

# 지중송전계통에서 선로의 구성방식에 따른 자계 해석

## Magnetic Field Analysis in Accordance with Line Configuration Type in Underground Transmission Systems

이재명\* · 이종범\*  
(Jae-Myeong Lee · Jong-Beom Lee)

**Abstract** - This paper describes magnetic field on power cable in underground transmission systems. Based on specification which is being used in domestic power utility, magnetic field was analyzed in accordance with line arrangement, line burial depth and phase spacing. Magnetic field magnitude and its trend were understood in each circuit type such as double circuits, triple circuits and quadruple circuits of underground transmission systems. In addition, magnetic field was analyzed according to phase arrangement changing in each circuit. Finally, the proper phase arrangement configuration type was suggested by the evaluation of analysis result. Magnetic field was calculated by using Biot-Savart's law. According to the evaluated magnetic fields based on phase layout configuration in each circuit, it figured out that each of magnetic fields was different. As a result, this paper proposes a proper phase layout configuration for generating minimum magnetic field. It is evaluated that the phase layout configuration in each circuit proposed in this paper can be used at actual underground transmission systems.

**Key Words** : Magnetic field, Underground transmission systems, Biot-Savart's law, Phase layout configuration

### 1. 서론

송전선로는 전계와 자계를 발생하며 이들은 송전선로 설계 및 운영에 있어서 중요한 역할을 한다. 과거 초고압 송전선로의 건설이 급증하던 시기에는 전계측면의 선로 설계 및 운영이 주요 관심거리였다. 자계의 노출기준은 국제비전리방사보호위원회(ICNIRP)에서 직업인은 1,000 $\mu$ T, 일반인은 200 $\mu$ T으로 제시한다. 우리나라의 자계기준은 이 기준보다 더 엄격하게 적용되어 직업인은 416.7 $\mu$ T, 일반인은 83.3 $\mu$ T이다. 그 이외에 몇몇 국가에서도 자계에 대한 노출 제한치를 제시하고 있으며, 새로운 선로를 신설하거나 기존선로를 승압하기 위해서는 허가를 받아야하며 이를 위해서는 자계를 분석해야만 한다[1, 2].

지금까지 송전선로에 대한 자계 해석은 다양하게 이루어지고 있으나 그 대상은 주로 가공송전선로이며 지중송전선로 즉, 전력케이블로부터 발생하는 자계에 대한 해석은 상대적으로 매우 적다. 지중선로 분야의 해외 연구동향을 보면 미국전력연구소(EPR)에서는 루프 또는 차폐판을 이용하거나 지중선로의 상배치에 따라 자계를 저감할 수 있는 연구를 수행한 바 있다[3, 4]. 그리고 King Fahd University에서는 차폐판과, 상배치를 이용하여 지중송전선로의 자계를 저감하는 연구를 수행하였고[5, 6], 영

국 National Grid에서는 전류와 거리에 따른 자계의 크기를 해석하는 연구를 수행한 바 있다[7]. 그러나 국내의 경우는 우리나라 지중송전선로에 적합한 포설 상황을 고려한 상태에서 자계를 해석하거나 이를 감소시키는 방법을 다룬 연구는 희박하다.

따라서 본 논문에서는 국내 지중송전선로 포설 조건을 고려한 상태에서 전력케이블에서 발생하는 자계를 상대적으로 감소시킬 수 있는 선로 구성방식을 제안하고자 한다. 이를 위해 본 논문에서는 케이블 구성조건별로 구분하고 각각에 대해 이론적으로 자계를 계산하여 제시하였다. 자계해석은 Biot-Savart 법칙 이론을 이용하였다[8-10].

연구범위는 국내 전력회사 지중송전설계기준 DS-6100에 제시되어 있는 송전선로 2회선, 3회선 및 4회선 송전단독관로의 경우에서 첫째, 각 회선별로 배열, 도체간격 및 매설깊이 변화에 따른 자계를 해석하고 각 회선별로 자계의 크기를 상호 비교하였다. 둘째로 각 회선별로 배열의 선로 상배치 변화에 따른 자계를 계산하여 자계를 최저로 저감시킬 수 있는 상배치 구성방식을 제안한다[11-13].

### 2. 본론

#### 2.1 자계 계산 이론

본 논문에서는 자계 계산이론인 Biot-Savart 법칙을 이용하여 해석하였다. 여기서는 각 회선별로 배열에 따른 자계의 경향을 파악하고 자계를 축소시키는 선로의 적정 상배치를 파악하여 지

\* Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Wonkwang University, Korea

E-mail : ipower@wku.ac.kr

\* Dept. of Electrical Engineering, Wonkwang University, Korea

Received : September 14, 2015; Accepted : November 19, 2015

중송전선로 구성방식을 제안하는 것이 목적이므로 더 정확한 자계를 해석할 수 있는 3차원 해석 방법보다는 간략하지만 비슷한 경향을 나타내는 2차원 해석을 사용하였다[8, 9].

