

## 2단장주 중성선 불평형 전류 계산

박건우, 김철환  
성균관대학교

### A Calculation of Unbalanced Current on Neutral Line in Two Step Type Pole

Keon-Woo Park, Chul-Hwan Kim  
Sungkyunkwan University

**Abstract** - The one step type pole and two step type pole are used in KEPCO's distribution system. The neutral current may occurs in three-phase four-wire distribution system due to unbalanced load. This paper presents neutral current both one step type pole and two step type pole in distribution system.

#### 1. 서 론

한국전력의 배전계통은 1단 장주와 2단 장주를 병행하여 사용하고 있다. 이때, 3상의 불평형으로 인해 중성선 전류가 증가하고, 이로 인해 통신선에 장애가 발생될 수 있다. 우리나라는 지형적인 영향으로 전력선과 통신선이 인접해서 설치되는 경우가 많다. 전력선과 통신선이 근접해있을 경우, 통신선에 전압 및 전류가 유도되어 정전유도, 전자유도, 고조파 유도와 같은 장애를 초래하게 된다.

본 논문에서는 1단 장주와 2단 장주로 구성된 한국전력의 실배전 계통인 '수색 S/S 모연 D/L' 구간과 '수색 S/S 연회 D/L' 구간을 EMTP 모의 기법을 이용하여 중성선 전류를 계산하였다.

#### 2. 본 론

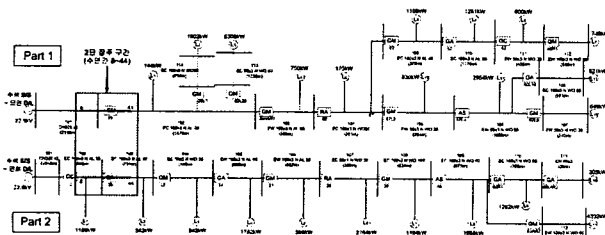
##### 2.1 모델 계통

본 논문에서 부하 불평형에 대한 중성선 전류를 계산하기 위한 한진 실배전 계통은 '수색 S/S 모연 D/L' 구간과 '수색 S/S 연회 D/L' 구간으로 다음 그림 1과 같다. 이 구간에서 '수연간 8~44'구간이 2단 장주 형태로 구성되어 있으며, 나머지 구간은 1단 장주로 구성되어 있다.

본 논문에서 상단부분에 위치한 '수색 S/S 모연 D/L' 구간을 Part 1로 정의하고, 하단 부분에 위치한 '수색 S/S 연회 D/L' 구간을 Part 2로 정의하였다. 모델 계통 중 Part 1에는 부하가 총 13개로 구성되어 있고, 이 부하들을 각각 Part1-L1, Part1-L2, ..., Part1-L13등으로 정의 하였다. Part 2에서는 부하가 총 11개로 구성되어 있고, 이 부하들 역시 각각 Part2-L1, Part2-L2, ..., Part2-L11등으로 정의 하였다. Part 1과 Part 2에 연결된 부하는 총 24개이고, 모두 3상 부하로 구성되어 있다.

##### 2.2 EMTP로 구현한 모델계통

한국전력의 모델계통에서 배전장주 형태에 따른 중성선 전류의 영향 및 변화를 확인하기 위하여 4가지 종류의 (CASE-1, CASE-2, CASE-3, CASE-4) 모델을 구현하였다. CASE-1은 '수색 S/S 모연 D/L' 구간과 '수색 S/S 연회 D/L' 두 구간을 전체적으로 구현한 모델이다. CASE-2는 CASE-1에서 '수색 S/S 모연 D/L' 구간만 구현한 모델이고, CASE-3은 CASE-1에서 '수색 S/S 연회 D/L' 구간만 구현한 모델이다. 즉, 본 논문의 주관심대상인 2단 장주로 구성되어 있는 '수연간 8~44'구간을 분리하여 1단 장주로 시뮬레이션 함으로서, 1단 단주와 2단 장주의 중성선 전류 변화를 살펴보고자 CASE-2와 CASE-3을 구현한 것이다. CASE-4는 CASE-1과 전체 모델계통은 동일하지만, CASE-1에서는 2단 장주의 상·하단의 중성선 접지점을 공유하지 않은 모델계통이며, CASE-4는 2단 장주의 상·하단의 중성선 접지점을 공유시킨 모델계통이다.



