

# 한전 실 배전계통 모델을 이용한 1단 장주 중성선 전류 계산

論 文
56-1-6

## Neutral Current Calculation of the One Step Type Pole using KEPCO's Distribution System

徐 熏 徹<sup>†</sup> · 朴 乾 祐<sup>\*</sup> · 金 喆 煥<sup>\*\*</sup> · 鄭 昌 守<sup>\*\*\*</sup> · 柳 然 杓<sup>§</sup> · 林 勇 勳<sup>§§</sup> · 俣 溢 鎬<sup>§§§</sup>  
(H. C. Seo · K. W. Park · C. H. Kim · C. S. Jung · Y. P. Yoo · Y. H. Lim · I. H. Seol)

**Abstract** - The one step type and two step type pole are used in distribution line. If the three phases are not balanced, the communication line can be damaged by induced voltage.

This paper calculates the neutral current using KEPCO's distribution system model which is only composed by one step type pole. The used system model is modelled by using ATPDraw and the neutral current is calculated by using EMTP/MODELS. Many cases for abstracting the neutral current characteristics in KEPCO's distribution system are simulated and analyzed.

**Key Words** : Neutral Current, One step type pole, Distribution system, ATPDraw, Unbalanced rate

### 1. 서 론

전력계통의 배전 선로에 1단 장주 및 2단 장주를 사용하고 있다. 각 장주에서 3상의 불평형으로 인하여 중성선 전류가 흐른다면 통신선에 유도현상으로 인하여 통신선에 유도장해를 발생시킬 수 있다. 현재, 중성선 전류 해석기법으로 등가회로 해석, 벡터해석, EMTP 모의 기법이 개발되었다[1].

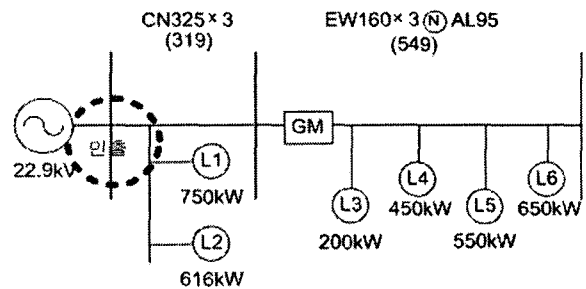
본 논문에서는 참고문헌 [1]에서 개발된 기법을 토대로 1단장주로 구성된 'X S/S Y D/L'의 한전 실계통 모델을 ATPDraw를 이용하여 모델링한 후 중성선 전류를 계산하였다. 실계통 모델에서의 중성선 전류의 특성을 추출하기 위하여 여러 가지 모의조건에 대하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 그 결과는 전기설비 기술기준에 제시된 불평형율을 토대로 분석되었다.

### 2. 모델 계통

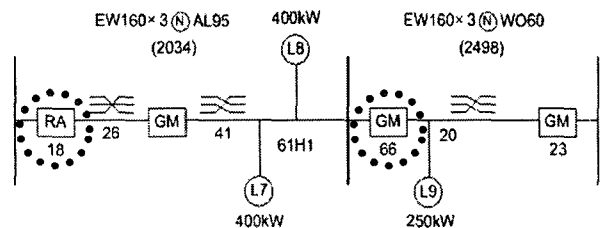
#### 2.1 모델 계통

중성선 전류를 모의하기 위한 실제 배전계통은 X S/S Y

D/L로서 다음 그림 1과 같다. 모델계통에는 L1, L2, ..., L11 등으로 표시된 부하가 총 11곳에 연결되어 있고 11개 부하 모두 3상 부하이다. 또한, 그림 1의 26, 41 및 20등 3지점에서 선로가 연가되어 있다. 그림 1에서 인출, 18, 68, 35, 47로 표시되어 있는 지점은 상전류 및 중성선 전류의 측정지점이다. 이렇게 선정한 근거는 실제 산업현장에서 이 지점에서 상전류를 측정하여 불평형율을 구하기 때문에, 중성선 전류 계산 시 실제와 조건을 같게 하기 위해서이다.