그림 1은 Biot-Savart 법칙을 설명하는 것이다. 여기서 미소 전류  $IdL'$ 이 z축 상에 놓여 있을 때 발생하는 미소 자기장의 세기  $dB$ 는 식 (1)과 같이 결정된다[10].

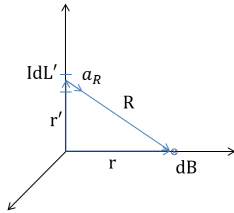


그림 1 전류에 의한 자계 표시  
Fig. 1 Magnetic field explanation by current

$$dB = \frac{\mu_0 IdL' \times a_R}{4\pi R^2} = \frac{\mu_0 IdL' \times R}{4\pi R^3} \quad (1)$$

선로의 길이가 무한히 길다고 가정하고 식 (1)을 B에 관하여 정리하면 식 (2)와 같이 된다. I는 선로에 흐르는 전류[A]이고, R은 측정위치에서 도체까지의 거리[m]이며,  $\mu_0$ 는 공기 중 투자율[H/m], 그리고  $a_R$ 은 방향벡터이다.

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} a_R \quad (2)$$

자계는 수평축 x 및 수직축 y에 따라 두 개의 페이지인 식 (3)과 (4)로 분해할 수 있다.

$$\hat{B}_x = \frac{u_0 \hat{I}}{2\pi R_c^2} (y_c + d) \quad (3)$$

$$\hat{B}_y = \frac{u_0 \hat{I}}{2\pi R_c^2} (x_c - h) \quad (4)$$

도체에서 교변하는 전류는  $I = I_{max} \sin(\omega t - \alpha)$ 와 같이 표현된다. 이를 식 (3)과 (4)에 대입하면 임의의 점에서 x축 성분은  $B_x \sin(\omega t - \alpha)$ 이며, y축 성분은  $B_y \sin(\omega t - \beta)$ 로 표현된다. 여기서  $B_x, B_y$ 는 상수이고  $\alpha, \beta$ 는 위상각이며 각 성분을 시간함수로 나타낼 수 있다. 그림 2는 시간  $t_1$ 과  $t_2$ 에서 자계의 크기를 나타낸 것이다. 시간의 변화에 따라 자계의 크기와 방향이 변하는 것을 알 수 있다.

또한 그림 2에서 보여준 자계를 xy 평면으로 투영하면 그림 3과 같다. 자계의 크기는  $\theta$ 가 0에서  $2\pi$ 까지 변화함에 따라 그 크기도 변화한다. 여기서 x축 투영 크기가 x 성분, y축 투영 크기가 y 성분이다. 그림 3에서도 알 수 있듯이 자계는 위치에 따라 벡터의 크기가 다르고 다양한 요소에 의해 직선형태가 아닌

타원형태를 이루고 있는 것을 알 수 있다. 이 타원형태를 이용하여 최대자계 및 최소자계의 크기를 식 (5)를 이용해서 구할 수 있다.

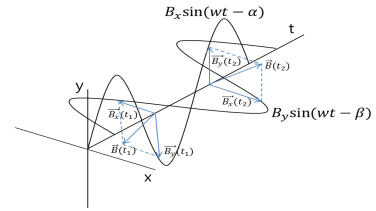


그림 2 시간에 따른 자계의 공간변화  
Fig. 2 Spatial variation of magnetic field according to time

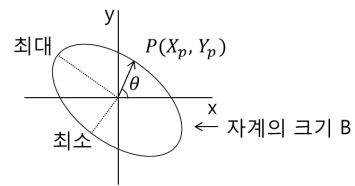


그림 3 xy 평면에서 시간에 따른 자계 변화  
Fig. 3 Magnetic field variation according to time at xy plane

$$B_y^2 = (B_{y_j} \sin\theta + B_{r_x} \cos\theta)^2 + (B_{r_y} \sin\theta + B_{y_j} \cos\theta)^2 \quad (5)$$

자계의 단위는 [Tesla], [Gauss]로 표현할 수 있으며  $10^4$  Gauss는 1Tesla이며 1,000mG는 100uT와 같다. 실제 송전선로와 같이 3상 회선 이상으로 전력이 전송될 경우에는 총 자계는 각 상도체로부터 발생하는 자계 x, y 성분들을 구한 후 각각을 합성한 자속밀도를 구하면 된다[11].