〈그림 1〉 배전계통 모델

##### 2.2.1 부하 모델링

3상이 평형을 유지하기 위해서는 3상의 부하 용량이 같아야 하므로, 부하

임피던스는 다음 식 (1)과 같이 계산 할 수 있다. 식 (1)에서 추계(Autumn Season)의 전력 사용량을 하계 최대 부하의 30%로 가정하여 전력을 계산하였고, 역률은 0.9로 가정하여, 다음 식 (2)와 같이 부하 임피던스를 계산 하였다.

$$Z_{load} = \left( \frac{V_{LL}^2}{P} \right) \times \cos \theta \quad (1)$$

$$Z_{load(Autumn)} = \left( \frac{V_{LL}^2}{P \times 0.3} \right) \times 0.9 \quad (2)$$

##### 2.2.2 선로 모델링

EMTP에는 선로의 길이에 따라, 집중정수 선로모델, T 등가모델,  $\pi$ 등가 모델 및 분포정수 선로모델 등 여러가지 선로모델들이 있다. 모델 배전계통은 단거리 선로에 해당하므로, 단거리 선로에서는 다음 그림 2와 같은 집중정수 선로 모델을 사용하였다. 따라서, EMTP-ATPDraw에서 집중정수 선로 중 대칭분 값으로 입력할 수 있는 컴포넌트를 사용하여 선로 임피던스를 입력하였다.



〈그림 2〉 집중정수 선로 모델 컴포넌트

##### 2.3 중성선 전류 계산

##### 2.3.1 CASE-1, CASE-2, CASE-3의 중성선 전류 계산

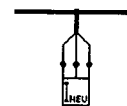
중성선 전류를 계산하기 위하여, EMTP MODELS를 이용하였다. MODELS는 3상의 전류를 입력으로 받는다. 중성선 전류를 구하기 위하여 3상의 전류를 다음 식 (3)과 같이 합한 다음, 그 값의 실효치를 식 (4)와 같이 구하도록 구현되었다.

$$I_N = I_A + I_B + I_C \quad (3)$$

$$RMS I_N = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_N^2 dt} \quad (4)$$

RMS  $I_N$  = 중성선 전류의 실효치

다음 그림 3은 중성선 전류의 계산을 MODELS로 구현한 후 ATPDraw와 연계한 컴포넌트이다.



〈그림 3〉 1단장주 중성선 전류 계산을 위한 컴포넌트

##### 2.3.2 CASE-4의 중성선 전류 계산

CASE-4는 상·하단이 중성선의 접지점을 공유하고 있다는 가정하에 중성선 전류를 계산하였다.

CASE-4의 Part 1과 Part 2에서 '수연간 8~44'구간 양단의 중성선 전류를 측정하여, 각 구간의 중성선 전류를 그림 4와 같이 MODELS를 이용하여 구하였고, 그 계산식은 다음 식 (5), (6), (7), (8)과 같다.

$$I_{N1} : I_{A1} + I_{B1} + I_{C1} \quad (5)$$

$I_{N1}$  : Part 1에서의 중성선 전류의 순시치

$$I_{N2} : I_{A2} + I_{B2} + I_{C2} \quad (6)$$

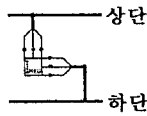
$I_{N2}$  : Part 2에서의 중성선 전류의 순시치

$$I_{NEU} = I_{N1} + I_{N2} \quad (7)$$

$I_{NEU}$  : 상단과 하단의 중성선이 공통 접지된 중성선 전류의 순시치

$$RMS I_{NEU} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_{NEU}^2 dt} \quad (8)$$