(a) 모델 계통의 Part 1



(b) 모델 계통의 Part 2

† 교신저자, 正會員 : 基礎電力研究員 電力시스템研究室 研究員  
E-mail : hunchul12@snu.ac.kr

\* 正會員 : 成均館大 大學院 電子電氣工學科

\*\* 正會員 : 成均館大 情報通信工學部 教授 · 工博

\*\*\* 正會員 : 한국전력공사 전자통신처

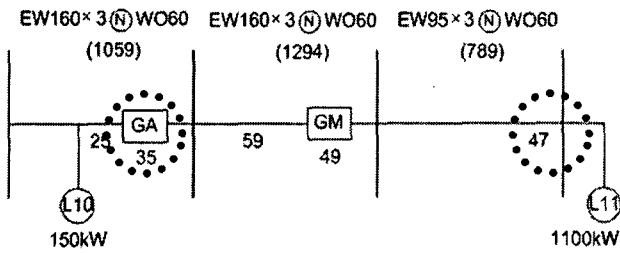
§ 正會員 : 한국전력공사 포항지점 배전운영 부장

§§ 正會員 : 한전전력연구원 전력통신그룹

§§§ 正會員 : 한국전력공사 전북지사

接受日字 : 2006年 9月 11日

最終完了 : 2006年 10月 26日



(c) 모델 계통의 Part 3

비고 : ⇒ 중성선 전류 및 상전류 측정 지점

그림 1 3부분으로 구분한 실 배전계통 모델

Fig. 1 KEPCO's distribution system model

### 2.2 계통 파라미터

그림 1의 모델계통에서의 선종별 파라미터는 다음 표 1과 같다.

표 1 선종별 대칭분 임피던스

Table 1 The symmetric impedance for each line

선 종 \ 대칭분 임피던스	정상, 역상 임피던스	영상 임피던스
CN325x3	0.086909+ j0.095433	0.110899+ j0.064709
EW160x3(N)AL95	0.18230+ j0.39005	0.455533+ j1.19897
EW160x3(N)WO60	0.183299+ j0.390052	0.447452+ j1.215660
EW95x3(N)WO60	0.302249+ j0.414386	0.566403+ j1.239990

### 3. EMTP의 ATPDraw를 이용한 모델링

#### 3.1 부하

그림 1의 11개 부하는 3상부하이다. 3상이 평형을 유지하기 위해서는 3상의 부하 용량이 같아야 한다. 따라서, 각 상에서의 부하 임피던스 값은 다음 식 (1)과 같이 계산된 값을 ATPDraw에서 부하 임피던스로 입력한다. 식 (1)에서 역률  $\cos\theta$ 는 1로 가정하고 부하 임피던스를 계산하였다.

$$Z_{load} = \frac{(V_{LL})^2}{P} \cos\theta = \frac{(22.9kV)^2}{P} \cos\theta$$

or

$$Z_{load} = \frac{(V_p)^2}{\frac{P}{3}} \cos\theta = \frac{(\frac{22.9kV}{\sqrt{3}})^2}{\frac{P}{3}} \cos\theta \quad (1)$$

#### 3.2 선로

단거리 선로에서는 그림 2와 같은 집중정수 선로 모델을 사용한다. 따라서, ATPDraw에서 집중정수 선로 중 대칭분 값으로 입력할 수 있는 컴포넌트를 사용하여 선로 임피던스를 입력하였다. 그림 3의 왼쪽 메뉴의 RO, LO에서 저항 및 인덕턴스의 영상분 임피던스를 입력하고 R+, L+에는 저항 및 인덕턴스의 정상분 임피던스를 입력하였다. 또한 그림 3의 오른쪽 메뉴의 Node, Phase, Name 에 모델계통의 좌측 입력 Node는 "IN1"로, "BAC"는 3상의 배열순서를 그리고, "X0001"은 ATPDraw 모의 계통에서 사용한 선로명을 각각 나타내고 있다. 그리고, 우측 출력 Node는 "OUT1" 로, "BAC" 는 3상의 배열 순서를 나타내며, "X0318"은 모의 계통의 출력 선로명을 나타낸다.