## 2.2 자계 해석

지중송전선로에서 자계 발생에 영향을 주는 요소들은 시스템적인 요소(전류의 크기, 상평형, 접지), 케이블 설치요소(매설깊이, 배열형태, 도체간격, 상배치), 케이블 구성요소(시스 저항, 케이블 재료), 기타요소(시스전류)등이 있다. 본 논문에서는 이중 지중송전선로의 매설깊이, 배열형태, 도체간격 및 상배치를 중점적으로 고려한 상태에서 지중송전선로의 회선별 배열과 배치에 따른 자계를 해석하였다. 다시 말해 국내 전력회사 지중송전설계기준 DS-6100에 제시되어 있는 2회선, 3회선 및 4회선의 실제 포설환경(매설깊이 3m, 도체간격 0.35m)을 고려한 상태에서 분석을 하였고 송전단독관로의 경우에서도 선로배열과 상배치에 따른 자계를 각각 해석하고 이를 비교함으로써 회선별로 최소의 자계를 발생시킬 수 있는 선로배열과 상배치 구성 방식을 제안하고자 한다. 해석하고자 하는 각각의 회선별 배치도는 그림 4와 같다[12].

자계 측정 지점은 IEC-62110에서 기준으로 정하고 있는 바와 같이 지표면으로부터 0.5m, 1.0m 및 1.5m 세 점에서 측정된 값의 평균치를 자계의 크기로 산정했다. 해석 대상 지중송전선로의 전압은 154kV, 선로전류는 500A 평형 3상 회로로 정하였다[13].

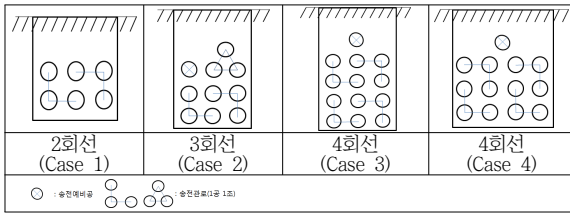


그림 4 회선별 관로 배치도  
 Fig. 4 Conduit line in each circuit

2.2.1 선로의 매설깊이와 간격 변화에 따른 자계

그림 5는 2회선 선로(Case 1)에서 매설깊이와 도체간격별 자계를 해석하여 나타낸 결과이다. Case 1인 2회선 선로의 경우, 매설깊이별 자계는 깊이 1m, 도체간격 0.35m로 선로를 포설하고 배열 중간지점에서의 계산 값이 값은 지표면상 0.5m, 1m 및

1.5m인 세 지점에서 계산된 값의 평균치임, 이하 이 값을 편의상 배열 중간 값으로 표시함)을 기준으로 할 때, 만일 깊이 1.5m로 포설 할 경우에는 자계는 36.29%, 2m일 경우 55.7%, 2.5m일 경우 67.35%, 3m일 경우 74.9%로 저감되었다. 도체간격 변화에 따른 자계는 깊이 1m, 도체간격 0.35m로 포설하고 배열 중간 값을 기준으로 할 때 도체간격 0.25m의 경우 자계는 24.69%, 0.15m일 경우 52.28%가 저감되었다.

그림 6는 3회선 선로(Case 2)에서 매설깊이와 도체간격별 자계를 해석하여 나타낸 결과이다. Case 2인 3회선 선로의 경우, 매설깊이별 자계는 깊이 1m, 도체간격 0.35m로 포설하고 배열의 중간 값을 기준으로 깊이 1.5m로 포설할 경우 자계는 31.56%, 2m일 경우 49.97%, 2.5m일 경우 61.74%, 3m일 경우 69.78%로 저감되었다. 도체간격 변화에 따른 자계는 깊이 1m, 도체간격 0.35m로 포설하고 배열 중간 값을 기준으로 도체간격을 0.25m의 경우 자계는 17.61%, 0.15m일 경우 41.81%가 저감되었다.

