

배전선로 장주의 중성선 전류 계산

서훈철\*, 김철환\*, 정창수\*\*, 유연표\*\*, 이천원\*\*  
 \*성균관대학교, \*\*한국전력공사

Neutral Current Calculation of Electric Pole in Distribution Line

H. C. Seo\*, C. H. Kim\*, C. S. Jung\*\*, Y. P. Yoo\*\*, C. W. Lee\*\*  
 \*SungKyunKwan University, \*\*KEPCO

**Abstract** - If the three phases are not balanced, the current in neutral line is not zero. Then, the induced voltage can be generated in communication line. The KEPCO's rule about unbalanced current in single electric pole is a twenty percent of phase current. But the unbalanced current in double electric pole can't decide the rule because there are many different views. This paper develops the calculation and analysis technique of neutral current in single electric pole and double electric pole using equivalent circuit analysis, vector analysis and EMTP simulation.

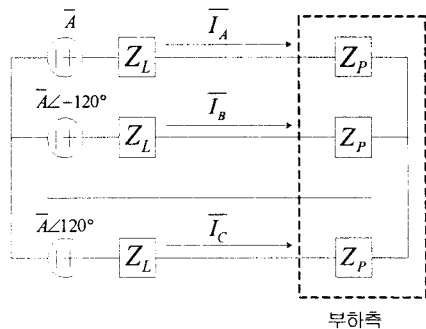


그림 1 Y-Y계통의 등가회로

그림 1에서  $Z_L$ 은 선로 임피던스이고,  $Z_P$ 는 부하 임피던스이다. 여기서, 각 상에 흐르는 전류  $\bar{I}_A, \bar{I}_B, \bar{I}_C$ 는 정상순을 기준으로 할 때, 다음 식 (1)-(3)과 같다.

$$\bar{I}_A = \frac{\bar{A}}{Z_L + Z_P} \tag{1}$$

$$\bar{I}_B = \frac{\bar{A} \angle -120^\circ}{Z_L + Z_P} \tag{2}$$

$$\bar{I}_C = \frac{\bar{A} \angle 120^\circ}{Z_L + Z_P} \tag{3}$$

이 경우 중성선 전류는 다음 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$\bar{I}_N = \bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C \tag{4}$$

1. 서 론

만약 배전선로에서 3상이 평형을 이루지 못한다면 중성선에 전류가 흘러 통신선 등에 유도전압을 발생시킬 수 있다. 현재 우리나라에서 가공배전선 유도전압(상시 유도 종 전압 및 유도 잠음전압) 계산 시 배전선 중성선에 흐르는 불평형 전류는 상전류의 20%를 적용하고 있다. 그러나 1단 장주를 2단 장주로 변경 시 공용 중성선에서의 불평형 전류가 증가 또는 상쇄 하는지에 대해 상호 이견이 발생하고 있다.

이에 대해 본 논문에서는 등가회로 해석, 벡터해석 및 EMTP 모의를 통해 1단 장주 및 2단 장주의 중성선 전류 계산 및 해석을 수행하였다. 배전장주 형태에 따른 중성선 전류를 비교 분석하기 위해 여러 가지 모의 조건을 구성하여 EMTP를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 배전장주 형태에 따른 등가회로 해석, 벡터해석 및 다양한 모의조건에 따른 EMTP 모의 결과를 제시하였다.

2. 배전장주의 중성선 전류 계산

2.1 불평형의 원인

정상상태에서 3상은 각 상의 크기가 동일하며, 위상차가 120°이다. 이러한 상태를 평형 상태라 하며, 중성선 전류는 0이다. 그러나, 각 상의 선로 임피던스 또는 부하 임피던스가 동일하지 않은 경우를 불평형 상태라 하며, 중성선 전류는 0이 아니다.

2.2 등가회로 해석에 의한 배전 장주 중성선 전류의 계산

2.2.1 1단 장주의 중성선 전류 계산

1단 장주가 Y결선이고, 부하 측과 Y결선으로 연결되어 있다면 그 등가회로는 다음 그림 1과 같다[1].

2.2.2 2단 장주의 중성선 전류 계산

2단 장주는 상단과 하단이 중성선을 공유하고 있는 형태이다. 따라서, 2단 장주가 Y-Y 결선이라면 그 등가회로는 다음 그림 2와 같다[1].

