

# 가공 송전선 형상변화에 따른 지표면 자계저감을 계산

## Calculations on the Reduction Rate of Ground Level Magnetic Fields due to Varying Configurations of Overhead Transmission Line

閔錫源\* · 金應植<sup>†</sup> · 朴峻炯\*\*

(Suk-Won Min · Eung-Sik Kim · Jun-Hyeong Park)

**Abstract** There are concerns on possible health effects from exposure to electromagnetic fields. One reflection of this concerns is the considerable controversy, delay, and cost increases involved in the construction of power lines and facilities. To cope with such challenges, in this paper we investigated magnetic fields reduction techniques such as general compaction, in-span compaction, cruciform, vertical, 3way splits phase, and 4way splits phase. As results, we found general compaction and 4 way splits phase could reduce magnetic fields up to 90%, while cruciform, vertical, and 3way splits phase gave lower reduction rates of 30% because these configurations were similar to a current type of low reactance arrangement. We also knew 1 spacer in span compaction was appropriate in Korea in view of effectiveness and economy.

**Key Words** : Magnetic Field Reduction, Overhead Transmission Line, In-span Compaction

### 1. 서 론

전자계가 인체의 건강에 영향을 미칠지 모른다는 의견은 최초로 제시한 것은 1972년 소련이 CIGRE에 제출한 논문으로, 변전소 운선원에게서 피로감과 두통이 보인다고 말한 것이었다. 그 후 1979년에 미국의 월트하이머가 자계와 소아암에 관한 역학연구 결과로써 배전선 근방에 사는 어린이의 백혈병의 발생률이 높다고 발표한 것과[1] 1991년에 스웨덴의 칼로린스카 연구소의 피팅·알본이 자계와 소아백혈병의 관련성을 시사함으로써 본격적으로 논의되었다[2]. 이후 세계 각국의 여러 기관에서 이와 관련한 연구가 추진되게 되었고, 비단 전문가뿐만 아니라 텔레비전, 신문 등의 매스컴에서도 관심을 모으게 되었으며 WHO(세계보건기구)와 같은 주요 국제기관 등에서 종합적인 조사·평가가 행해지고 가이드라인 등도 발표되었다[3-10]. 가장 최근에는 발표된 WHO의 Fact Sheet No 322에서도[11] 전자계가 건강에 미치는 영향을 인정하는 것은 아니지만 전자계와 건강과의 관련성에 관하여 완전히 명백해졌다고도 할 수 없기 때문에 과학적인 데이터의 축적이 불가결하고, 이후에도 계속적인 연구를 추진할 필요성을 역설하고 있다.

현재 우리나라의 154kV, 345kV 및 765kV 2회선 송전선의 60Hz 자계는 국제 비전리 방사선 보호위원회(ICNIRP; International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)의 기준치인 83.3 $\mu$ T보다 낮은 수준이지만 많은

국민들의 송전선로 전자계에 관한 막연한 불안과 송변전설비 건설에 관한 민원으로 인해 발생자계를 낮출 수 있는 방법을 검토할 필요가 있다고 생각된다.

이와 관련하여 본 논문에서는 Biot-Savart's law에 기반을 둔 적분식을 대수식으로 변환한 해석식으로 이도를 고려하지 않은 2차원 자계 계산법과 이도를 고려한 3차원 자계 계산법을 개발하여 기존 154kV, 345kV 및 765kV 선로의 자계분포를 선로 진행방향과 이에 수직인 방향으로 나누어 검토하였다. 다음으로 송전선로의 자계를 줄이기 위해 우리나라의 수직 2회선에 적용할 수 있는 일반컴팩션, In-span 컴팩션과 상분리 기법으로 수직형, 십자형, 3way splits 와 4way splits 방법을 적용하여 각 기법의 특징을 검토하였다.

### 2. 송전선 주변 자계계산 기법

자기장을 계산하는 방법은 여러 가지가 있으나, 그 중에서도 대표적인 방법이 유한요소법(Finite Element Method)이다. 무한 경계면에 대한 문제에서도, 유한요소법을 적용하는 것은 가능하다. 그러나 유한 요소법은 많은 영역 분할로 인한 변수개수 증가와 가상 경계면의 가정 등으로 복잡하기 때문에 전력선에 의한 자기장을 구하는 본 연구에서는 Biot-Savart's law에 기반을 둔 적분식을 대수식으로 변환한 해석식(Analytic Equation)을 사용하였다.

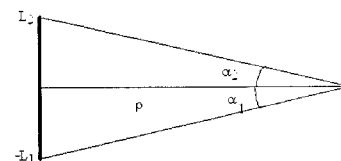


그림 1 유한 도선전류와 자계 계산점 간의 관계  
Fig. 1 Relation between a finite current element and a magnetic field calculation point

\* 교신저자 : 湖西大學 안전보건학과 敎授 · E-博

E-mail : eskim@office.hoseo.ac.kr

\* 正 會 員 : 順天鄕大學 전기통신공학과 敎授 · E-博

\*\* 正 會 員 : 順天鄕大學 전기통신공학과 碩士課程

接受日字 : 2008年 7月 26日

最終完了 : 2008年 9月 23日

그림 1과 같은 유한 도선에 흐르는 전류에 의해 임의의 위치에 발생하는 자계를 비오사바르의 적분식을 원통좌표계(Cylindrical Coordinate)에 적용하여 구하면 다음의 1)식과 같이 된다.