그림 7은 4회선 선로(Case 3)에서 매설깊이와 도체간격별 자

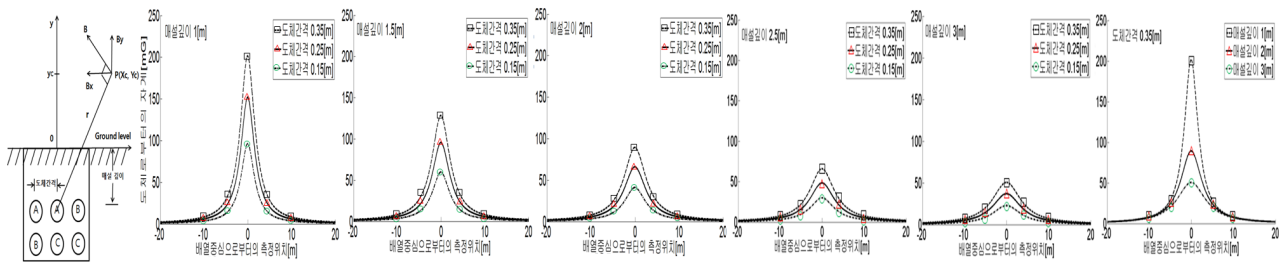


그림 5 2회선 선로(Case 1)에서 매설깊이와 도체간격 변화에 따른 자계  
 Fig. 5 Magnetic field according to variation of burial depth and line spacing in double circuits(Case 1)

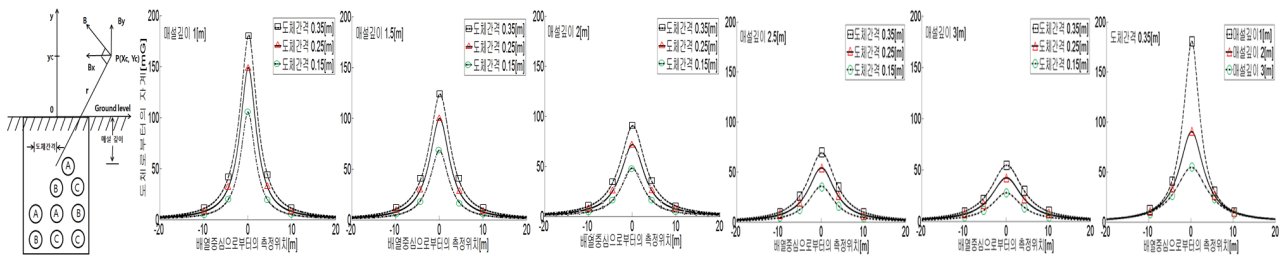


그림 6 3회선 선로(Case 2)에서 매설깊이와 도체간격 변화에 따른 자계  
 Fig. 6 Magnetic field according to variation of burial depth and line spacing in triple circuits(Case 2)

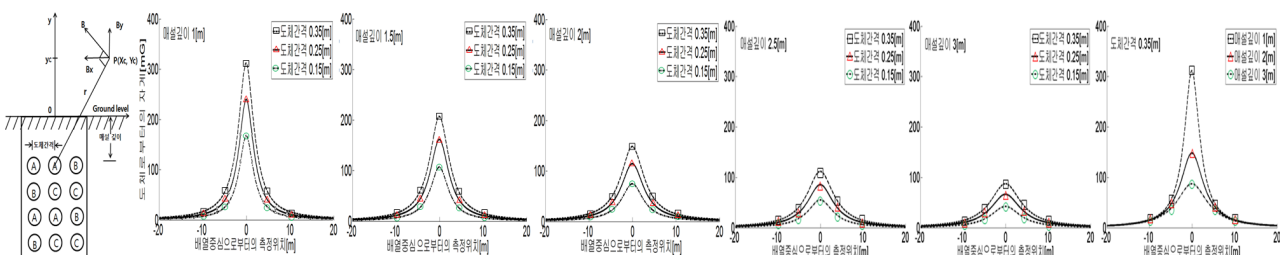


그림 7 4회선 선로(Case 3)에서 매설깊이와 도체간격 변화에 따른 자계  
 Fig. 7 Magnetic field according to variation of burial depth and line spacing in quadruple circuits(Case 3)

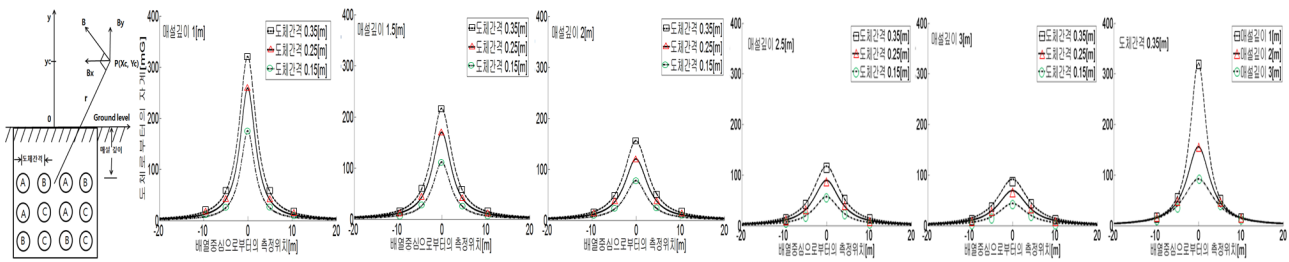


그림 8 4회선 선로(Case 4)의 매설깊이와 도체간격 변화에 따른 자계

Fig. 8 Magnetic field according to variation of burial depth and line spacing in quadruple circuits(Case 4)

