송전선로에 대하여 가능한 상배열에 따라 자계의 크기를 계

산하고 그 저감 관점에서 가장 유리한 상배열을 도출하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 자계 계산의 이론

무한히 긴 직선도체의 자계 B_i 는 다음의 간단한 식으로부터 계산된다.

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

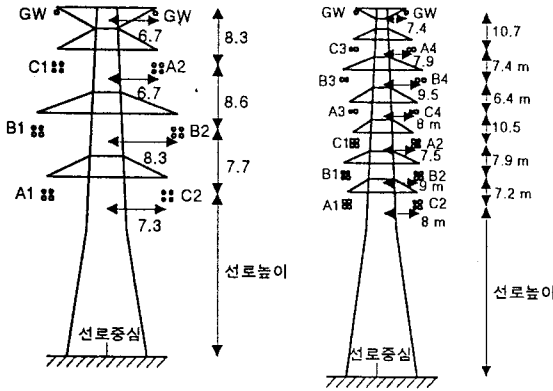
이때 μ_0 는 진공과 공기중의 투자율(Permeability Constant), I_i 는 i 번째 도체를 흐르는 전류이다. 각 도체에 의한 자계는 x, y, z, 3 축 성분으로 나누고 각각 벡터 합성한 후 다시 resultant 값으로 환산하였다. 자계의 계산 과정은 MATLAB 소프트웨어를 사용하여 수행하였으며, 계산 결과는 미국의 BPA에서 개발한 Corona and Field Effects Program으로 계산한 것과 잘 일치함을 확인하였다.

2.2 3상 2회선 송전선로

국내에서 운전중인 345 kV 3상 2회선 송전선의 도체 배치는 그림 1 (a)와 같다. 직사각형 탁자 순열의 경우의 수는 45 가지이지만 한 회선에 a, b, c 세 가지 상이 모두 포함되어야 한다는 제약 때문에 가능한 상배열의 방법은 36 가지가 된다. 이들 36 가지 방법을 표 1에 요약하였는데, A, B, C, D, E, F 각 그룹별로 I, II, III, I', II', III' 항의 자계 크기는 모두 동일하다. 이는 전압과 전류가 sin 함수 특성을 갖기 때문이다. 따라서 3상 2회선에서는 서로 다른 경우의 수가 6 가지로 줄어든다.

이들 6 가지에 대한 자계의 계산 결과를 그림 2에 나타내었다. 이때 도체를 흐르는 전류는 200 A, 선로높이(최하단 도체의 높이)는 20 m, 측정점 지상고는 1 m로 가정하였다. 자계의 최대치를 기준으로 할 때, B, F 배열이 가장 적고 E 배열이 가장 큼을 알 수 있다. 그러나 선로의 중심에서 9 m 이상인 지점부터는 A의 역상배열의 자계가 가장 적

음을 알 수 있다. 자계의 분포는 도체의 기하학적인 배열과 선로의 높이에 따라 그 양상이 크게 달라지는데, 기하학적인 도체 배열은 변화가 없으나 선로의 높이는 전체 송전선로의 구간마다 달라질 수 있으므로 선로높이에 따라 자계 최대치가 어떻게 변화하는지 확인할 필요가 있다.



(a) 345 kV 2회선 선로 (b) 345 kV 4회선 선로
그림 1. 송전선로 도체의 기하학적 배치

표 1. 3상 2회선 선로의 상배열 방법

	I	II	III	I'	II'	III'
A	c a	a b	b c	b a	c b	a c
B	b b	c c	a a	c c	a a	b b
C	a c	b a	c b	a b	b c	c a
B	c a	a b	b c	b a	c b	a c
C	b c	c a	a b	c b	a c	b a
A	a a	b b	c c	a a	b b	c c
D	c c	a a	b b	b b	c c	a a
E	b a	c b	a c	c a	a b	b c
F	a b	b c	c a	a c	b a	c b
E	c c	a a	b b	b b	c c	a a
F	b b	c c	a a	c c	a a	b b
A	c b	a c	b a	b c	c a	a b
B	b a	c b	a c	a c	b a	c b

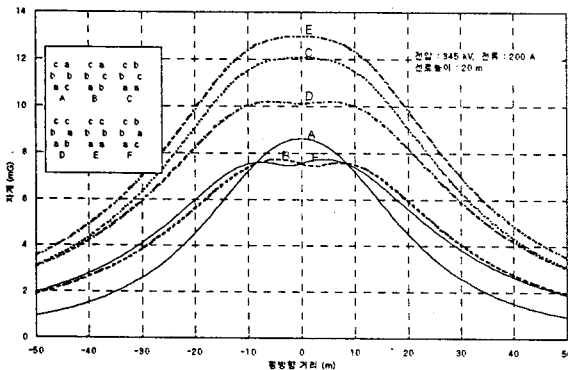


그림 2. 3상 2회선 선로의 상배열에 따른 자계

그림 3은 선로의 높이에 따른 자계 최대치의 변화를 나타낸 것이다. 그림의 화살표로 표시된 선로 높이 26 m 이상에서는 항상 A의 역상배열의 자계가 최소임을 알 수 있다. 결국 역상배열은 횡방향 거리에 따라 급격히 감소하고 선로높이 26 m 이상

에서는 자계 최대치도 어떠한 상배열보다 작기 때문에 자계 저감 측면에서 가장 유리한 상배열이다.