$$\begin{aligned}
 H &= \frac{I\rho\hat{\phi}}{4\pi} \int_{-L_1}^{L_2} \frac{dz'}{(\rho^2+z'^2)^{3/2}} \\
 &= \frac{I\rho\hat{\phi}}{4\pi} \left[ \frac{z'}{\rho^2(\rho^2+z'^2)^{1/2}} \right]_{-L_1}^{L_2} \\
 &= \frac{I}{4\pi\rho} \left[ \frac{L_2}{(\rho^2+L_2^2)^{1/2}} + \frac{L_1}{(\rho^2+L_1^2)^{1/2}} \right] \hat{\phi} \\
 &= \frac{I}{4\pi\rho} (\sin\alpha_2 + \sin\alpha_1) \hat{\phi} \tag{1}
 \end{aligned}$$

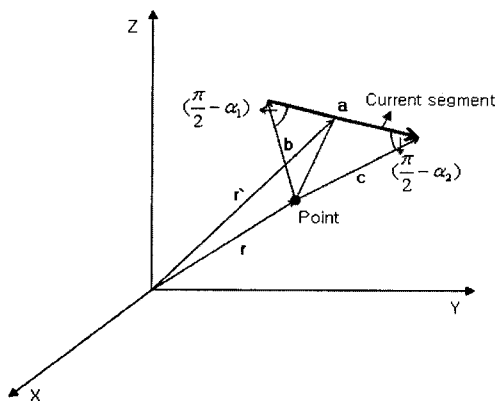


그림 2 유한 도선전류와 자계계산점 간의 위치벡터 설명도  
Fig. 2 Description of position vectors between a finite current element and a magnetic field calculation point

1)식을 이용하여 그림 2와 같은 임의의 방향으로 놓인 유한 도선에 흐르는 전류에 의한 자계의  $\rho$ ,  $\sin\alpha_1$ ,  $\sin\alpha_2$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \sin\alpha_1 &= -\frac{a \cdot b}{|a||b|}, \quad \sin\alpha_2 = \frac{a \cdot c}{|a||c|} \\
 \rho &= |d| \frac{|c \times a|}{|c||a|}, \quad \hat{\phi} = \frac{c \times a}{|c \times a|} \tag{2}
 \end{aligned}$$

- 여기서  $r$ : 계산점의 위치 벡터
- $r'$ : 계산점과 수직으로 교차하는 점의 위치 벡터
- $a$ : 유한도선의 방향 벡터
- $b$ : 계산점에서 유한도선의 시작점까지의 벡터
- $c$ : 계산점에서 유한도선의 끝점까지의 벡터

최종적으로 1)식과 2)식을 이용하면, 임의의 방향으로 놓인 유한 도선에 의한 자계는 아래 3)식과 같이 표현할 수 있다.

$$H = \frac{I}{4\pi} \frac{c \times a}{|c \times a|^2} \left( -\frac{a \cdot c}{|c|} - \frac{a \cdot b}{|b|} \right) \text{ [A/m]} \tag{3}$$

한편 도선의 무게와 장력에 의해 발생하는 도선의 이도로 인해 도선은 거의 쌍곡선(Hyperbolic Function)의 형태를 나타낸다. 이런 이도를 고려하지 않은 경우는 송전선을 무한

선전류로 가정하여 1)식의  $\alpha_1, \alpha_2$ 를 90도로 간주한 것이다. 따라서 2차원 해석은 각상이 지표면으로부터 최저점에 있는 것으로 가정하여 선로진행방향과 수직한 단면의 자계분포만 계산 가능하다. 이와 달리 3차원 해석은 도선의 쌍곡선 형태를 유한직선의 조합으로 구현하였으며, 각각의 도선의 Segment의 전류에 의한 자계의 합으로 전체자계를 구하기 때문에 선로의 각 위치의 지상고 변화상황이 자계해석에 고려될 수 있다. 그림 3은 자계를 구하는 계산 알고리즘을 나타낸 것이다.

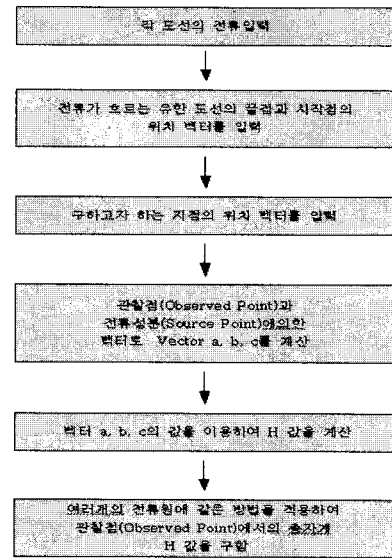


그림 3 3차원 자계 계산 알고리즘  
Fig. 3 A calculation algorithm of 3 dimensional magnetic fields

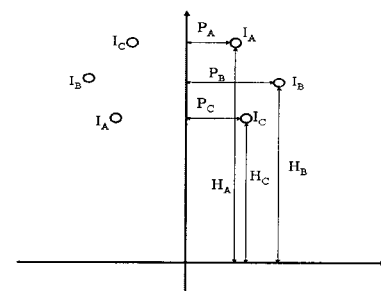


그림 4 수직 2회선 기준선로형상  
Fig. 4 A typical configuration of the transmission line with vertical double circuit

표 1 수직2회선 기준선로형상제원  
Table 1 Dimension of the typical transmission line with vertical double circuit

단위 : (m)

	154kV	345kV	765kV
PA	3.7	8.5	13.25
PB	4.8	9.6	13.75
PC	4.1	8.9	14.25
HA	19.5	36.0	63.50
HB	15.5	29.0	45.50
Hc	11.5	21.0	28.00
이도	8.0	10.0	12.0
경간	400	400	400

### 3. 자계 저감기법 검토

#### 3.1 기존선로의 자계계산

수직 2회선 기존선로형상과 제원은 그림 4와 표 1과 같으며 각 상에 1000[A]의 정현파 실효전류가 흐를 때 선로주변의 자계분포에 대한 154kV 송전선로의 2차원 및 3차원 해석결과는 그림 5, 6과 같다. 그림 5와 같이 2차원 해석결과는 선로 진행방향과 수직한 지점의 자계분포 특성만을 보여주고 있으나 그림 6의 3차원 해석결과는 선로 진행방향과 수직방향의 양 쪽 지점의 자계분포 특성을 보이며 선로 최저점으로부터 수직한 지점의 자계분포 특성은 그림 5의 2차원 결과와 같음을 알 수 있다.

