

접속함 비접지 지중송전계통에서 도체연가방식 채용의 효용성 평가 및 운용방안 수립

Effectiveness Evaluation and Operation Scheme on Cable Transposition in Underground Transmission Systems with Ungrounded Joint Box

김 준* · 이 종 범†
(June-Kim · Jong-Beom Lee)

Abstract - Length of most underground power cable in home is not so long. Therefore it is operated without transposition due to low unbalanced ratio. However, if cable length is long, line constant of each cable will be different. Different line constant can induce unbalanced voltage and current of sheath. Also it can induce several induced interference. This paper describes the effectiveness of transposition through sheath component analysis on transposition and untransposition of cable conductor. Especially sheath current and induced voltage are analyzed and compared in case of transposition and untransposition. EMTP is used for modeling and analysis.

Key Words : EMTP, Underground power cable, Transposition, Untransposition, Ungrounded

1. 서 론

현재 국내에서 운용되고 있는 지중송전계통은 일반적으로 선로가 길지 않아 이에 따른 선로정수의 불평형이 적기 때문에 시스템 연가하는 크로스 본드 접지를 시행하여 운용하고 있다. 그러나 국외에서는 지중송전케이블의 길이 증가 및 부하의 증가로 인하여 불평형 문제가 발생하여 이에 대한 대책으로 케이블 도체연가를 시행하고 있다[1][2].

국내 도심지역의 가공송전선로는 지역주민의 민원문제 및, 전기환경 장애와 같은 각종 문제로 인하여 많은 지역이 지중송전선로로 교체됨에 따라 장거리 지중송전선로가 늘어나고 있는 상황이며[3][4] 도심지역의 부하밀도의 상승으로 인하여 케이블의 부하 또한 급격히 증가하고 있다.

전력케이블에서 발생하는 시스템인 시스템유기전압과 시스템순환전류가 선로 구성과 환경 및 방식에 따라 크게 발생될 수 있어 선로 운전, 송전용량감소, 때로는 인체에 위험을 초래할 수 있어 이에 따른 저감 대안이 대두되고 있다. 이에 따라 지중송전계통에서는 도체연가방식의 채용이 검토되어야 할 것으로 평가되어 도체연가의 효용성을 검토한 연구들이 발표된바 있다[5].

시스템유기전압 및 순환전류 저감 방법으로는 크로스본드 결선 방식 적용과 함께 접속함 간의 길이를 같은 간격으로 유지하도록

시공하면 좋지만 기설선로 및 신설선로의 경우 위의 조건을 만족하도록 개선하는 것은 현장 여건이나, 지형적, 물리적 문제로 인하여 현실적으로는 불가능한 실정이다.

일반적으로 시스템성을 좌우하는 불평형요소는 각 접속함간의 길이, 케이블 간 이격거리, 케이블 배열(정삼각, 직각, 수평배열 등), 케이블 포설형태, 케이블의 상대적인 위치 변경 등이다 [3]-[8]. 만일 불평형성분이 증가하게 되면 도체와 시스템 간 상호 임피던스 및 시스템 상호임피던스 등의 불균형을 야기 시켜 시스템유기전압 및 시스템순환전류를 증가시키는 요인으로 작용하고 있다.

특히 접속함이 접지되어있는 경우보다 선로 포설 조건상 부득이하게 접속함을 대지와 접지시킬 수 없는 실제 현장에서 비접지 선로의 경우가 존재하는데 이 경우에는 시스템유기전압이 상대적으로 크게 발생하여 제한전압을 초과하는 문제점이 발생하고 있다.

따라서 본 논문에서는 많은 시스템성이 발생하는 접속함 비접지 선로를 대상으로 도체연가방식을 채용하여 안정적 운용방안을 수립하는데 그 목적이 있으며 평가기준으로 시스템성을 도체 비연가시와 연가시의 경우를 해석하여 상호 비교한 후 효용성을 평가함으로써 안정적 운용방안을 제안하고자 한다. 도체 연가 방식은 크게 두가지로 제안하였으며 효용성을 평가하기 위하여 이론적 모델을 제안하였고, 이어서 EMTP를 이용하여 연가 및 비연가 방식 모두를 해석하여 상호 비교하였다.

