

154kV 송전계통 비연가 4회선 병행선로에서의
영상순환전류 감소대책

° 윤 용 범, 추 진 부, 백 영 기
(전력연구원)

Countermeasures for reducing the zero sequence circulating current in parallel untransposed 154kV four-circuit systems.

Yongbeum Yoon, Jinboo Choo, Youngki Baek
(KEPRI)

Abstract : This paper proposes the proper phase arrangement of transmission lines for reducing the zero sequence circulating current. It is a well-known fact that the zero sequence circulating currents are principally caused by the untransposed lines and numerical estimation method already has been established. In this paper, the circuit analysis for calculating the zero sequence circulating currents was performed on the existing 154kV four-circuit systems of KEPCO and the proper phase arrangement was determined.

1. 서 론

송전선로들의 공간적인 위치차나 전자계의 상호간섭과 같은 요인들에 의하여 발생하는 영상전류는 일반적으로, 인근 통신선로에 전압을 유도하거나 송전선 보호용 가공지선에 전류를 유도하여 전력손실을 발생시키는 것으로 알려져 있다. 고전압의 장거리 송전선로에서는 연가에 의하여 이를 방지하고있다. 그러나, 연가에는 많은 비용이 소요될 뿐만 아니라 연가선로는 전기적, 기계적 취약으로 인하여 선로사고가 발생할 가능성이 높으므로 특정선로에 대해서만 연가를 하고 있다[1]. Hesse는 비연가된 다중선로에서의 영상전류 발생과정을 해석하고[2], 상배열 변화에 따른 영상전류의 변화 및 이로인한 불평형도를 추정하는 방법을 제안하였다[3]. 비연가된 다중선로에서는 선로 상호 임피던스에 의하여 병행선로내를 순환하는 특성의 영상전류가 존재한다는 것도 Hesse가 발표하였다. 한편, 국내에서는 가공지선의 전류로 인한 전력손실을 억제하기 위하여 가공지선용 애자장치를 개발[4]하였을 뿐만 아니라 가공지선에 흐르는 전류를 최소화하기 위한 역상배열방식이 제안[5]되어 사용되고 있다. 이와관련하여 본 논문에서는 비연가된 역상배열의 154kV 단거리 4회선 송전선로에서 발생한 과다 영상순환전류로 인하여 계전기가 동작한 실제 사

례를 중심으로 그 대책을 제안하였다.

2. 영상전류 계산방법

본 논문에서는 실제계통에서 과다발생한 영상전류를 모의하기 위하여 그림1과 같은 특정계통을 대상으로 한정하였다.

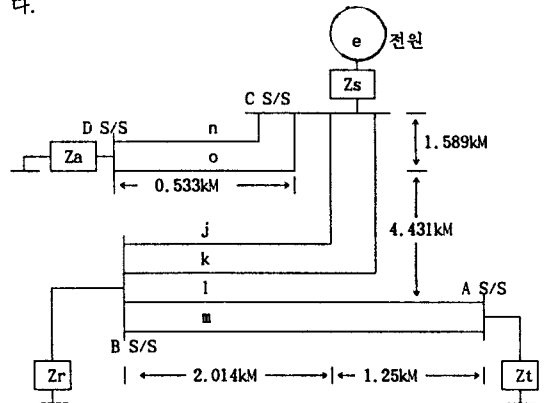


그림 1. 영상전류 모의대상 계통

그림1의 선로에 흐르는 전류를 i_s (단, $s = j, k, l, m, n, o$) 라 하면 각 선로의 전압강하 Δe 는 식(1)과 같이 된다.

$$[\Delta e] = [Z] [i] \dots \dots \dots (1)$$

단, $[\Delta e] = [\Delta e_j, \Delta e_k, \Delta e_l, \Delta e_m, \Delta e_n, \Delta e_o, \Delta e_n]^T$

$$[i] = [i_k, i_j, i_m, i_l, i_o, i_n]^T$$

$[Z]$: 선로의 임피던스 행렬

여기서, $[Z]$ 의 역행렬을 $[Y]$ 라 하면 전류 $[i]$ 는 식(2)와 같이 된다.