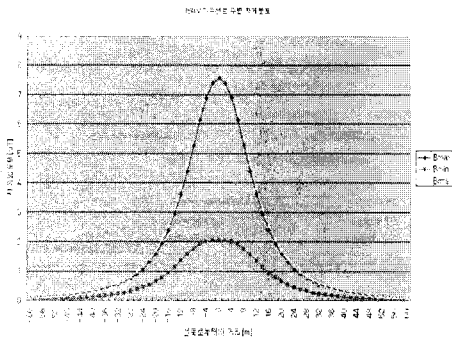


그림 5 154kV 기존선로형상 주변자계분포 2차원해석결과  
 Fig. 5 A typical magnetic fields distribution of the 154kV transmission line with vertical double circuit by using 2 dimensional analysis

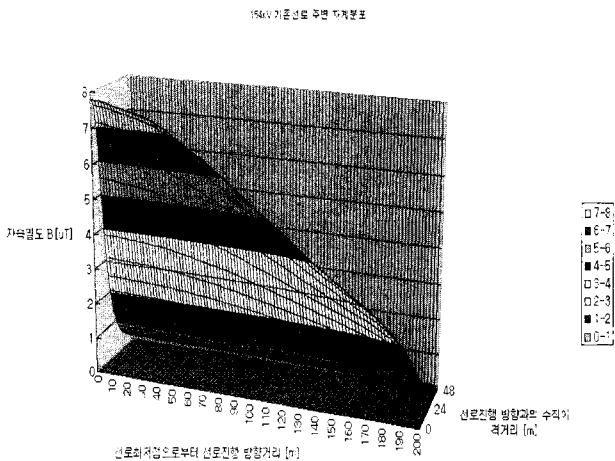


그림 6 154kV 기존선로형상 주변자계분포 3차원 해석결과  
 Fig. 6 A typical magnetic fields distribution of the 154kV transmission line with vertical double circuit by using 3 dimensional analysis

#### 3.2 컴팩션 기법

컴팩션 기법은 송전선의 상간거리를 가능한 줄여서 정상분 자계를 최소로 하고자 하는 방법으로 각상의 발생자계가 크기는 같고 위상만 120도 차이가 나는 대칭자계를 발생하여 3상에서 발생하는 자계의 합이 최소가 되도록 하는 기법이다.

#### 3.2.1 일반컴팩션 형상의 자계저감을 계산결과

일반 컴팩션은 최대로 자계저감 효과를 얻을 수 있도록 지지물과 경간의 모든 곳에서 상도체 간 거리와 상도체와 가공지선 간의 거리를 공기로 절연이 가능하고 활선작업이 가능한 범위로 최대한 축소시킨 것이다. 따라서 일반 컴팩션의 형상은 기존선로와 같은 형상이나 표 2와 같이 상간이격거리가 기존형상의 1/2 이하임을 알 수 있다.

표 2 수직 2회선 일반 컴팩션형 형상 제원  
 Table 2 Typical dimensions for a general compaction of the transmission line with vertical double circuit

단위:(m)

	154kV	345kV	765kV
PA	1.22	2.14	3.87
PR	1.38	2.78	4.02
PC	1.281	2.37	4.16
HA	14.06	27.52	40.14
HR	12.78	24.26	34.07
HC	11.5	21.0	28.00
이도	8.0	10.0	12.0
경간	400	400	400

또한 새로운 송전선로 형상들의 자계가 기존선로보다 얼마만큼 자계를 감소시키는지 평가하기 위한 자계저감율은 아래의 4)식과 같이 정의하였다.

$$\text{자계저감율} = \left(1 - \frac{B_i}{B_o}\right) \times 100[\%] \quad (4)$$

여기서,  $B_i$ 는 자계저감 기법을 적용한 선로 자속밀도치,  $B_o$ 는 자계저감 기법을 적용하지 않은 기존선로 자속밀도치이다.

그림 7과 8은 일반컴팩션 154kV 선로의 2차원 해석결과와 3차원 해석결과로 모두 선로최저점이나 지지물 주변의 자계저감율이 80[%]에서 89[%]범위에 있고 선로 진행 방향과 수직한 방향으로 거리가 증가함에 따라 증가하였다. 선로 진행방향으로의 거리증가에 따른 저감을 분포형태도 선로 최저점에서와 거의 유사함을 보였다. 일반컴팩션 345kV 선로와 765kV 선로의 자계저감을 분포도저감율이 74[%]에서 86[%] 범위로 감소한 것 외에는 154kV와 유사한 형태를 보였다.