계를 해석하여 나타낸 결과이다. Case 3인 4회선 선로의 경우, 매설깊이별 자계는 깊이 1m, 도체간격 0.35m로 포설하고 배열 중간 값을 기준으로 깊이 1.5m로 포설할 경우 자계는 33.58%, 2m일 경우 52.42%, 2.5m일 경우 62.34%, 3m일 경우 70.57%로 저감되었다. 도체간격 변화에 따른 자계는 깊이 1m, 도체간격 0.35m로 포설하고 배열 중간 값을 기준으로 도체간격을 0.25m로 포설 할 경우 23.03%, 0.15m일 경우 46.23%가 저감되었다.

그림 8은 4회선 선로(Case 4)에서 매설깊이와 도체간격별 자계를 해석하여 나타낸 결과이다. Case 4인 4회선 선로의 경우, 매설깊이별 자계는 깊이 1m, 도체간격 0.35m로 포설하고 배열 중간 값을 기준으로 깊이 1.5m로 포설할 경우 자계는 32.51%, 2m일 경우 51.43%, 2.5m일 경우 63.4%, 3m일 경우 71.41%로 저감되었다. 도체간격 변화에 따른 자계는 깊이 1m, 도체간격 0.35m로 포설하고 배열 중간 값을 기준으로 도체간격을 0.25m의 경우 자계는 19.23%, 0.15m일 경우 45.29%가 저감되었다.

표 1 2회선 선로(Case 1)의 상배치 변화에 따른 자계

Table 1 Magnetic field according to variation of phase layout configuration in double circuits(Case 1)

구분	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6
상배치	a a b b c c	a a c b c b	a b c b c a	a b a b c c	a c a b c b	a c b b c a
자계 값	(51 mG)	(46 mG)	(36 mG)	(41 mG)	(35 mG)	(6 mG)
구분	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6
상배치	a a b c b c	a a c c b b	a b c c b a	a b a c b c	a c a c b b	a c b c b a
자계 값	(46 mG)	(51 mG)	(6 mG)	(35 mG)	(41 mG)	(36 mG)
구분	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6
상배치	b a b c a c	b a c c a b	b b c c a a	b b a c a c	b c a c a b	b c b c a a
자계 값	(35 mG)	(6 mG)	(51 mG)	(46 mG)	(36 mG)	(41 mG)
구분	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5	4-6
상배치	b a b a c c	b a c a c b	b b c a c a	b b a a c c	b c a a c b	b c b a c a
자계 값	(41 mG)	(36 mG)	(46 mG)	(51 mG)	(6 mG)	(35 mG)
구분	5-1	5-2	5-3	5-4	5-5	5-6
상배치	c a b a b c	c a c a b b	c b c a b a	c b a a b c	c c a a b b	c c b a b a
자계 값	(36 mG)	(41 mG)	(35 mG)	(6 mG)	(51 mG)	(46 mG)
구분	6-1	6-2	6-3	6-4	6-5	6-6
상배치	c a b b a c	c a c b a b	c b c b a a	c b a b a c	c c a b a b	c c b b a a
자계 값	(6 mG)	(35 mG)	(41 mG)	(36 mG)	(46 mG)	(51 mG)

### 2.2.2 상배치별 자계

본 논문에서는 상배치에 따른 자계 변화를 해석하기 위하여 회선별 각 상의 배치를 바꾸어 가면서 자계를 해석하였다. 그리고 이를 통하여 자계가 작은 상배치 방식을 제안하였다.

표 2 3회선 선로(Case 2)의 상배치 변화에 따른 자계

Table 2 Magnetic field according to variation of phase layout configuration in triple circuits(Case 2)