2. 도체연가 유무에 따른 임피던스의 이론적 분석

2.1 지중송전선로 구성

지중송전선로에서 도체 비연가 및 연가시, 도체와 도체-시스템

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

E-mail: ipower@wku.ac.kr

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

Received : October 14, 2014; Accepted : December 30, 2014

상호간 임피던스를 이론적으로 각각 계산하여 검토함으로써 임피던스 불평형의 발생을 분석하였다.

먼저, 그림 1은 본 논문에서 검토 대상인 지중송전선로의 도체연가 구성으로서 크로스 본드 접지방식이 적용된 지중송전선로에 단일 연가 방식을 적용한 모습을 보여주고 있다. 도체연가방향은 ABC → BCA, 크로스 본딩에 의한 시스방향은 ABC → CBA로 구성하여 도체와 시스가 구간마다 서로 엇갈리게 구성하였다 [1-2], [9].

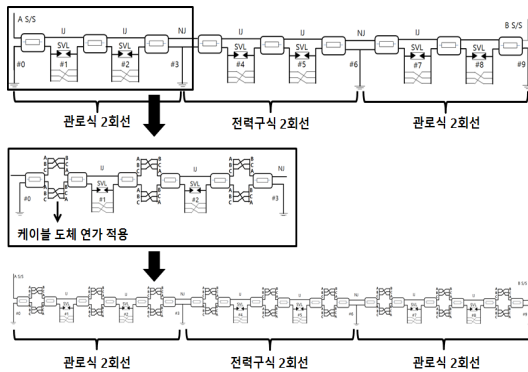


그림 1 지중선로 도체 연가 구성 개요

Fig. 1 Concept of cable conductor transposition

케이블 구간길이는 실제 선로와 유사하게 가정하였다. 케이블은 XLPE 2000mm²를 사용하였으며, 전 선로 길이는 3.6km, SVL 결선방식은 교락비접지 방식을 채택하였다. 부하전류는 1,468A, 대지 저항률은 100[Ω-m]로 선정하였다. 시스 성분 측정위치는 그림 1의 보통접속함(NJ) 및 절연접속함(U)의 #0 ~ #9 구간으로 하였다.

그림 2는 비접지 방식을 도식화한 그림으로 NJ 접속함의 시스를 대지와 접지하지 않았을 경우의 모델이다. 비접지 방식은 불가피하게 접지를 할 수 없는 지역이나 교량 가설 구간에서 사용되고 있다.

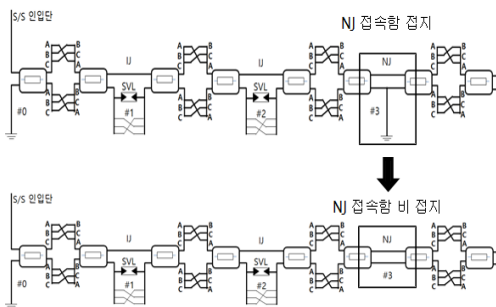


그림 2 비접지 방식 구성

Fig. 2 Ungrounded system

지중송전선로에서 접속함과 접속함의 사이를 소구간이라 정의할 때 표 1은 지중선로구간에서 각각의 소구간 길이를 나타낸

표 1 케이블 길이

Table 1 The length of the cable section

No.	구 간	길이[m]	포설방식
No. 1	J/B #0 ~ J/B #1	420	수평배열(1회선)
No. 2	J/B #1 ~ J/B #2	400	수평배열(1회선)
No. 3	J/B #2 ~ J/B #3	380	수평배열(1회선)
No. 4	J/B #3 ~ J/B #4	420	수평배열(1회선)
No. 5	J/B #4 ~ J/B #5	400	수평배열(1회선)
No. 6	J/B #5 ~ J/B #6	380	수평배열(1회선)
No. 7	J/B #6 ~ J/B #7	420	수평배열(1회선)
No. 8	J/B #7 ~ J/B #8	400	수평배열(1회선)
No. 9	J/B #8 ~ J/B #9	380	수평배열(1회선)

것으로 각각의 길이는 동일하지 않도록 모델링 하였다.

케이블 포설방식은 그림 3과 같이 세 개의 케이블이 수평으로 포설되는 수평배열이며, 표 2는 154kV XLPE 2000mm² 케이블의 규격을 나타낸 것이다.