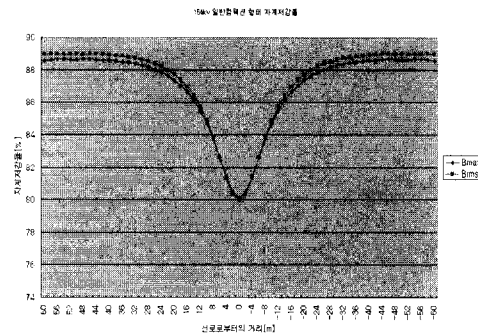


그림 7 154kV 수직 2회선 일반 컴팩션형 주변 자계저감을 2차원 해석결과

Fig. 7 A magnetic fields reduction rate for a general compaction of 154kV transmission line with vertical double circuit by using 2 dimensional analysis

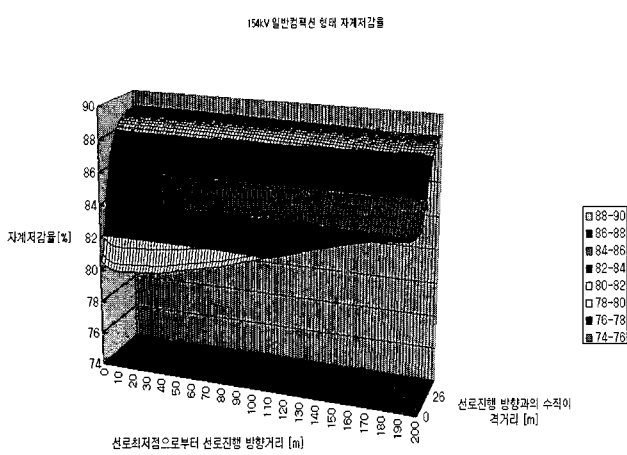


그림 8 154kV 수직 2회선 일반컴팩션형 주변 자기저감율 3차원 해석 결과

Fig. 8 A magnetic fields reduction rate for a general compaction of 154kV transmission line with vertical double circuit by using 3 dimensional analysis

3.2.2 In-span 컴팩션 형상의 자기저감율 계산결과

In-span 컴팩션은 그림 9와 같이 지지물에서는 기존 선로구조를 변경하지 않고 경간 중간에서만 도체간의 간격을 줄이는 방법으로 지지물에서의 애자와 금구류의 유지, 보수에 필요한 공기절연거리가 영향을 받지 않고 기존선로에 In-span 스페이스 만의 설치로 간단히 컴팩션할 수 있는 장점이 있으며 검토한 형상제원은 표 3과 같다. 그림 10, 11은 765kV 선로 자기저감율의 2차원과 3차원 해석결과로 서로 다른 점을 보이고 있다. 그 이유는 In-span 컴팩션은 선로형상이 이도로 인해 선로진행 방향으로 3차원적으로 변화하고 있으나 2차원 해석은 그것을 반영하고 있지 못하기 때문이며 이로서 3차원 해석만이 유효함을 알 수 있다.

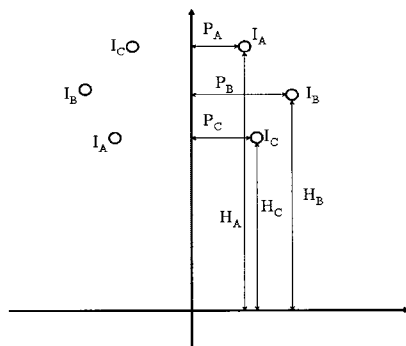


그림 9 수직 2회선 In-span 컴팩션형 형상  
Fig. 9 A typical configuration for a in-span compaction of transmission line with the vertical double circuit

154kV 3차원 자기저감율은 선로최저점에서 선로진행과 수직인 방향으로 증가함에 따라 80[%]에서 85[%]로 증가하다가 다시 82[%]로 감소하여 일반 컴팩션에 비해 다소 낮은 특성을 보였다. 이에 반해 선로진행 방향으로서는 거리를 증

가함에 따라 저감율이 크게 감소하여 일정한 패턴을 보였던 일반 컴팩션과는 다른 특성을 보였다. 345kV In-span 컴팩션 형상의 자기저감율의 2차원과 3차원 해석결과도 저감율이 75[%]에서 80[%] 사이에 분포하고 있는 것만이 다른 뿐 나머지는 154kV와 같았다. 그림 10, 11은 765kV In-span 컴팩션 형상의 자기저감율의 2차원과 3차원 해석 결과로 345kV 보다는 약간 낮지만 저감율이 73[%]에서 79[%] 사이에 분포하고 있었다.

표 3 수직 2회선 In-span 컴팩션형 형상 제원  
Table 3 Typical dimensions for a in-span compaction of the transmission line with vertical double circuit  
단위 : (m)

위 치		154kV	345kV	765kV
선로 최저점	P <sub>A</sub>	1.22	2.14	3.87
	P <sub>B</sub>	1.38	2.78	4.02
	P <sub>C</sub>	1.28	2.37	4.16
지지물	P <sub>A</sub>	3.7	8.5	13.25
	P <sub>B</sub>	4.8	9.6	13.75
	P <sub>C</sub>	4.1	8.9	14.25
	이도	8.0	10.0	12.0
	경간	400	400	400

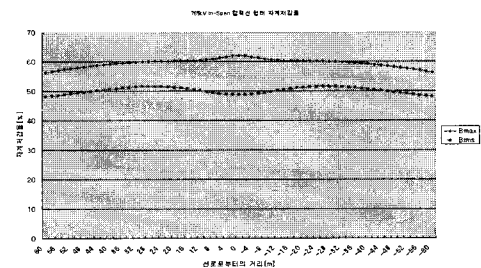


그림 10 765kV 수직 2회선 In-span 컴팩션형 주변 자기저감율 2차원 해석결과  
Fig. 10 A magnetic fields reduction rate for a in-span compaction of 765kV transmission line with vertical double circuit by using 2 dimensional analysis