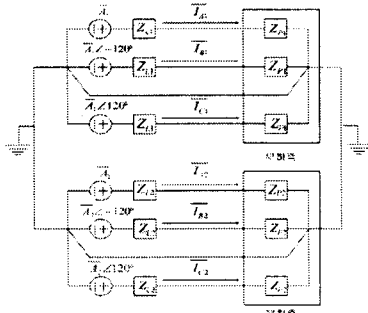


그림 2 2단장주의 등가회로

2단 장주의 중성선 전류는 중첩의 원리를 이용하여 구할 수 있다. 따라서 구하는 식은 다음 식 (5)와 같다.

$$\bar{I}_N = \bar{I}_{N1} + \bar{I}_{N2} = \bar{I}_{A1} + \bar{I}_{B1} + \bar{I}_{C1} + \bar{I}_{A2} + \bar{I}_{B2} + \bar{I}_{C2} \quad (5)$$

2.3 EMTP를 이용한 배전장주 중성선 전류 계산  
배전장주 형태에 따른 중성선 전류 계산 모의를 위해 EMTP 프로그램을 사용하였다. EMTP를 이용하여 1단 장주 및 2단 장주에서 불평형 조건을 발생시켰을 때, 중성선 전류 값을 계산하여 배전장주 형태별 중성선 전류 값을 비교 분석하였다.

### 2.3.1 1단 장주의 중성선 전류 계산

시뮬레이션에 사용된 모델 계통의 구성은 다음 그림 3과 같다. 실제 EMTP를 이용하여 시뮬레이션 수행 시, 전주의 구성을 branch card로 생성한다. 이렇게 생성된 branch card를 이용하여 그림 3과 같은 계통을 구성하고 중성선에 흐르는 전류를 계산한다. 3상 전원  $E_s$ 에 평형 3상 380[V]를 인가하고 P2에 부하를 연결한 뒤 중성선을 부하의 하단에 연결하고 N1의 전류를 측정하였다[2].

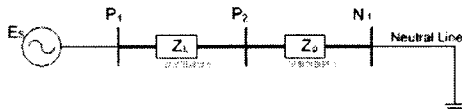


그림 3 1단장주의 모델 계통

### 2.3.2 2단 장주의 중성선 전류 계산

2단 장주는 중성선을 공유하고 있는 형태이므로 시뮬레이션에 사용된 모델 계통의 구성은 다음 그림 4와 같다. 실제 EMTP를 이용하여 시뮬레이션 수행 시, 전주의 구성을 branch card로 생성한다. 이렇게 생성된 branch card를 이용하여 그림 4와 같은 계통을 구성하고 중성선에 유도되는 전류를 계산한다. 3상 전원  $E_{s1}$  및  $E_{s2}$ 에 평형 3상 380[V]를 인가하고 P12와 P22에 부하를 연결한 뒤 중성선은 부하의 하단에 연결하고 중성선(Neutral Line)의 전류를 측정하였다[2].

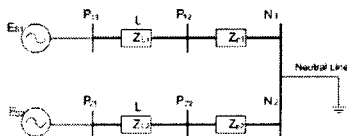


그림 4 2단장주의 모델 계통

### 2.3.3 등가회로 해석법과 EMTP 모의 방법의 검증

다음 예는 1단 장주에서 선로 임피던스가 2배가 된 경우의 중성선 전류에 대해 등가회로 해석 기법에 의한 계산 결과와 실제 EMTP 상에서 시뮬레이션 한 결과와 직접 계산한 결과 값의 비교이다. 실제 계산을 하면 중성선 전류의 크기는 22.68[A]이다. 따라서 EMTP 상에서 계산 결과 역시 22.68[A]가 나와야 한다. 다음 그림 5는 EMTP 상에서 1단 장주에서 선로 임피던스가 2배가 된 경우의 중성선 전류의 순시치 파형과 그 최대값이다. 그림에서 알 수 있듯이 EMTP 시뮬레이션 파형의 최대값은 22.68[A]가 나오기 때문에 실제 계산 값과 시뮬레이션 결과 값은 일치한다고 할 수 있다.