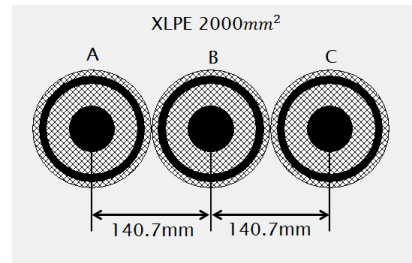


그림 3 수평배열

Fig. 3 one side arrangement

표 2 XLPE 케이블 규격

Table 2 XLPE Cable standard

항 목	내 용
케이블 종류	154kV XLPE 2000mm ²
케이블반경[mm]	70.35
도체 반경[mm]	27.45
전체 길이[km]	3.6

2.2 케이블 임피던스의 이론적 분석

2.2.1 비연가시 이론적 분석

도체연가 유무에 따른 이론적 검토를 위해 지중송전케이블의 선로정수를 이용하여 임피던스를 계산한 후 비교 분석하였다. 지중송전선로 구성은 그림 1 및 표 1의 방식을 사용하였다. 식 (1)은 교류도체 저항을 구하는 식이며, 표 3에서 제시한 내용을 이용하여 구할 수 있다[10].

$$R_{\phi} = R(1 + y_s + y_p) [\Omega/m] \quad (1)$$

여기서, R' : 20°C에서의 직류도체 최대저항 [Ω/m]
 y_s : 표피효과 계수
 y_p : 근접효과 계수

표 3 20°C에서의 직류도체 최대저항
Table 3 Maximum DC resistance at 20°C

공칭단면적 [mm^2]	나연동선 저항 [Ω/m]	금속도금연동선 저항 [Ω/m]
600	3.08×10^{-5}	3.11×10^{-5}
1,200	1.51×10^{-5}	1.51×10^{-5}
2,000	0.90×10^{-5}	0.90×10^{-5}

$$y_s = \frac{x_s^4}{192 + 0.8x_s^4} \quad (2)$$

$$x_s^2 = \frac{8\pi f}{R} \times 10^{-7} k_s \quad (3)$$

$$y_p = \frac{x_p^4}{192 + 0.8x_p^4} \left(\frac{d_c}{s} \right)^2 \left\{ 0.321 \left(\frac{d_c}{s} \right)^2 + \frac{1.18}{\frac{x_p^4}{192 + 0.8x_p^4} + 0.27} \right\} \quad (4)$$

$$x_p^2 = \frac{8\pi f}{R} \times 10^{-7} k_p \quad (5)$$

여기서, k_s : 표피효과상수
 d_c : 도체외경 [mm]
 s : 도체 중심 간격 [mm]
 k_p : 근접효과상수

도체의 형식은 원형도체로 가정하였다. 케이블 도체 및 시스에 대한 교류도체 저항을 이용하여 대지귀로가 있는 자기 임피던스 (Z_{NM})는 다음 식으로 구해진다[11].

$$Z_{NM} = R_\phi + R_y + j0.1736 \log_{10} \left(\frac{D_e}{R} \right) [\Omega/km] \quad (6)$$

($N = A, B, C$)

여기서, R_ϕ : 교류도체저항 [Ω]
 R_y : 대지귀로 저항 [Ω]
 R : 케이블 도체 반경 [mm]
 D_e : 대지귀로전류의 평균 깊이 [mm]

또한, 식 (6)에서 대지귀로 저항성분인 R_y 는 식 (7)을, 대지귀로전류의 평균 깊이 D_e 는 식 (8)을 이용하여 얻을 수 있다.

$$R_y = \frac{2\pi f u_0}{8} [\Omega/km] \quad (7)$$

$$D_e = 668 \times 10^3 \times \sqrt{\frac{p}{f}} [mm] \quad (8)$$

여기서, p = 대지고유저항률 [$\Omega \cdot m$]
 f = 주파수 [Hz]
 u_0 = 진공의 투자율

도체 자기 임피던스는 각상이 서로 동일하기 때문에 Z_{NM} 성분인 Z_{AA}, Z_{BB}, Z_{CC} 가 동일하다. 한편, 식 (9)는 도체간 상호 임피던스 Z_{NM} 을 구하는 것으로서 각상의 배열에 따른 상대적인 위치로 도체 각상 간 임피던스의 차이가 발생한다.

$$Z_{NM} = 0.05922 + j0.1736 \log_{10} \left(\frac{D_e}{d_{NM}} \right) [\Omega/km] \quad (9)$$

($M = A, B, C \quad N \neq M$)

여기서, d_{NM} : 각상 도체 중심간 등가선간거리 [mm]

또한 시스유기전압 및 시스순환전류에 중요한 영향을 미치는 도체-시스 간 자기 임피던스(Z_{Nn})와 도체-시스 간 상호 임피던스(Z_{Nm})는 식 (10) 및 (11)을 이용하여 구할 수 있다.