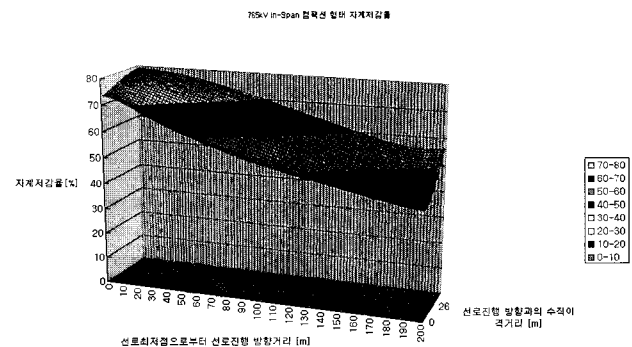


그림 11 765kV 수직 2회선 In-span 컴팩션형 주변 자기저감율 3차원 해석 결과  
Fig. 11 A magnetic fields reduction rate for a in-span compaction of 765kV transmission line with vertical double circuit by using 3 dimensional analysis

### 3.3 상분리 기법

각 상 도체를 두 개 이상의 여러 도체로 나누어 전류를 흘려보내는 것으로 도체 위치를 적절하게 정하여 자계를 저감시키는 방법이다. 상도체를 배치하는 방법에 따라 Circular, Horizontal, Vertical, Cruciform, Multiple Split으로 나눌 수 있다. A, B, C 상 도체의 기하학적 중심이 같은 위치가 되게 함으로서 송전선으로부터 먼 거리에서는 각 상 발생자계의 벡터가 대칭이 되어 합이 가능하면 0이 되게 하고자 하는 방법이다.

본 논문에서는 우리나라와 같은 수직 2회선 구조에 적용이 가능한 Cruciform, Vertical과 3way splits와 4way splits의 Multiple splits를 검토하였다.

#### 3.3.1 십자형(Cruciform) 형상의 자계저감율 계산결과

십자형 형상법은 그림 12와 같이 A 상과 C 상은 2개 도체로 나누어 십자형을 만들고 그 중심에 B상의 전류를 흘려보내는 방법으로 검토한 형상 제원은 표 4와 같다.

154kV 수직 2회선 십자형 형상의 자계 저감율의 2차원과 3차원 해석결과는 그림 13, 14와 같이 선로 최저점에서는 서로 유사하지만 지지물에 가까워지면 약간의 차이를 보이고 있다. 또한 3차원 자계 저감율은 우리나라의 기존선로가 이미 역상배열의 십자형과 유사하여 거의 모든 영역에서 8[%] 이하로 자계저감효과를 거의 보이지 못하였다. 345kV 십자형 형상의 자계저감율도 거의 모든 영역에서 7[%] 이하로 154kV와 같은 특성을 보였으며 765kV도 154kV, 345kV 보다 낮은 저감율인 5[%] 이하를 보여 거의 저감효과를 주지 못함을 알 수 있었다.

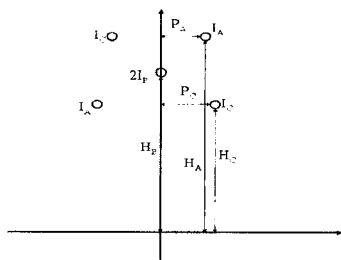


그림 12 수직 2회선 십자형(Cruciform) 형상  
Fig. 12 A typical configuration for a cruciform of the transmission line with vertical double circuit

표 4 수직 2회선 십자형(Cruciform) 형상 제원  
Table 4 Typical dimensions for a cruciform of the transmission line with vertical double circuit

	154kV	345kV	765kV
$P_A$	3.7	8.5	13.25
$P_C$	4.1	8.9	14.25
$H_A$	19.5	36.0	63.50
$H_B$	15.5	29.0	45.50
$H_C$	11.5	21.0	28.00
이도	8.0	10.0	12.0
경간	400	400	400

단위 : (m)

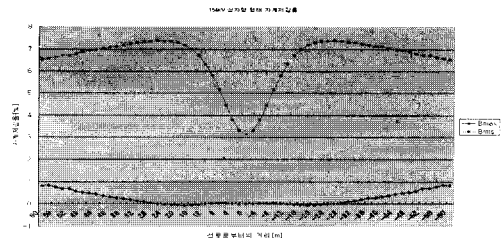


그림 13 154kV 수직 2회선 십자형 형상 주변 자계저감율 2차원 해석결과

Fig. 13 A magnetic fields reduction rate for a cruciform of 154kV transmission line with vertical double circuit by using 2 dimensional analysis

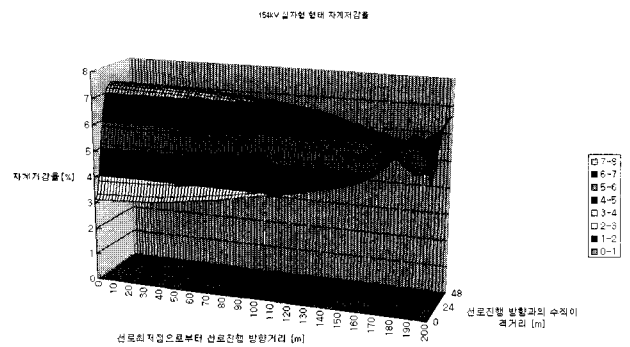


그림 14 154kV 수직 2회선 십자형 형상 주변 자계저감율 3차원 해석결과

Fig. 14 A magnetic fields reduction rate for a cruciform of 154kV transmission line with vertical double circuit by using 3 dimensional analysis

#### 3.3.2 수직형(Vertical) 형상의 자계저감율 계산결과

수직형 선로형상은 그림 15와 같이 십자형과 유사한 방법으로 단지 A상과 C상을 지면과 수직한 선상에 배치한 것으로 검토한 형상 제원은 표 5와 같다.