$$[i] = [Y] [\Delta e] \dots \dots \dots (2)$$

그런데, j 선로와 k 선로, l 선로와 m 선로, n 선로와 o 선로는 각각 동일 모선에 연결되어 있으므로 식(2)의 $[\Delta e]$ 요소

중에서 $\Delta e_k = \Delta e_l, \Delta e_m = \Delta e_l, \Delta e_o = \Delta e_n$ 가 되어 식(3)과 같이 쓸수있다.

$$[i] = [Y]' [\Delta e] \dots \dots \dots (3)$$

여기서, j 와 k선로, l과 m선로, n과 o선로에 흐르는 전류합을 각각 i_{jk}, i_{lm}, i_{no} 라 하면 병행선로에 흐르는 전류는 식(4)와 같이 표시된다.

$$\begin{bmatrix} i_{jk} \\ i_{lm} \\ i_{no} \end{bmatrix} = [Y]'' [\Delta e] \dots \dots \dots (4)$$

그런데, 그림1의 계통에서 전압에 관한 키르히호프 법칙을 적용하여 j, l, m 선로의 전압강하를 구하고 이를 행렬의 형태로 표시하면 식(5)와 같이된다.

$$[\Delta e]' = \begin{bmatrix} e \\ o \\ e \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_{j+Z_r} & -Z_r & Z_l \\ -Z_r & Z_l+Z_r & 0 \\ Z_l & 0 & Z_{l+Z_r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{jk} \\ i_{lm} \\ i_{no} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} e \\ o \\ e \end{bmatrix} - [Z] \begin{bmatrix} i_{jk} \\ i_{lm} \\ i_{no} \end{bmatrix} \dots \dots \dots (5)$$

식 (5)를 식(4)에 대입하여 정리하면 식(6)과 같은 선로전류에 관한 식을 얻을수 있다.

$$\begin{bmatrix} i_{jk} \\ i_{lm} \\ i_{no} \end{bmatrix} = [I + [Y]'' [Z]] [Y]'' \begin{bmatrix} e \\ o \\ e \end{bmatrix} \dots \dots \dots (6)$$

식(6)에 의하여 선로에 흐르는 합전류를 구하고 이를 식(5)에 대입하여 선로에서의 전압강하를 구한다. 그리고 식(3)에 의하여 각선로에 흐르는 전류를 구하고 대칭분 분석에 의하여 영상전류의 크기 및 위상을 구할수 있다.

3. 상배열 변경에 따른 영상전류 변화

그림1의 계통에서 A S/S-B S/S 2회선 선로와 B S/S-C S/S 2회선 선로의 상배열 변경시 영상전류를 계산하고 이들사이의 특성을 고찰하였다. 그림1계통에서의 각선로에 흐르는 부하전류 및 영상순환전류는 표1과 같으며 A-B#2 선로에는 영상순환전류가 부하전류의 11%가 되어 보호계전기의 동작을 유발하는 것으로 나타났다. 또한, 역상배열된 A-B #1,#2 선로와 B-C #1,#2선로에는 각각 180도 부근의 위상차를 갖는 영상순환전류가 흐르고 있음을 알수 있다.

표1. 그림1계통에서의 상배열 및 영상전류
단위 : A

선로명	상배열	Ia	Ib	Ic	3Io
A-B #1	cba	585	558	533	55 \angle -47 (10%)
A-B #2	abc	528	557	585	60 \angle 131 (11%)
B-C #1	abc	879	863	847	28 \angle -42 (3%)
B-C #2	cba	843	862	882	34 \angle 130 (4%)

[주] $3Io = Ia + Ib + Ic, \%3Io = (3Io/ \text{평균상전류}) * 100$

그림1의 각회선에는 a,b,c 3개상이 존재하게 되며 이를 수직배열하는 방법에는 6가지가 존재하게 된다. 따라서, 4개 선로인 경우 총 6^4 개의 방법을 생각할 수 있다. 이와같은 상배열 종류중 영상전류가 감소하는 상배열은 표2와 같다.