$$Z_{Nn} = R_s + 0.000989f + j0.0029f \times \log_{10} \left(\frac{D_e}{r} \right) [\Omega/km] \quad (10)$$

$$Z_{Nm} = 0.000989f + j0.0029f \times \log_{10} \left(\frac{D_e}{d_{NM}} \right) \quad (11)$$

여기서 R_s : 시스교류저항 [Ω]
 r : 케이블 시스 반경 [mm]

식 (12)는 각 상의 도체 임피던스를, 식 (13)은 도체-시스간 임피던스를 행렬요소로 표현한 것이며, 이 때 대각 요소는 자기 임피던스 성분, 대칭요소는 상호임피던스 성분을 나타낸 것이다.

$$\begin{bmatrix} Z_A(total) \\ Z_B(total) \\ Z_C(total) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{AA} & Z_{AB} & Z_{AC} \\ Z_{BA} & Z_{BB} & Z_{BC} \\ Z_{CA} & Z_{CB} & Z_{CC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\begin{bmatrix} z_a(total) \\ z_b(total) \\ z_c(total) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{Aa} & z_{Ab} & z_{Ac} \\ z_{Ba} & z_{Bb} & z_{Bc} \\ z_{Ca} & z_{Cb} & z_{Cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

여기서, Z_{AA}, Z_{BB}, Z_{CC} : 도체 자기임피던스
 $Z_{AB}, Z_{AC}, Z_{BA}, Z_{BC}, Z_{CA}, Z_{CB}$: 도체 상호임피던스
 z_{Aa}, z_{Bb}, z_{Cc} : 도체-시스 자기임피던스
 $z_{Ab}, z_{Ac}, z_{Ba}, z_{Bc}, z_{Ca}, z_{Cb}$: 도체-시스 상호임피던스
 A, B, C : 케이블 각 상을 의미
 a, b, c : 케이블 각 상의 시스를 의미

표 4는 케이블 포설시 도체 연가를 적용하지 않았을 경우 식 (12) 및 (13)을 이용하여 계산된 임피던스 성분으로서, 절대 값으로 도체 임피던스 및 시스템 임피던스를 나타내고 있다. 표 4를 통하여 케이블 배열의 상대적인 위치 차이로 인하여 각 상간 임피던스는 불평형이 발생하게 된다.

표 4 도체 비연가시 각상의 임피던스

Table 4 Impedance of each phase in case of untransposition

임피던스	상	전체 임피던스 [Ω/km]
도체	A	2.0525
	B	2.1046
	C	2.0525
도체-시스템	A - S	1.9936
	B - S	2.0458
	C - S	1.9936

2.2.2 연가시 이론적 분석

식 (14)는 이상적인 도체 연가방식을 적용하였을 경우 행렬요소로 표현한 것이다.

$$\begin{bmatrix} Z_A(total) \\ Z_B(total) \\ Z_C(total) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_s & Z_{m1} & Z_{m2} \\ Z_{m2} & Z_s & Z_{m1} \\ Z_{m1} & Z_{m2} & Z_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

여기서, Z_s 는 자기임피던스 성분이며, Z_{m1} , Z_{m2} 는 상호임피던스 성분이다.

$$Z_s = \frac{Z_{AA} + Z_{BB} + Z_{CC}}{3}$$

$$Z_{m1} = \frac{Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{CA}}{3}$$

$$Z_{m2} = \frac{Z_{AC} + Z_{BA} + Z_{CB}}{3}$$

표 5 도체 연가시 각상의 임피던스

Table 5 Impedance of each phase in case of transposition

임피던스	상	전체 임피던스 [Ω/km]
도체	A	2.0699
	B	2.0699
	C	2.0699
도체-시스템	A - S	2.0119
	B - S	2.0119
	C - S	2.0119

표 5는 도체 연가를 적용하였을 경우 식 (14)를 이용하여 계산된 임피던스 성분으로 절대값으로 환산하여 계산하였다. 여기서, 각 상간의 상호 임피던스 영향이 균등하여 임피던스 및 도체

-시스템의 임피던스 불평형은 감소하게 된다.

3. 도체연가 유무에 따른 소구간 시스템 성분 해석

그림 2의 비접지 선로에 대해 정상상태시 EMTP를 이용하여 도체 연가 유무에 따른 시스템 성분을 해석한 후 비교 분석 하였다.