그림 16, 17은 345kV 수직형 2회선 형상의 자계저감율의 2차원과 3차원 해석결과로 저감율이 30[%]에서 45[%] 사이로 낮은 저감특성을 보였다. 또한 154kV와 765kV 수직형 형상의 자계 저감율도 25[%]에서 40[%] 사이로 낮아서 거의 저감효과를 주지 못함을 알 수 있었다.

표 5 수직형(Vertical) 2 회선 형상 제원  
Table 5 Typical dimensions for a vertical form of the double circuit transmission line

	154kV	345kV	765kV
$H_A'$	27.5	51.0	99.00
$H_C'$	23.5	43.0	81.50
$H_A$	11.5	21.0	28.00
$H_B$	19.5	36.0	63.50
$H_C$	15.5	29.0	45.50
이도	8.0	10.0	12.0
경간	400	400	400

단위 : (m)

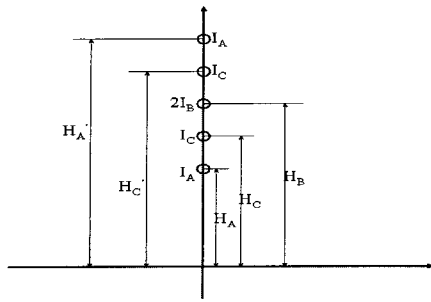


그림 15 수직형(VERTICAL) 2 회선 형상  
Fig. 15 A typical configuration for a vertical form of the double circuit transmission line

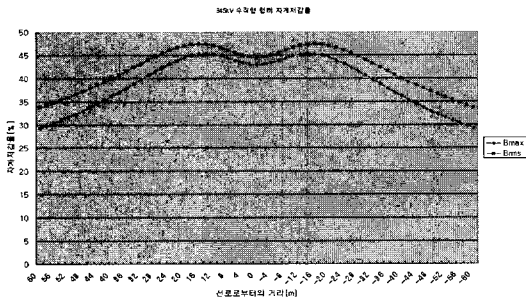


그림 16 345kV 수직형 2회선 형상 주변 자계저감률 2차원 해석결과  
Fig. 16 A magnetic fields reduction rate for a vertical form of 345kV double circuit transmission line by using 2 dimensional analysis

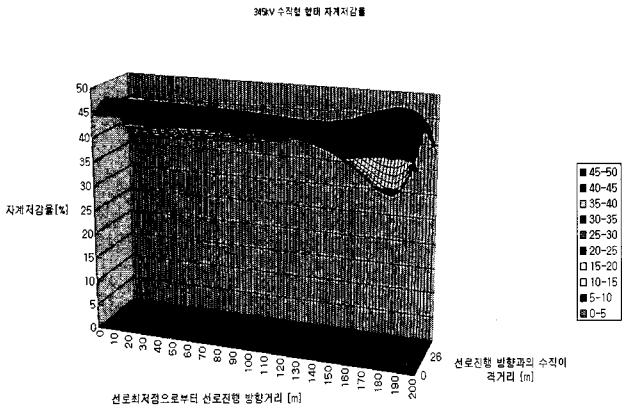


그림 17 345kV 수직형 2회선 형상 주변 자계저감률 3차원 해석결과  
Fig. 17 A magnetic fields reduction rate for a vertical form of 345kV double circuit transmission line by using 3 dimensional analysis

3.3.3 3way splits 형상의 자계저감률 계산결과

수직 2회선 3 way splits 선로형상은 그림 18과 같이 선로 중심에는 다른 상 도체의 3배의 전류가 흐르는 B상을 배치하고 A상과 C상은 B상을 중심으로 각 상의 도체를 세 개

로 나누어 배치하여 A상과 C상의 각 도체가 만드는 삼각형의 기학적 중심에 B상이 있도록 배치한 방식으로 검토한 형상제원은 표 6과 같다.

그림 19와 20은 765kV 수직 2회선 3 way splits형 형상의 자계 저감률의 2차원과 3차원 해석결과로 각 상에서 발생하는 자계가 효율적으로 상쇄되지 못해 저감률이 33[%]와 40[%] 사이로 낮아서 저감효과를 주지 못함을 알 수 있다. 154kV 와 345kV 수직 2회선 3 way splits형 형상의 자계 저감률도 2차원과 3차원 해석결과로 서로 유사했으며 저감효과가 30[%]대로 낮았다.

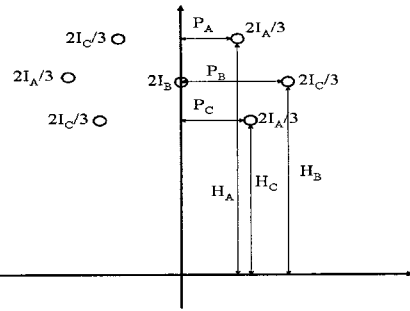


그림 18 수직 2회선 3way splits 형상  
Fig. 18 A typical configuration for a 3way splits of the transmission line with vertical double circuit

표 6 수직 2회선 3way splits 형상 제원  
Table 6 Typical dimensions for a 3way splits of the transmission line with vertical double circuit

단위 : (m)

	154kV	345kV	765kV
P <sub>A</sub>	3.7	8.5	13.25
P <sub>B</sub>	4.8	9.6	13.75
P <sub>C</sub>	4.1	8.9	14.25
H <sub>A</sub>	19.5	36.0	63.50
H <sub>B</sub>	15.5	29.0	45.50
H <sub>C</sub>	11.5	21.0	28.00
이도	8.0	10.0	12.0
경간	400	400	400