RMS  $I_{NEU}$  :  $I_{NEU}$ 의 실효치

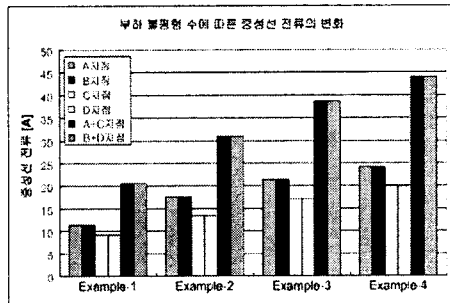


〈그림 4〉 2단장주 중성선 전류 계산을 위한 컴포넌트

## 2.4 부하 임피던스가 불평형일 경우의 중성선 전류 계산 시뮬레이션

### 2.4.1 상·하단의 부하 불평형 비율이 같은 경우

본 논문의 주 목적인 2단 장주 부분으로 구성된 '수연간 8~44'구간의 중성선을 중심으로 모의하였으며, 시뮬레이션은 각 Part의 가장 큰 부하부터 차례로 4개의 부하만 선정하여 모의하였고, 불평형 비율이 30%를 넘지 않아야 한다는 조건을 고려하여 부하 임피던스의 불평형 비율 '1.35:1.2:1.0'으로 가정하여, 각 CASE에 따라 이러한 비율로 A, B, C상을 변화시키면서 모의하였다. 따라서, Part 1에서 부하 L3, L11, L2, L7을 불평형 비율에 맞추어 변화시키면서 모의하였으며, Part 2에서 선정한 부하 L11, L8, L4, L9를 변화시키면서 모의하였다. 이 4가지 경우를 각각 Example-1, 2, 3, 4로 정의하였다. 부하 불평형 조건을 고려하여, CASE-1, CASE-2, CASE-3, CASE-4의 모델계통을 이용하여 시뮬레이션 한 후, 중성선 전류를 계산하였다. 다음 그림 5는 부하 불평형 수에 따른 중성선 전류의 변화를 나타낸 그래프이다.



〈그림 5〉 부하 불평형 수에 따른 중성선 전류의 변화

그림 5에서 각 측정 지점 별로 분석한 결과 Example-4에서의 중성선 전류가 가장 크며, 그 다음으로 Example-3, Example-2의 경우가 중성선 전류가 큰 것을 알 수 있다. 따라서, 부하 불평형인 부하의 개수가 많을수록 중성선 전류가 증가한다.

### 2.4.2 상·하단의 부하 불평형 비율이 다른 경우

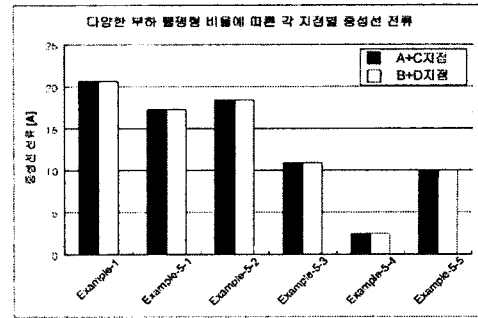
이번 시뮬레이션은 상·하단에서 각 상의 불평형 비율이 다양하게 변화되는 경우에 CASE-4를 모의하였으며, 이를 Example-5라고 정의 하였고, Example-1과 중성선 전류를 비교하였다. Example-1~Example-4는 상단과 하단의 부하 임피던스의 불평형 비율을 같게 하였지만, Example-5에서는 상·하단의 부하 임피던스의 불평형 비율이 다음 표 1과 같이 다르게 모의하였다.

〈표 1〉 Example-5의 각 상의 부하 불평형 비율

Example-5	영역	부하	각 상의 비율 (A:B:C)
Example-5-1	Part 1	L3	1.35:1.2:1
	Part 2	L11	1.35:1:1.2
Example-5-2	Part 1	L3	1.35:1.2:1
	Part 2	L11	1.2:1.35:1
Example-5-3	Part 1	L3	1.35:1.2:1
	Part 2	L11	1.2:1:1.35
Example-5-4	Part 1	L3	1.35:1.2:1
	Part 2	L11	1:1.2:1.35
Example-5-5	Part 1	L3	1.35:1.2:1
	Part 2	L11	1:1.35:1.2

중성선 접지점 공유시 상·하단의 부하 불평형 비율에 따른 중성선 전류

크기를 비교하기 위하여 상·하단의 비율이 같은 Example-1을 기준으로 Example-5-1~5의 A+C지점과 B+D지점의 중성선 전류 크기를 비교 하였으며, 그 결과는 다음 그림 6과 같다.