표2. 제안한 상배열 방식 및 영상전류

선로명	상배열	Ia	Ib	Ic	3Io
A-B #1	abc	555	557	600	4 \angle 51 (1%)
A-B #2	abc	555	557	600	4 \angle 61 (1%)
B-C #1	cba	859	862	864	4 \angle 29 (0.4%)
B-C #2	cba	859	862	867	6 \angle 92 (0.7%)

본 논문에서 제안한 상배열 방식에서는 전자계 영향등은 고려하지 않았으며 이는 대상계통이 단거리 선로이고 154kV계통이기 때문이다.

표2에서 제안한 결과는 변전소에서의 상배열 변경공사를 통하여 실제통에 적용하였으며 공사전, 후의 영상전류 실측 결과는 표3 및 4와 같다. 표2의 모의결과와는 다소 차이를 보이고 있으나 영상전류가 부하전류의 10%이하로 감소하는 것으로 나타나고 있다.

표3. 변경공사전의 부하 및 영상순환전류

선로명	상배열	Ia	Ib	Ic	3Io
A-B #1	cba	440	480	490	80(17%)
A-B #2	abc	460	470	460	60(13%)
B-C #1	abc	790	830	810	20(2.5%)
B-C #2	cba	800	820	800	20(2.5%)

표4. 변경공사후의 부하 및 영상순환전류

선로명	상배열	Ia	Ib	Ic	3Io
A-B #1	abc	437	468	454	41(9%)
A-B #2	abc	440	463	449	26(6%)
B-C #1	cba	641	577	665	29(4.4%)
B-C #2	cba	636	677	667	38(4.3%)

모의결과와 실측결과가 상이한 것은 선로에 흐르는 부하전류가 상이하다는 점 외에도 선로임피던스, 계측기의 오차등에 의한 것으로 예상되며 향후 이에대한 상세검토가 요구된다.

4. 결 론

다중선로에서의 선로간 임피던스 불평형으로 인하여 발생하는 영상전류는 선로내를 순환하는 특성을 가지며 상배열 방식에 따라 크기가 좌우된다. 그런데, 이와같은 영상전류는 통상적으로 부하전류의 10%이하 이므로 보호계전기는 영상전류가 10%이상인 경우 동작하도록 정하고 있다. 따라서, 특수한 계통운전조건에서나 상배열에서는 영상전류가 과다하게 발생하여 보호계전기의 동작을 유발하거나 동일모선간에 연결된 다중선로에서의 특정선로에 조류가 편

증되도록 하여 과부하를 유발하는 것으로 판단된다. 본 논문에서는 고장발생이 없는 정상상태에서도 과도한 영상전류로 인하여 보호계전기가 동작한 실계통을 대상으로 상배열 변경에 따른 영상전류의 변화를 고찰하였다. 이를 바탕으로 영상전류를 최소화하기 위한 4회선 선로에서의 최적상배열 방식을 제안하였으며 이를 실계통에 적용하여 실측한 결과 영상전류가 부하전류의 17%에서 9%이하로 감소하였다. 따라서, 비연가된 154kV 4회선 단거리 송전선로 운전 혹은 건설시에는 각회선에 흐르는 전류방향이나 전류 크기, 상배열 방식에 따른 영상전류검토가 필요한 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

- [1] Gross, E.T.B., and Weston, A.H., "Transposition of High-Voltage Overhead Lines and Elimination of Electrostatic Unbalance to Ground", Trans. AIEE 70,pp.1837-1844,1951.
- [2] Hesse.M.H., "Circulating Currents in Parallel Untransposed Multicircuit Lines : I-Numerical Evaluations", Trans. IEEE PAS-85, No.7, pp.802-811,1966.
- [3] Hesse.M.H., "Circulating Currents in Parallel Untransposed Multicircuit Lines : II-Methods for Estimating Current Unbalance", Trans. IEEE PAS-85, No.7, pp.812-820,1966.
- [4] 권태원등, "154kV 송전 가공지선 전력손실 대책에 관한 연구", 전력연구원 보고서, 1986
- [5] 구분목, "EMTP를 이용한 송전선로 손실감소 대책", 과도해석프로그램 전력기술위크샷, pp.57-108, 1987.12.