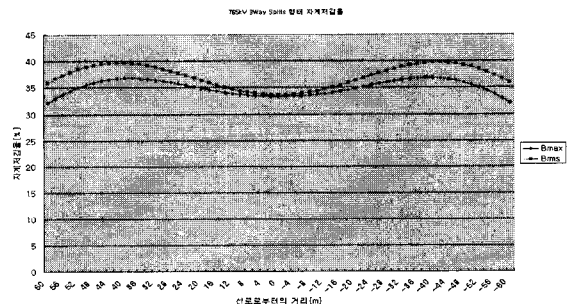


그림 19 765kV 수직 2회선 3way splits 형상 주변 자계저감률 2차원 해석 결과  
Fig. 19 A magnetic fields reduction rate for a 3way splits of 765kV transmission line with vertical double circuit by using 2 dimensional analysis

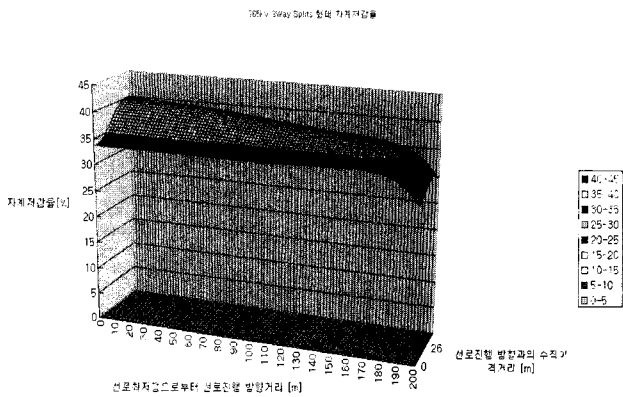


그림 20 765kV 수직 2회선 3way splits 형상 주변 자기저감률 3차원 해석결과  
 Fig. 20 A magnetic fields reduction rate for a 3way splits of 765kV transmission line with vertical double circuit by using 3 dimensional analysis

3.3.4 4way splits 형상의 자기저감률 계산결과

수직 2회선 4way splits 선로형상은 그림 21과 같이 선로 중심에는 다른 상 도체의 4배의 전류가 흐르는 B상을 배치하고 A상과 C상은 B상을 중심으로 각 상의 도체를 네 개로 나누어 배치하여 A상과 C상의 각 도체가 만드는 사각형의 기하적 중심에 B상이 있도록 배치한 방식으로 검토한 형상 세원은 표 7과 같다.

그림 22, 23은 765kV 4way splits형 형상의 자기저감률의 2차원과 3차원 해석결과로 저감률이 345kV 선로와 유사한 85[%]에서 88[%] 사이로 다른 기법보다는 매우 높은 저감 특성을 보였다.

154kV 4 way splits형 형상의 자기저감률은 2차원과 3차원 해석결과가 선로 최저점에서 유사했으나 지지물 근처에서는 많은 차이를 보였다. 자기 저감률은 거의 모든 영역에서 92[%]에서 94[%] 사이로 매우 높았으며 일부 영역에서는 96[%] 이상 이었다. 345kV 4 way splits형 형상의 자기 저감률은 2차원과 3차원 해석결과가 저감률이 88[%]에서 90[%] 사이로 154kV 선로보다는 낮았지만 다른 기법보다는 매우 높은 저감특성을 보였다.

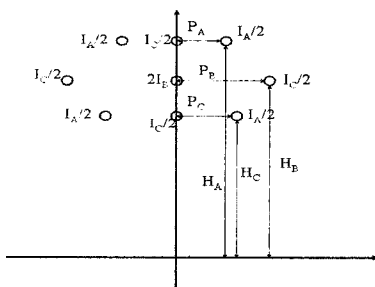


그림 21 수직 2회선 4way splits 형상  
 Fig. 21 A typical configuration for a 4way splits of the transmission line with vertical double circuit

표 7 수직 2회선 4way splits 형상세원

Table 7 Typical dimensions for a 4way splits of the transmission line with vertical double circuit

단위 : [m]

	154kV	345kV	765kV
P <sub>A</sub>	3.7	8.5	13.25
P <sub>B</sub>	4.8	9.6	13.75
P <sub>C</sub>	4.1	8.9	14.25
H <sub>A</sub>	19.5	36.0	63.50
H <sub>B</sub>	15.5	29.0	45.50
H <sub>C</sub>	11.5	21.0	28.00
이도	8.0	10.0	12.0
경간	400	400	400

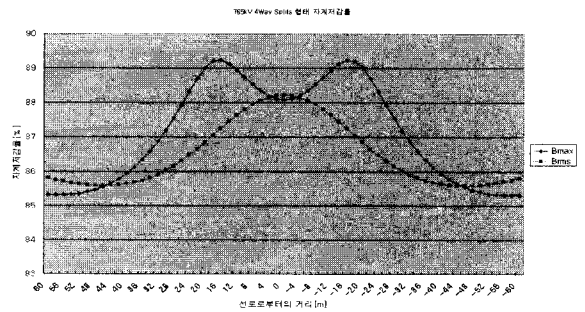


그림 22 765kV 수직 2회선 4way splits형상 주변 자기저감률 2차원 해석 결과  
 Fig. 22 A magnetic fields reduction rate for a 4way splits of 765kV transmission line with vertical double circuit by using 2 dimensional analysis