케이블 포설 방법은 수평배열(1,200m) - 수평배열(1,200m) - 수평배열(1,200m)로 크로스본드 대구간 세 구간을 모델링한 후 소구간 내의 각 접속함 위치에서 시스템 성분을 해석하였으며 저감률을 통하여 상대적인 비교를 하였다. 도체 비연가시를 기준으로 도체 연가시의 시스템 성분 저감률은 식 (15)와 같이 정의하였다.

$$\text{저감률} = \frac{V_{SA} - V_{SB}}{V_{SA}} \times 100\% \quad (15)$$

여기서, V_{SNT} : 도체 비연가시 시스템 성분
 V_{ST} : 도체 연가시 시스템 성분

그림 4는 도체 연가 유무에 따른 시스템유기전압 해석결과를 나타낸 것으로서 특히 케이블 선로 인입지점과 말단지점에서 저감 효과가 큰 것을 확인할 수 있다.

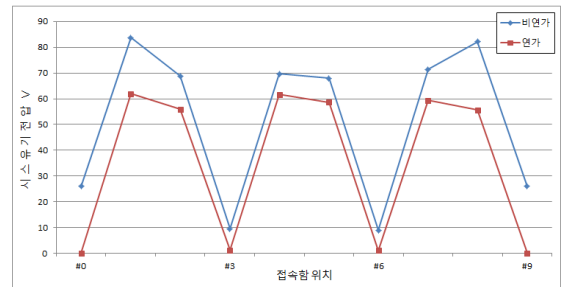


그림 4 시스템유기전압

Fig. 4 Sheath induced voltage at each point of cable

표 6은 JJ 접속함에서의 시스템유기전압을 해석하여 나타낸 결과로 도체 연가시 11.49% ~ 32.32%의 시스템유기전압 저감효과를 확인할 수 있다.

표 6 시스템유기전압 저감률

Table 6 Reduction ratio of sheath induced voltage

케이블 부하전류 = 1,468A			
접속함 위치	비연가시[V]	연가시[V]	저감률[%]
J/B #1	83.71	61.96	25.99
J/B #2	68.77	55.93	18.67
J/B #4	69.71	61.70	11.49
J/B #5	69.97	58.62	13.76
J/B #7	71.39	59.30	16.94
J/B #8	82.17	55.61	32.32

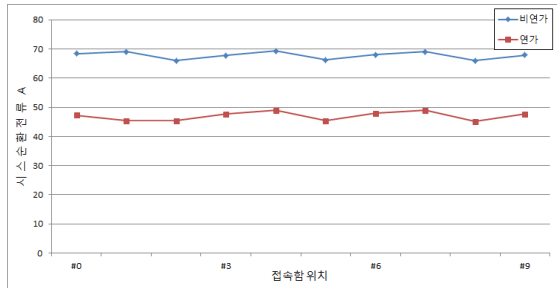


그림 5 시스순환전류
Fig. 5 Sheath induced current at each point of cable.

그림 5는 도체 연가 유무에 따른 시스순환전류를 해석하여 나타난 것으로서 접속함 비접지 선로의 순환전류 특징을 보이고 있다. NJ 구간의 비접지로 인하여 전 선로에 걸쳐 일정한 시스순환전류가 발생하게 된다. 한편, 도체 연가시는 비연가시에 비해 시스순환전류의 크기를 30.73% 저감할 수 있다.

그림 4와 그림 5의 결과를 통해 도체 연가 방식 적용은 도체의 임피던스 및 도체-시스 간 임피던스 불평형을 저감할 수 있으며 이로 인하여 어느 한상의 높은 시스성분을 다른 상으로 분산시키게 함으로써 시스 유기전압 및 시스 순환전류를 저감시킬 수 있다.

4. 도체연가방식 구성 및 비교

그림 6 및 7은 본 논문에서 사용된 두 가지 도체 연가방식에 대한 구성도로 Case 1은 이상적인 도체 중간 연가 방식으로 선로정수 불평형 성분을 가장 효과적으로 저감시킬 수 있다[2][9].

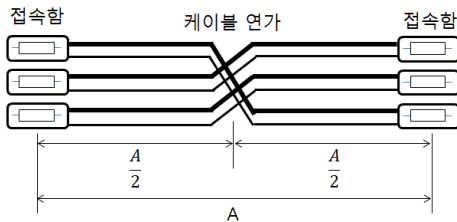


그림 6 케이블 도체 중간 연가 방식(Case 1)
Fig. 6 Sheath induced current at each point of cable.