구분	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6
상배치	a b c a a b b c c	a c b a a b b c c	b c a a a b b c c	b a c a a b b c c	c b a a a b b c c	a a b a a b b c c
자계 값	(43 mG)	(48 mG)	(31 mG)	(51 mG)	(23 mG)	(48 mG)
구분	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6
상배치	a b c a a c b c b	a c b a a c b c b	b c a a a c b c b	b a c a a c b c b	c b a a a c b c b	a a b a a c b c b
자계 값	(48 mG)	(50 mG)	(17 mG)	(48 mG)	(38 mG)	(43 mG)
구분	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6
상배치	a b c a b c b c a	a c b a b c b c a	b c a a b c b c a	b a c a b c b c a	c b a a b c b c a	a a b a b c b c a
자계 값	(43 mG)	(17 mG)	(78 mG)	(40 mG)	(33 mG)	(40 mG)
구분	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5	4-6
상배치	a b c a b a b c c	a c b a b a b c c	b c a a b a b c c	b a c a b a b c c	c b a a b a b c c	a a b a b a b c c
자계 값	(48 mG)	(42 mG)	(33 mG)	(48 mG)	(37 mG)	(24 mG)
구분	5-1	5-2	5-3	5-4	5-5	5-6
상배치	a b c a c a b c b	a c b a c a b c b	b c a a c a b c b	b a c a c a b c b	c b a a c a b c b	a a b a c a b c b
자계 값	(43 mG)	(43 mG)	(20 mG)	(21 mG)	(35 mG)	(37 mG)
구분	6-1	6-2	6-3	6-4	6-5	6-6
상배치	a b c a c b b c a	a c b a c b b c a	b c a a c b b c a	b a c a c b b c a	c b a a c b b c a	a a b a c b b c a
자계 값	(17 mG)	(21 mG)	(18 mG)	(21 mG)	(21 mG)	(21 mG)

표 3 4회선 선로(Case 3)의 상배치 변화에 따른 자계

Table 3 Magnetic field according to variation of phase layout configuration in quadruple circuits(Case 3)

구분	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6
상배치	a a b	a a c	a b c	a b a	a c a	a c b
	b c c	b c b	b c a	b c c	b c b	b c a
	a c b	a c b	a c b	a c b	a c b	a c b
	b c a	b c a	b c a	b c a	b c a	b c a
자계 값	(51 mG)	(48 mG)	(35 mG)	(40 mG)	(36 mG)	(10 mG)
구분	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6
상배치	a a b	a a c	a b c	a b a	a c a	a c b
	c b c	c b b	c b a	c b c	c b b	c b a
	a c b	a c b	a c b	a c b	a c b	a c b
	b c a	b c a	b c a	b c a	b c a	b c a
자계 값	(48 mG)	(53 mG)	(9 mG)	(33 mG)	(44 mG)	(39 mG)
구분	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6
상배치	b a b	b a c	b b c	b b a	b c a	b c b
	c a c	c a b	c a a	c a c	c a b	c a a
	a c b	a c b	a c b	a c b	a c b	a c b
	b c a	b c a	b c a	b c a	b c a	b c a
자계 값	(33 mG)	(5 mG)	(48 mG)	(43 mG)	(34 mG)	(40 mG)
구분	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5	4-6
상배치	b a b	b a c	b b c	b b a	b c a	b c b
	a c c	a c b	a c a	a c c	a c b	a c a
	a c b	a c b	a c b	a c b	a c b	a c b
	b c a	b c a	b c a	b c a	b c a	b c a
자계 값	(40 mG)	(38 mG)	(43 mG)	(48 mG)	(6 mG)	(36 mG)
구분	5-1	5-2	5-3	5-4	5-5	5-6
상배치	c a b	c a c	c b c	c b a	c c a	c c b
	a b c	a b b	a b a	a b c	a b b	a b a
	a c b	a c b	a c b	a c b	a c b	a c b
	b c a	b c a	b c a	b c a	b c a	b c a
자계 값	(40 mG)	(44 mG)	(37 mG)	(5 mG)	(53 mG)	(48 mG)
구분	6-1	6-2	6-3	6-4	6-5	6-6
상배치	c a b	c a c	c b c	c b a	c c a	c c b
	b a c	b a b	b a a	b a c	b a b	b a a
	a c b	a c b	a c b	a c b	a c b	a c b
	b c a	b c a	b c a	b c a	b c a	b c a
자계 값	(9 mG)	(38 mG)	(40 mG)	(32 mG)	(48 mG)	(51 mG)

도체의 위상은 0°, 120° 및 240°이며, 실제 포설환경을 고려하여 선로의 매설깊이는 3m, 도체간격 0.35m를 기준으로 상배치별 자계를 해석하였다. 표현 가능한 배치의 수는 n을 회선수라고 할 때, 6<sup>n</sup>개가 되어 2회선의 경우에는 6<sup>2</sup>, 3회선 및 4회선은 6<sup>3</sup> 및 6<sup>4</sup>개로 배치가 가능하다. 그러나 너무 많은 경우의 수가 발생하므로 본 논문에서는 이 중 자계 값이 큰 경우와 작은 경우 등을 중심으로 혼합하여 결과를 제시하였다.