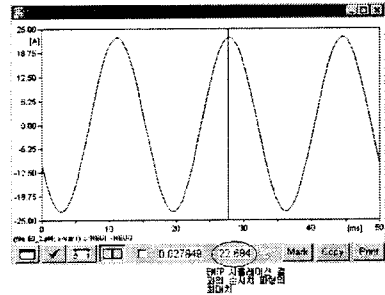


그림 5 EMTP 시뮬레이션 결과(1단 장주)

또 다른 예는 2단장주에서 상단과 하단 모두 선로 임피던스가 2배가 된 경우이다. 등가회로 해석 기법에 의한 계산 결과는 45.36[A]이다. EMTP 시뮬레이션 결과는 다음 그림 6과 같다. 그림 6에서 알 수 있듯이 2단 장주의 시뮬레이션 결과와 등가회로 해석 기법의 계산 결과가 같은 것을 알 수 있다.

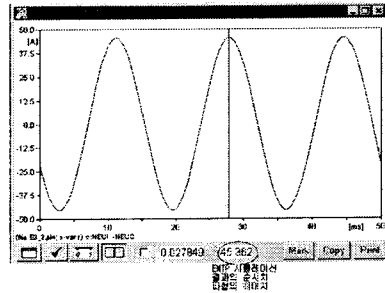


그림 6 EMTP 시뮬레이션 결과(2단 장주)

중성선 전류에 대하여 1단 장주와 2단 장주 모두 EMTP 시뮬레이션 결과와 등가회로 해석 기법에서의 중성선 전류를 계산한 결과가 일치함을 알 수 있다. 따라서, 중성선 전류의 등가회로 해석 기법 및 EMTP의 모의 방법은 타당하다고 할 수 있다.

### 2.3.4 EMTP를 이용한 배전장주별 중성선 전류 모의 및 분석 결과

선로 임피던스 및 부하 임피던스 변경에 따른 1단장주 및 2단장주의 중성선 전류의 실효치 계산을 EMTP를 이용하여 수행하였으며, 배전장주별 중성선 전류 계산 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 2단 장주의 경우, 다른 상의 선로 임피던스 혹은 부

하 임피던스가 변화할 경우 2단 장주의 중성선 전류는 1단 장주의 경우와 유사하다. 그러나 동일 상의 상, 하단 부하 임피던스가 변화한다면, 상, 하단에서 다른 상의 부하 임피던스가 변화할 경우에 비하여 중성선 전류는 2배가 됨을 확인하였다.

- b. 장주 형태에 무관하게 중성선 전류는 선로 임피던스가 변화한 경우가 부하 임피던스가 변화한 경우보다 더 많이 흐른다.
- c. 2단 장주의 경우, 상, 하단에서 같은 상의 선로 임피던스 혹은 부하 임피던스가 변화할 경우 보다 큰 중성선 전류가 흐른다.
- d. 1단 장주의 경우, 3상 중 임의의 두 상에서 선로 임피던스가 변화할 경우, 어느 상에서 선로 임피던스가 변하는지에 무관하게 중성선 전류는 거의 일정하다.
- e. 1단 장주의 경우, 부하의 불평형의 정도가 클수록 중성선 전류의 크기는 증가한다.
- f. 2단 장주의 경우, 3상의 불평형의 정도가 동일한 경우 상단 및 하단의 불평형의 합이 큰 경우가 많을수록 중성선의 전류가 증가함을 확인하였다.
- g. 2단 장주의 경우, 3상의 부하 용량 비율 중 최대 부하용량의 합이 클수록, 최대 부하용량의 합을 나타내는 상이 많을수록 보다 큰 중성선 전류가 흐른다.

#### 2.4 벡터 해석에 의한 검증

배전장주 형태별 중성선 전류 값을 검증하기 위해 벡터해석법을 적용하였다. 다음 예는, 2단 장주에서 사례 1의 경우는 상, 하단에서 동일상에서 선로 임피던스가 변화한 경우이고, 사례 2의 경우는 상, 하단에서 서로 다른 상에서 선로 임피던스가 변화한 경우의 벡터 합을 비교한 것이다. 이 두 경우 등가회로 해석법에 의하여 중성선 전류를 계산한 결과 사례 1이 사례 2의 경우보다 중성선 전류가 거의 2배가 된다.