〈그림 6〉 다양한 부하 불평형 비율에 따른 각 지점별 중성선 전류

그림 6은 부하 불평형 비율이 상단은 고정된 채, 하단에서 변화하는 경우이다. 그림 6에서 알 수 있듯이, Example-1의 경우가 가장 큰 것을 알 수 있다. 이 경우는 상단과 하단 모두에서 어느 특정 상에서 부하 불평형이 가장 심하게 일어난 경우, 즉 A, B, C 상 순으로 상단에서 1.35:1.2:1, 하단에서 1.35:1.2:1로 부하 불평형이 발생한 경우이다. 따라서 상, 하단에서 동일상에서 부하 불평형 비율이 가장 큰 경우 불평형율이 가장 큰 것을 알 수 있다. 그 다음으로 큰 경우는 Example-5-2이고 그 다음은 Example-5-1인 것을 알 수 있다. Example-5-2는 어느 특정상에서 부하 불평형 비율의 조합이 2.55가 어느 두 상에서 나타난 경우임을 알 수 있고, Example-5-1은 어느 특정상에서 부하 불평형 비율이 어느 한 상에서 2.7을 나타낸 경우이다. 또한, 다음으로 큰 경우는 Example-5-3 및 Example-5-5인 것을 알 수 있다. 이 두 가지 경우는 어느 특정상에서 부하 불평형 비율의 조합이 2.55 및 2.35를 동시에 나타내는 경우이고, 가장 작은 경우는 Example-5-4로서 부하 불평형 비율의 조합이 2.4를 나타내는 경우이다. 따라서, 어느 특정상에서의 부하 불평형 비율의 조합이 높을수록 중성선 전류의 크기가 크다고 할 수 있다.

상·하단에서 부하 불평형 비율이 동일상에서 같은 경우, 중성선 전류의 크기가 상단과 하단의 Scalar합으로 나타난다. 그렇지만, 상·하단의 부하 불평형 비율이 서로 다른 경우에는 2단 장주가 중성선 접지점을 공유하더라도 중성선 전류의 크기가 반드시 상단과 하단의 Scalar합으로 나타나지 않음을 그림 6에서 확인할 수 있다.

이는 중첩의 원리 및 Vector해석 결과 서로 각 단의 중성선 전류가 서로 상쇄되기 때문이다. 한편, 실질적으로 현장의 각 상의 부하는 여러 가지로 다양하게 불평형 상태를 이루고 시시각각 변화하므로, 상단과 하단이 동일하게 큰 부하 불평형 상태가 발생할 확률은 극히 적다. 다시 말해서, 중성선을 공유여부에 관계없이 중성선 전류가 1단 장주의 Scalar합으로 나타날 확률은 매우 희박하다.

## 3. 결 론

본 연구에서는 배전선로에서 중성선 공유시 유도장해를 일으키는 기유도 전류인 중성선 전류의 중첩여부를 모의하고자 EMTP를 이용하여 해석해 보았으며, 주요 결과는 다음과 같다.

- ① 2단 장주로 구성된 배전계통에서 2단 장주의 각 중성선 접지점을 공유하지 않는다면 중성선 전류의 크기는 상단과 하단을 별개로 해석한 것과 동일하다.
- ② 상단 및 하단 선로의 상별 불평형 비율이 다를 경우에는 공유 중성선의 전류는 감소한다. 그러나 어느 특정 상에서의 부하 불평형 비율의 조합이 커진다면 중성선 전류는 증가할 수 있다.
- ③ 부하 불평형인 부하의 개수가 많을수록 중성선에 흐르는 전류는 증가한다.

## [참 고 문 헌]

- [1] "Alternative Transients Program ATP Rule Book", EEUG, Canadian/American EMTP User Group.