표 1은 2회선 선로(Case 1)에서 상배치 변화에 따른 자계의 해석결과를 나타낸 것으로서 상배치에 따라 다양하게 변화하는 것을 알 수 있다. 최소로 자계가 발생하는 상배치는 표 1의 1-6, 2-3, 3-2, 4-5, 5-4, 6-1 경우와 같으며, 이 때 자계 값은 6mG를 보였다.

표 2는 3회선 선로(Case 2)에서 상배치 변화에 따른 자계의 해석결과를 나타낸 것이다. 최소로 자계가 발생하는 상배치의 구성은 2-3, 3-2, 6-1의 경우와 같으며, 이 때 자계 값은 17mG를 보였다.

표 4 4회선 선로(Case 4)의 상배치 변화에 따른 자계

Table 4 Magnetic field according to variation of phase layout configuration in quadruple circuits(Case 4)

구분	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6
상배치	a b a b	a b a c	a b b c	a b b a	a b c a	a b c b
	a c b c	a c b b	a c b a	a c b c	a c b b	a c b a
	b c c a	b c c a	b c c a	b c c a	b c c a	b c c a
	(61 mG)	(51 mG)	(48 mG)	(62 mG)	(21 mG)	(32 mG)
구분	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6
상배치	a c a b	a c a c	a c b c	a c b a	a c c a	a c c b
	a b b c	a b b b	a b b a	a b b c	a b b b	a b b a
	b c c a	b c c a	b c c a	b c c a	b c c a	b c c a
	(48 mG)	(46 mG)	(34 mG)	(34 mG)	(32 mG)	(18 mG)
구분	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6
상배치	b c a b	b c a c	b c b c	b c b a	b c c a	b c c b
	a a b c	a a b b	a a b a	a a b c	a a b b	a a b a
	b c c a	b c c a	b c c a	b c c a	b c c a	b c c a
	(38 mG)	(37 mG)	(63 mG)	(62 mG)	(34 mG)	(44 mG)
구분	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5	4-6
상배치	b a a b	b a a c	b a b c	b a b a	b a c a	b a c b
	a c b c	a c b b	a c b a	a c b c	a c b b	a c b a
	b c c a	b c c a	b c c a	b c c a	b c c a	b c c a
	(60 mG)	(43 mG)	(64 mG)	(68 mG)	(37 mG)	(32 mG)
구분	5-1	5-2	5-3	5-4	5-5	5-6
상배치	c a a b	c a a c	c a b c	c a b a	c a c a	c a c b
	a b b c	a b b b	a b b a	a b b c	a b b b	a b b a
	b c c a	b c c a	b c c a	b c c a	b c c a	b c c a
	(34 mG)	(36 mG)	(23 mG)	(37 mG)	(36 mG)	(34 mG)
구분	6-1	6-2	6-3	6-4	6-5	6-6
상배치	c b a b	c b a c	c b b c	c b b a	c b c a	c b c b
	a a b c	a a b b	a a b a	a a b c	a a b b	a a b a
	b c c a	b c c a	b c c a	b c c a	b c c a	b c c a
	(35 mG)	(4 mG)	(49 mG)	(42 mG)	(37 mG)	(43 mG)

표 3은 4회선 선로(Case 3)에서 상배치 변화에 따른 자계의 해석결과를 나타낸 것이다. 최소로 자계가 발생하는 상배치의 구성은 5-4의 경우와 같으며, 이 때 자계 값은 5 mG를 보였다. 5-4의 상배치가 가장 큰 자기장 벡터 상쇄를 하는 배치이며, 이는 Case 3에서 적절한 배치이다.

표 4는 4회선 선로(Case 4)에서 상배치 변화에 따른 자계를 해석결과를 나타낸 것이다. 최소로 자계가 발생하는 상배치의 구성은 6-2의 경우와 같으며, 이때 자계 값은 4mG를 보였다. 6-2의 상배치가 가장 큰 자기장 벡터 상쇄를 하는 배치이며, 이는 Case 4에서 적절한 배치이다.

지금까지 지중송전선로의 지하 매설깊이, 도체간격, 선로전류 등 동일한 조건 하에서 각 회선별로 선로 상배치 변화에 따른 자계를 해석하였다. 이를 정리하면 2회선의 경우 자계가 최소로 발생하는 상배치는 표 1의 1-6, 2-3, 3-2, 4-5, 5-4, 6-1이며, 3회선의 경우 상배치는 표 2의 2-3, 3-2, 6-1이다. 4회선의 경우 표 4의 6-2와 같음을 알 수 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 국내 전력회사가 지중송전선로를 공사할 경우

참고하는 DS-6100에서 제시되어 있는 송전단독관로 2회선, 3회선 및 4회선 선로에 대해서 Biot-Savart 법칙에 의해 자계를 해석하였다. 이 때 자계가 각 회선별로 도체간격과 매설깊이에 따라 어떤 영향을 받는지를 평가하고, 각각의 상 배치별로 자계를 계산하여 회선별로 가장 작은 자계를 발생하는 구성방식을 제안하였다. 이를 통해 얻은 연구결과는 다음과 같다.