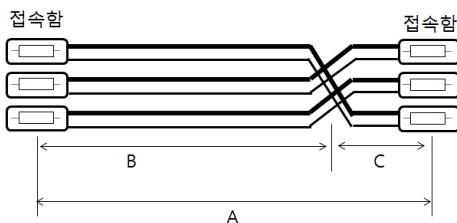


그림 7 케이블 도체 측면 연가 방식(Case 2)
Fig. 7 Sheath induced current at each point of cable.

그러나 선로 중간에서 연가를 시공해야 하는 문제로 인하여 케이블 비틀림에 대한 대책 및 추가적인 비용상승에 대한 문제점이 발생한다. Case 2는 접속함과 근접한 구간에서 도체 연가 방식을 적용함으로써 시공이 간편하고 비용 상승이 적은 방법이지만 선로정수 불평형 저감효과는 CASE 1에 비하여 감소하게 된다.

5. 차등률에 따른 시스순환전류 분석

시스순환전류의 크기를 결정하는 요소들 중 각각의 소구간 길이 변화는 가장 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 도체 연가 방식의 정확한 효율성 분석을 위하여 비접지 선로에서 차등률의 일정한 변화를 변수로 두고 도체연가 유무에 따른 시스순환전류를 해석하였다.[4].

식 (16)은 차등률에 관한 정의로서 평균 등가거리에 대한 소구간에 대한 상대적인 비율로 정확한 도체연가 유무에 따른 시스순환전류 해석을 위하여 0% ~ 25%의 차등률을 두고 모델링하였다.

$$\text{차등률} = \frac{|(A-L)|+|(A-M)|+|(A-N)|}{A} \times 100\% \quad (16)$$

$$\text{평균 등가거리 } A = (L+M+N) \times \frac{1}{3}$$

표 7은 각각의 차등률에 따른 소구간 L, M, N의 길이를 나타내었으며 전체 선로구간 또한 동일하게 차등률을 적용하여 일정한 비율의 차등률을 갖도록 모델링 한 후 시스순환전류에 대하여 도체 연가 유무에 따른 해석을 하였다.

표 7 접속함간(소구간) 길이변화에 따른 차등률

Table 7 Differential ratio according to interval length variation.

접속함간 길이[m]			차등률[%]
소구간 L	소구간 M	소구간 N	
410	400	390	5
420	400	380	10
430	400	370	15
440	400	360	20
450	400	350	25

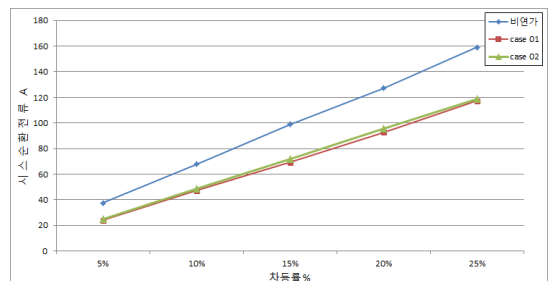


그림 8 시스순환전류
Fig. 8 Sheath induced current at each point of cable.

그림 8은 각각의 차등률에 따른 시스순환전류를 나타낸 그래프로 차등률에 따른 분석결과 도체 연가를 적용하였을 경우 시스순환전류가 저감되는 것을 확인할 수 있으며 Case 1 과 Case 2 의 시스순환전류 저감효과의 차이가 미미한 점을 확인할 수 있다. 또한 차등률이 증가할수록 비연가시에 비하여 감소되는 시스순환전류가 증가하는 것을 확인할 수 있다.

비접지 지중선로의 경우 접지 선로에 비하여 시스임피던스가 높기 때문에 시스순환전류가 상대적으로 적은 장점을 가지고 있으며 도체 연가 방식을 적용할 경우 시스순환전류를 큰폭으로 감소시킬 수 있다. 차등률 25%에서 도체 연가방식을 적용을 통해 시스순환전류는 Case 1에서 41.71A, Case 2에서는 40.32A 감소한다.

6. 선로길이 증가에 따른 시스유기전압 분석

시스유기전압에 가장 큰 요인을 미치게 되는 선로길이를 증가시켜 도체연가 유무 및 CASE 별 비교 해석하였다. 표 1의 모델을 바탕으로 각각의 구간에 대하여 선로 길이증가를 모델링하였으며 도체 연가유무에 따른 시스유기전압을 해석한 후 비교하였다.