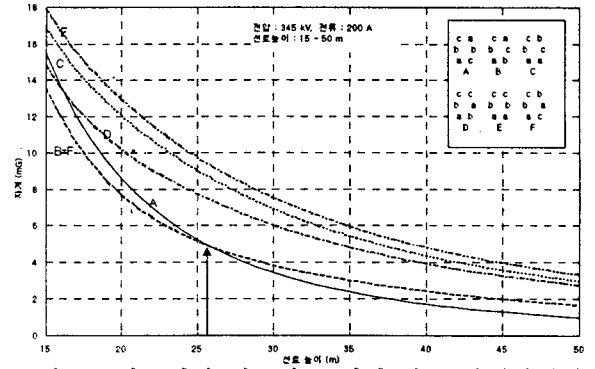


그림 3. 3상 2회선 선로의 높이에 따른 자계 최대치

2.3 3상 4회선

그림 1 (b)와 같은 3상 4회선에서 가능한 상배열의 경우의 수는 모두 1296 가지이지만 서로 다른 경우의 수는 216 가지이다. 이들 216 가지 배열 방법에 대해 모두 자계의 크기를 계산한 후 주요 다섯 가지 상배열 방법을 선택하여 횡방향 거리에 따른 자계 분포를 그림 4에 나타내었다. 선로높이가 20 m 일 때 자계 최대치만을 기준으로 하면 #138 배열이 전체 216 가지 배열 중에서 최소이다.

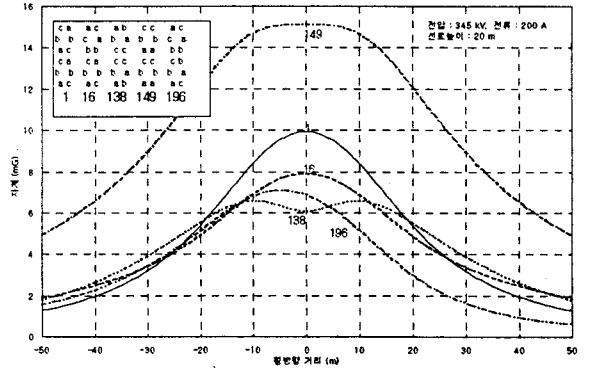


그림 4. 4회선 선로의 상배열에 따른 자계 분포

자계의 크기를 정량적으로 비교하기 위하여 이들 다섯 가지 주요 상배열의 특성을 표 2에 요약하였다. 이때 B_{max} 는 횡방향 거리 -50 m에서 50 m까지의 구간 최대치, B_{avg} 는 구간평균치($\int_{-50}^{50} B(r) dr / 100$, r 은 횡방향 거리를 의미한다. 또, 상대 최대치와 상대평균치는 각각 전체 상배열 방법중 최소 구간 최대치와 최소 구간평균치에 대한 비율이며 크기 순으로 배열하였을 때의 순위도 나타내었다.

표 3에서 #1 상배열은 현재 사용하고 있는 역상배열이며 #16은 전계를 최소화하는 방식이다. #149는 구간 최대치와 구간평균치가 가장 크게 나타나는 상배열로서 가장 불리한 배열이다. #138은 구간 최대치가 최소, #196은 구간평균치가 최소인 배열이다. 따라서 현재 사용하고 있는 역상배열보다 #138이나

#196배열이 자계 저감 측면에서 더 유리한 배열임을 알 수 있다.

표 3.5 가지 주요 상배열에 대한 자계 특성치

상배열 번호	#1	#16	#138	#149	#196
상배열	c a b a c a b a a c	a c c b c a b a a c	a b b c c c b a a b	c c b a a a c c b a a a	a c c a b b c b b a a c
특성	역상배열	$E_{max} = \text{Min.}$ $E_{avg} = \text{Min.}$	$B_{max} = \text{Min.}$	$B_{max} = \text{Max.}$ $B_{avg} = \text{Max.}$	$B_{avg} = \text{Min.}$
상대 최대치 $B_{max}/(B_{max})_{min}$	1.50	1.20	1	2.30	1.08
상대 평균치 $B_{avg}/(B_{avg})_{min}$	1.34	1.24	1.25	2.87	1
최대치 Ranking	125	18	1	216	5
평균치 Ranking	60	33	34	216	1