(1) 도체간격에 따라 자계가 변화한다. 즉, 도체간격이 작아지면 자계는 작아지며, 간격이 커지면 자계는 커지는 것을 알 수 있다. 이는 도체간격이 작아지면 자기장 벡터가 상쇄 하므로 자계 값이 작아지는 것으로 나타났다.

(2) 매설깊이가 자계에 영향을 준다. 즉, 자계는 거리의 제곱에 반비례하므로 매설깊이가 깊어지면 자계가 작아지는 것으로 나타났다.

(3) 선로의 상배치에 따른 자계를 해석함으로써, 상배치에 의해 자계 값이 변하는 것을 알 수 있었다. 4회선 Case 3, 4의 경우 각 배치별로 자계 값은 최대 68mG까지 발생하나 적절한 상배치를 통하여 최소 4mG까지 저감할 수 있었다. 이와 같이 각각의 회선에서 적정 배치를 제시하여 자계를 저감할 수 있는 방안을 제안하였다.

본 논문은 Biot-Savart 법칙을 이용하여 전력케이블 구성조건인 매설깊이, 도체간격에 따른 자계를 분석하고, 상배치에 따른 자계를 해석하여 회선별로 구성조건이 자계에 주는 경향을 알아보고, 적절한 상배치 방식을 제안하는 것이다. 여기서는 정확한 자계 크기 보다는 상배치 구성조건에 따른 자계해석과 이의 비교를 통한 적정 상배치 구성방안을 제안하는 것이 목적이며, 더욱 정확한 자계의 해석을 목적으로 하기 위해서는 실제 지중선로의 여러 요소를 고려하여 3차원 해석을 하여야 할 필요가 있을 것으로 사료된다.

References

[1] Tonci Modric, Slavko Vujevic and Dino Lovric, "3D Computation of the Power Lines Magnetic Field", Progress In Electromagnetics Research, Vol. 41, pp. 1-9, 2015.

[2] WHO, Electromagnetic fields and public health Exposure to extremely low frequency fields, Fact sheet No. 322, June 2007.

[3] Tom Zaho, "EMF Management for Underground Transmission Systems", EPRI, 2009.

[4] PTI, "Transmission Cable Magnetic Field Management", EPRI, 1993.

[5] A.S. Farag, et al., "Implementation of shielding principles for magnetic field management of power cables", Electric Power Systems Research, Vol. 48, Issue 3, pp. 193-209, Jan. 1999.

[6] I.O. Habiballah, et al., "Underground cable magnetic

field simulation and management using new design configurations", Electric Power Systems Research, Vol. 45, Issue 2, pp. 141 - 148, May 1998.

[7] National Grid, "EMF Information", UK, 2010.

[8] Bascom E-C, W. Banker and S. A. Boggs, "Magnetic field management considerations for underground cable duct banks", IEEE Transmission & Distribution Conference, pp. 414-420, 2006.

[9] I. N. Ztoupis, I. F. Gonos and I. A. Stathopoulos, "Calculation of Power Frequency Fields from High Voltage Overhead Lines in Residential Areas", Proceedings of the 18th ISH 2013, paper A-01, Aug. 2013.

[10] Sung-II Yang, "The World of Electromagnetic Fields", Life & Power Press, 2006.

[11] S. B. Cho and E. W. Lee, "Analysis and Comparison of Measured and Calculated Value on Magnetic Fields Strength under Transmission Lines", Trans. KIEE. Vol. 48A, No. 7, pp. 832-838, July 1999.

[12] DS-6100, "Underground Power Civil Facility", July 2009.

[13] IEC 62110, "Electric and magnetic field levels generated by AC power systems-measurement procedures with regard to public exposure", Aug. 2009.

저 자 소 개



이 재 명 (Jae-Myeong Lee)

1989년 10월 9일생. 2015년 원광대 공대 전기공학과 졸업. 2015년~현재 원광대 대학원 전기공학과 석사과정  
Tel : (063)850-6735  
E-mail : ljm891009@naver.com



이 종 범 (Jong-Beom Lee)

1981년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 원광대 공대 전기공학과 교수  
Tel : (063)850-6735  
E-mail : ipower@wku.ac.kr