표 8은 각각의 소구간의 길이 증가 및 전체 선로길이를 나타내었다. 전체 선로는 크로스본딩 대구간 세 개로 구성되어 있으며 각각의 소구간 L, M, N을 동일하게 증가시켰다. 실제 지중송전선로 시공구간과 비슷한 모델을 구성하기 위하여 각각의 구간별 차등률은 10%로 가정하였다.

표 8 구간별 선로길이

Table 8 Length of the line

선로길이 [%]	접속함간 길이 [m]			전체 길이 [m]
	소구간 L (수평배열)	소구간 M (수평배열)	소구간 N (수평배열)	
0	420	400	380	3600
10	462	440	418	3960
20	504	480	456	4320
30	546	520	494	4680
40	588	560	532	5040
50	630	600	570	5400
60	672	640	608	5760

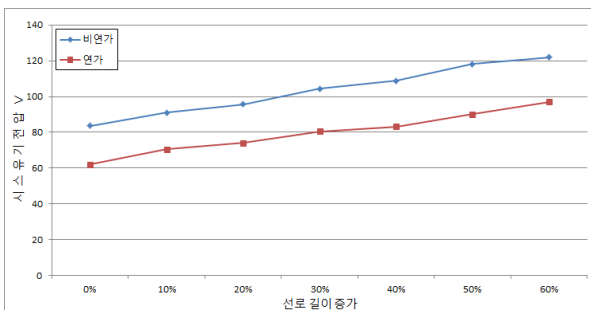


그림 9 선로 길이 증가에 따른 시스유기전압 (Case 1)

Fig. 9 Sheath induced voltage at each point of cable(Case 1)

그림 9 및 표 9는 각각의 소구간 선로 길이를 0% ~ 60% 까지 증가시켰을 경우에 최대 시스유기전압을 해석한 결과이다. 비연가 도체의 경우 선로길이를 30% 증가시켰을 경우 시스제한 전압인 100V를 초과하지만 Case 1 도체연가시 선로길이를 60% 까지 증가시켰을 경우에도 100V를 초과하지 않는다.

표 9 선로 길이 증가에 따른 시스유기전압 (Case 1)

Table 9 Sheath induced voltage according to differential length of the line (Case 1)

케이블 부하전류 = 1,468A		
선로 길이 [%]	비연가 [V]	연가 [V]
0	83.71	61.96
10	90.91	70.54
20	95.76	74.04
30	104.29	80.57
40	108.90	83.25
50	118.20	90.18
60	121.92	96.92

그림 10 및 표 10은 각각의 소구간 선로 길이를 0% ~ 60% 까지 증가시켰을 경우에 시스유기전압을 해석한 결과이다. 도체 연가를 적용하지 않는 선로의 경우 선로길이를 30% 증가시켰을 경우 시스제한전압인 100V를 초과하지만 Case 2 도체연가방식을 적용한 선로의 경우 선로길이를 60% 까지 증가시켰을 경우에도 100V를 초과하게 된다.

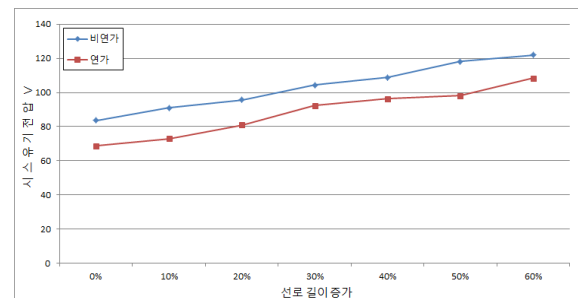


그림 10 선로 길이 증가에 따른 시스유기전압 (Case 2)

Fig. 10 Sheath induced voltage at each point of cable(Case 2)

표 10 선로 길이 증가에 따른 시스유기전압 (Case 2)

Table 10 Differential length of the line according to sheath induced voltage (Case 2)

케이블 부하전류 = 1,468A		
선로 길이 [%]	비연가 [V]	연가 [V]
0	83.71	68.69
10	90.91	72.96
20	95.76	80.95
30	104.29	92.39
40	108.90	96.27
50	118.20	98.15
60	121.92	108.45

7. 결 론

본 논문에서는 물리적, 환경적으로 케이블 시스를 접지할 수 없는 비접지 선로에 대해 도체 연가 채용시 그 효율성을 평가하여 안정적 운용방안을 제안하였다. 효율성은 케이블 도체 연가유무에 따라 시스유기전압 및 시스순환전류를 해석하여 제시하였으며 시스순환전류에 큰 영향이 미치는 소구간 간의 상대적인 차이를 차등률로 정의하여 분석하였다. 또한 시스유기전압의 경우 소구간의 길이를 증가시켜 다양한 해석을 실시하였다.