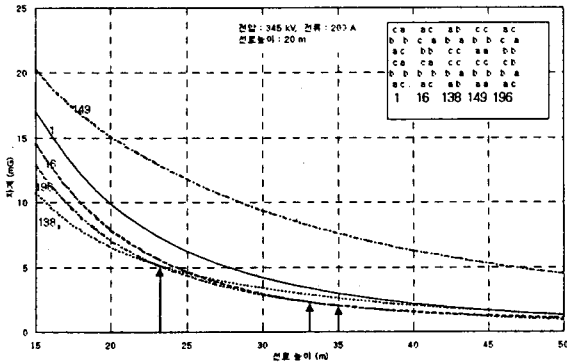


그림 5. 4회선 선로의 높이에 따른 자계 최대치

그림 5는 4회선 선로의 높이에 따른 자계 최대치를 보여주는 것으로 앞서 2회선 선로와 마찬가지로 선로높이에 따라 구간최대치의 우열이 바뀔 수 있다. 선로높이가 23 m 이하에서는 #138이 가장 유리하고 23 ~ 33 m에서는 #196, 33 ~ 35 m에서는 #16, 25 ~ 50 m에서는 다시 #196이 가장 유리하다. 실제 345 kV 송전선로 높이의 전국 평균치는 22 m 정도이기 때문에 [2] #196 상배열이 자계 저감 측면에서 가장 유리한 조건으로 제시될 수 있다.

자계의 크기에는 상의 상하좌우 대칭이 큰 영향을 미친다. 이는 선로높이에 관계없이 항상 최대 자계를 나타내는 #149 상배열이 선로중심을 경계로 좌우 상이 정확히 대칭인 것으로부터도 짐작할 수 있다. 그림 6의 기준점을 중심으로 2회선 점대칭, 수평선을 중심으로 2회선 수평선대칭, 수직선을 대칭으로 2회선 수직선대칭, 그외 상하좌우 각 1회선씩 수평선, 수직선대칭 등 모두 7 가지 대칭으로 구분하여 216 가지 상배열의 자계 순위를 그림 7에 나타내었다. 여기서 수직선은 선로의 중심선이고 수평선은 상부 2회선과 하부 2회선의 경계선이다. 그림 7에서 ■, ▲, ●, □, △, ○, × 등의 marker가 아래쪽에 위치할수록 순위가 작으므로 자계 크기가 작다는 뜻이다. 특히 ●, ○, ×는 각각 수직선에 대한 상하부 4도체 대칭, 상부 2회선 대칭, 하부 2회선 대칭을 갖는 상배열을 뜻하며, 이들은 대부

본 그림의 윗쪽에 분포한다. 이와 반대로 ▲, □, △ 들은 수평선에 대한 대칭성을 갖는 상배열로서 그림의 아래쪽에 주로 위치한다. ■는 기준점에 대한 점대칭을 갖는 배열로서 수평선, 수직선 대칭을 어느 정도 가지고 있는나에 따라 그 순위가 결정되므로 한 곳에 치우치지 않고 분산되어 있다. 따라서 자계를 저감시키기 위해서는 선로를 설계

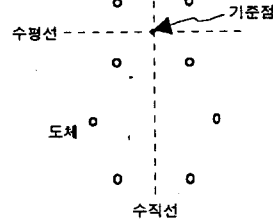


그림 6. 대칭성의 기준

함에 있어서 기본적으로 상하가 대칭이게끔 상배열하는 것이 좋다.

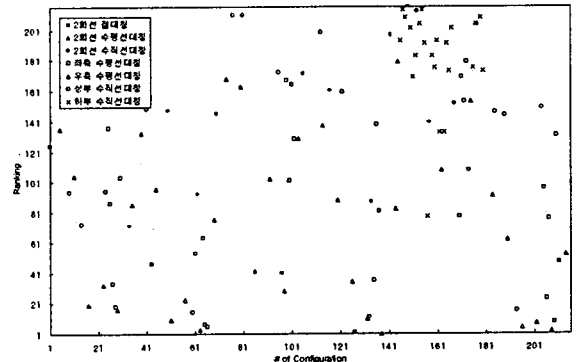


그림 7. 대칭성에 따른 자계 크기별 순위

3. 결 론

국내에서 운전중인 송전선로에 대하여 자계를 최소화할 수 있는 상배열 방식을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 345 kV 3상 2회선 송전선로에서는 역상배열이 자계 저감 측면에서 가장 타당한 상배열이었고, 345 kV 3상 4회선 송전선로에서는 하부 2회선 시계방향, 상부 2회선 시계 방향 순서대로 a-b-c-b-a-c, b-c-a-c-a-b 로 상배열하는 것이 자계 저감 측면에서 가장 타당한 것으로 나타났다.

(참 고 문 헌)

[1] N. Wertheimer and E. Leeper, "Electrical wiring configurations and childhood cancer", Am. J. Epidemiol., 111(4), 273-284 (1979).
 [2] 한국전력공사 전력연구원, "송전선로 전자계 영향 연구(I)", 중간보고서, TM.96EJ29.M1998.213 (1998).
 [3] D. Tsanakas, D. Tsalemis, D. Agoris, and J. Vojazakis, "Optimum arrangements of the phase conductors of overhead transmission lines for the magnetic field minimization", Aug. 28 - Sep. 3, Paris, France, CIGRE Paper 36-101 (1994).