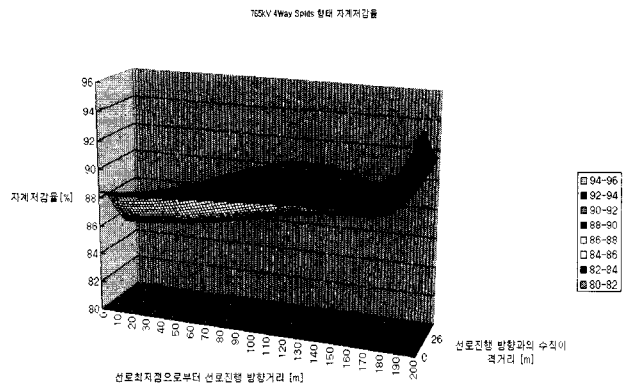


그림 23 765kV 수직 2회선 4way splits형상 주변 자기저감률 3차원 해석 결과  
 Fig. 23 A magnetic fields reduction rate for a 4way splits of 765kV transmission line with vertical double circuit by using 3 dimensional analysis

4. 결 론

본 논문에서는 Biot-Savart's law에 기반을 둔 적분식을 대수식으로 변환한 해석식으로 이도를 고려하지 않은 2차원 자기 계산법과 이도를 고려한 3차원 자기 계산법을 개발하여 송전선로의 자계를 줄이기 위해 우리나라의 수직 2회선

에 적용할 수 있는 일반컴팩션, In-span 컴팩션과 상분리 기법으로 수직형, 십자형, 3way splits 와 4way splits 방법을 적용하여 각 기법의 특징을 검토하였다.

검토결과로, 4way splits 방법이 154[kV]에서는 92[%]~94[%], 345[kV]에서는 88[%]~90[%], 765[kV]에서는 85[%]~88[%] 정도의 자계 저감율을 보여 가장 높은 저감효율을 보였다. 다음으로는 345[kV]와 765[kV]에서 일반 컴팩션이 74[%]~86[%], 1 spacer In-span 컴팩션이 75[%]~80[%]의 높은 저감율을 보였다. 이에 반해, 우리나라의 수직 2회선 역상배열의 기존선로와 유사한 형태를 갖고 있는 수직형, 3way splits, 십자형은 낮은 저감율을 보여 수직형은 25[%]~40[%], 3way splits은 전압에 따라 특성이 크게 변화하면서 -35[%]에서 40[%] 사이, 십자형은 수[%] 정도로 우리나라에 적용하기는 어려울 것으로 생각되었다. 이상의 결과를 토대로, 적용효과와 경제성 및 적용의 편의성을 고려할 때, 1 spacer In-span 컴팩션이 우리나라에 적합함을 알 수 있었다.

**참 고 문 헌**

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

[2] M. Feychting and A. Ahlbom, "Magnetic fields and cancer in people residing near Swedish high-voltage power lines," Am. J. Epidemiol., Vol. 138, pp. 467-481, 1991.

[3] 민석원, "유전율 및 도전율을 고려한 765kV 송전선하의 인체 유도 전계해석", 대한전기학회 논문지, 49권, 6호, pp. 341-345, 2000.

[4] 민석원, 송기현, 양광호, 주문노, "유전율 및 도전율을 고려한 765kV 송전선하의 전계에 의한 인체내부 유도 전류밀도 해석", 대한전기학회 논문지, 54A권, 8호, pp. 461-465, 2004.

[5] 민석원, 송기현, "60Hz ELF 자계에 의한 인체내부 유도 전류밀도 해석", 대한전기학회 논문지, 55C권, 2호, pp. 76-81, 2006.

[6] DIN/VDE, "Safety at Electromagnetic Fields: Limits of Field Strengths for Protection of Persons in Frequency Range from 0 to 30kHz", DIN/VDE 0848-4/A3, 1995.

[7] NRPB, "Restrictions on Human Exposure to Static and Time Varying Electromagnetic Fields and Radiation", Documents of the NRPB 4, 5, pp1-69, 1993.

[8] ACGIH, "Documentation of the Threshold Limit Values for Physical Agents in the Work Environment", Cincinnati, Ohio, 1998.

[9] CENELEC, "Human Exposure to Electromagnetic Fields(0Hz to 10kHz)", CENELEC Std. ENV 50166-1, 1995.

[10] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300GHz)," Health Phys., vol. 74, pp. 494-522, April 1998.

[11] World Health Organization, "Exposure to Extremely Low Frequency Fields - Fact Sheet No 322," June 2007.

**저 자 소 개**



**민 석 원 (閔錫源)**

1958년 1월 3일생. 1981년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1984 ~ 1991년 한전기술연구원 계통연구실 근무. 1996년 ~ 1997년 일본 교토대학 방문교수. 2005년 ~ 2006년 미국 신시내티 대학 방문교수. 현재 순천향대학교 전기통신공학과교수. Tel : 041-530-1338, Fax : 041-530-1548 E-mail : swonmin@sch.ac.kr



**김 응 식 (金應植)**

1961년 12월 26일생. 1984년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1992 ~ 1995년 호서대학교 전임강사. 1994 ~ 1997년 호서대학교 조교수. 1998 ~ 2000년 호서대학교 부교수. 현재 호서대학교 안전보건학과 교수. Tel : 041-540-5722, Fax : 041-540-5728 E-mail : eskim@office.hoseo.ac.kr



**박 준 형 (朴峻炯)**

1984년 10월 2일생. 2007년 순천향대 공대 정보기술공학부 졸업. 현재 동 대학원 전기통신공학과 석사과정. Tel : 041-530-1338, Fax : 041-530-1548 E-mail : jun00jjang@nate.com