- (1) 도체연가를 적용하지 않는 선로의 경우 도체 임피던스 불평형과 도체-시스 간 불평형이 발생하게 되어 시스유기전압 및 시스순환전류가 증가하는 것을 알 수 있다.
- (2) 도체 임피던스 불평형과 도체 시스간 불평형은 연가방식을 적용함으로써 균일하게 분포시켜 각 상간의 임피던스 불평형을 감소시킬 수 있다.
- (3) 차등률에 따른 분석결과 도체 연가 방식을 적용할 경우 시스순환전류를 저감시킬 수 있으며 도체연가방식에 따른 차이점은 거의 없다.
- (4) 소구간 길이증가에 따른 분석결과 도체연가방식을 적용하지 않았을 경우 시스제한전압을 초과하여 소구간 선로 길이제한을 받게 되지만 도체연가방식을 적용함으로써 기존의 선로보다 길이를 증가시킬 수 있다.

접속함 접지를 시행할 수 없는 지중송전계통에서 비접지로 인하여 특정지점에 높게 발생하는 시스성분은 본 논문에서 제안한 도체연가방식을 채용함으로써 큰 폭으로 저감시킬 수 있음을 확인하였다. 또한 소구간 길이도 늘릴 수 있어 이로 인한 접속함의 전체적인 숫자도 줄일 수 있음을 확인하였다. 따라서 접지를 부득이하게 할 수 없는 비접지 선로에 대하여 도체 연가방식을 검토 후 적용하는 것이 가능할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2014학년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 수행 됨

References

- [1] Xinheng Wang, "Characterization, detection and location of sheath fault on underground power transmission cables", Brunel University, UK, 2001.
- [2] Insulated Conductors Committee of IEEE Power Engineering Society "IEEE Guide for the Application of Sheath-Bonding Methods for Single-Conductor Cables and the Calculation of Induced Voltages and Currents in Cable Sheaths", IEEE Standards Board, USA, 1986.
- [3] KEPRI, "A Study on the Reduction of Induced Voltage and Circulating Current at the Metallic Sheath of

Underground Transmission Power Cables", Dec. 2003.

- [4] Chae-Kyun Jung, et. al "Analysis and Reduction Methods of Sheath Circulating Current in Underground Transmission Systems", KIEE, Vol. 50A, No. 11, pp. 537-545, Nov. 2001.
- [5] June-Kim and Jong-Beom Lee, "Operation Effectiveness Evaluation According to Conductor Transposition Adoption in Underground Power Cable System", KIEE, Vol. 63, No. 5, pp. 636-643, May. 2014.
- [6] J.S. Barrett and G.J. Anders, "Circulating current and hysteresis losses in screens, sheaths, and armour of electric power cables - mathematical models and comparison", IEC Standard 287.
- [7] Ji-Won Kang and Hai-Won Yang, "A Study on the Reduction Methods of Sheath Circulating Current using the Reduction Equipment in Underground Transmission Systems", KIEE, Vol. 51A, No. 9, pp. 474-481, Sep. 2002.
- [8] Ji-Won Kang and Hai-Won Yang, "A Study on the Characteristic and Rising Cause of Sheath Circulating Current by Analysis and Measurement", KIEE, Vol. 51A, No. 9, pp. 525-533, Oct. 2002.
- [9] C. W. Ha, "EMTP-analysis of Transposition Effects on Underground Transmission Cables", KIEE Summer Conference, pp. 93-94, July. 2006.
- [10] KEPCO, "Underground power cable", Underground power design standard DS-6210, 2012.
- [11] CIGRE-Korea, "Underground power cable system engineering", pp. 137-230, 2014.

저 자 소 개



김 준(June-Kim)

1986년 10월 20일생. 2012년 원광대 공대 전기공학과 졸업. 2012년~2013년 한국전기연구원 전기환경연구센터 위촉연구원. 2015년 원광대 대학원 전기공학과 졸업(석사)
Tel : (063)850-6735
E-mail : yonocom@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