다음 그림 7은 2단 장주에서 사례 1의 합성 벡터를 나타낸 것이다. 또한, 다음 그림 8은 2단 장주에서 사례 2의 합성 벡터를 나타낸 것이다.

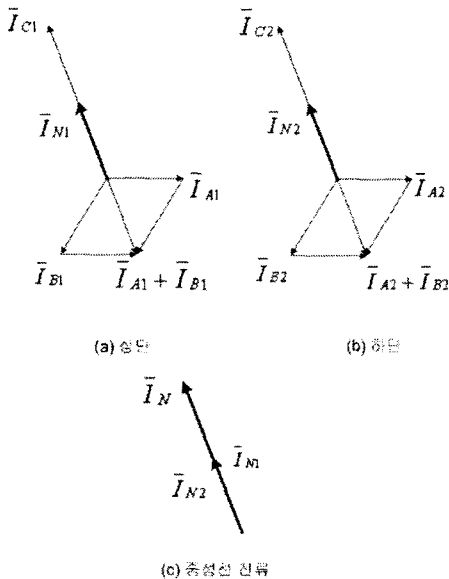


그림 7 2단 장주의 사례 1에서의 중성선 전류의 크기

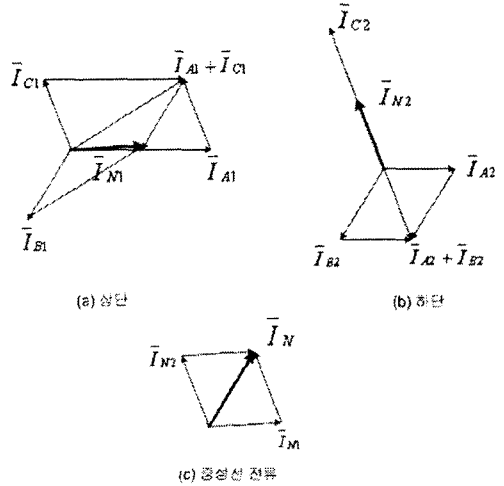


그림 8 2단 장주의 사례 2에서의 중성선 전류의 크기

2단장주의 사례 1과 2에서 3상 벡터합을 이용하여 중성선 전류의 크기를 구하였다. 다음 그림 9는 사례 1과 2의 중성선 전류를 직접적으로 비교한 것이다. 그림 9에서 알 수 있듯이, 2단장주에서 상, 하단에서 동일상에서 선로 임피던스가 변화할 경우는 중성선 전류가 2배가 된다. 그렇지만 상, 하단이 서로 다른 상에서 불평형이 발생한 경우에 대한 벡터 해석을 수행하면 중성선 전류가 2배가 되지 않음을 확인할 수 있다.

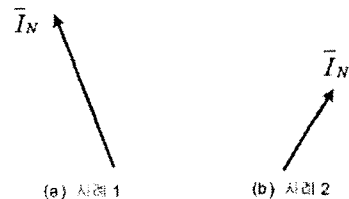


그림 9 사례 1과 사례 2의 중성선 전류의 크기 비교

### 3. 결 론

본 논문에서는 등가회로 해석 및 벡터해석에 의해 1단 장주, 2단 장주의 중성선 전류를 계산하였으며 이러한 이론적 해석 결과를 입증하기 위해 EMTP모의를 통하여 타당성을 입증하였다. 또한, EMTP 모의를 기반으로 1단 장주 및 2단장주의 중성선 전류에 대하여 여러 가지 경우를 시뮬레이션 하였으며 그 결과를 검토하였다. 가공 배전선의 유도전압 계산 시 적용하고 있는 배전선 중성선 전류의 장주 형태에 따른 영향을 비교 분석한 결과, 2단 장주의 경우 1단 장주에 비하여 중성선 전류가 반드시 2배가 되지 않음을 연구결과 확인하였다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] David E. Johnson, John L. Hilburn, Johnny R. Johnson, Peter D. Scott, "ELECTRIC CIRCUIT ANALYSIS", PRENTICE HALL.
- [2] "Alternative Transients Program ATP Rule Book", EEU G, Canadian/American EMTP User Group.