그림 2 집중정수 선로 모델 컴포넌트

Fig. 2 The component of lumped series line model

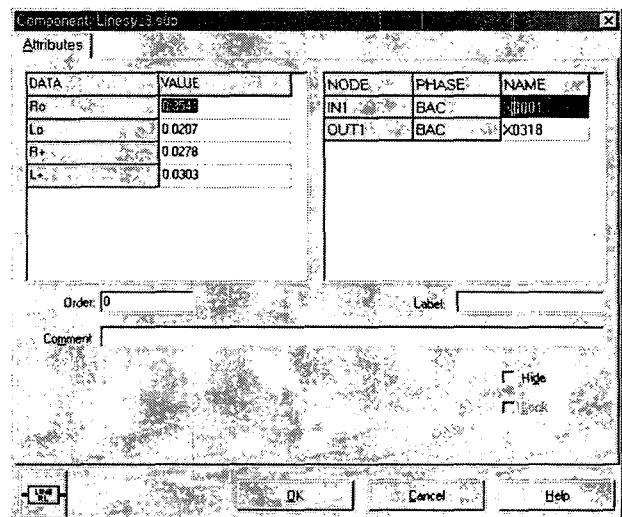


그림 3 선로정수 입력 화면

Fig. 3 The screen of line parameter input

#### 3.3 연가

ATPDraw에서 연가를 하기 위한 컴포넌트는 다음 그림 4와 같다. 이 중에서 적절한 컴포넌트를 사용하여 연가를 모델링 할 수 있다.

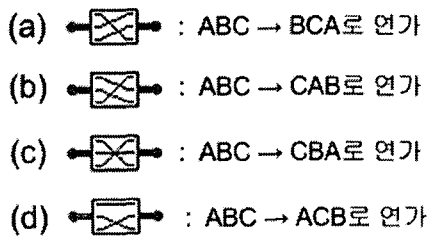


그림 4 ATPDraw에서의 연가 컴포넌트  
 Fig. 4 Transposition component in ATPDraw

3.4 중성선 전류의 계산

중성선 전류를 계산하기 위하여 EMTP 프로그램의 프로 그램 가능 모델인 EMTP MODELS를 이용하였다. MODELS에서 3상의 전류를 입력으로 받아서 중성선 전류를 구하기 위하여 3상의 전류를 다음 식(2)와 같이 합한 후 식 (3)과 같이 실효치를 계산하도록 구현하였다.

'IN=IA+IB+IC'로 구현한 후 ATPDraw에서 MODELS를 불러와서 중성선 전류를 측정하도록 하였다. MODELS에서 전류는 브랜치의 전류를 입력해야 하므로 스위치 다음에 MODELS를 연결해야 한다. 따라서, ATPDraw에서 중성선 전류 계산 부분을 다음 그림 5와 같이 표시하였다.

IA의 순시치 : IA  
 IB의 순시치 : IB  
 IC의 순시치 : IC  
 IN=IA+IB+IC 이며, (2)

$$RMS\ IN = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_N^2 dt} \quad (3)$$

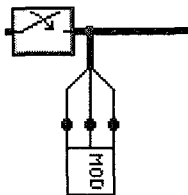


그림 5 ATPDraw에서 MODELS의 사용  
 Fig. 5 Use of MODELS in ATPDraw

4. 불평형인 경우의 중성선 전류 계산을 위한 시뮬레이션 조건

모델 계통에서 부하는 전체 11개가 존재한다. 각 부하에 대하여 변화 시키면서 모의하기에는 모의할 양이 너무 많기 때문에, 특성 추출을 고려하여 4가지 경우로 구분하여 모의하기로 가정한다. 또한, 모든 경우에 대하여 부하 불평형 비는 1.35:1.2:1로 하며, Case에 따라 이러한 비율을 a, b, c 상을 변화시켜 모의하였다.

우선, 모델 계통을 중성선 전류의 측정점을 기준으로 하여 다음 그림 6과 같이 4개의 영역으로 나눈 후, 각 영역에서 하나의 부하를 선택하여 변화시키도록 한다. 또한, 이 때

선택된 각 영역에서는 부하 용량이 가장 큰 것을 선정하는데, Zone1에서는 L1 부하, Zone2에서는 L7 부하, Zone3에서는 L9 부하, Zone4에서는 L11 부하를 선택하도록 한다.

특성 추출을 고려하여 그림 6의 모델계통에서 부하 불평형이 발생할 수 있는 조건을 다음과 같이 나눌 수 있다.

- A. 4가지 영역 중 하나의 영역에서만 부하 불평형이 발생한 경우
- B. 4가지 영역 중 두 가지 영역에서 부하 불평형이 발생한 경우
- C. 4가지 영역 중 세 가지 영역에서 부하 불평형이 발생한 경우
- D. 4가지 영역 모두에서 부하 불평형이 발생한 경우

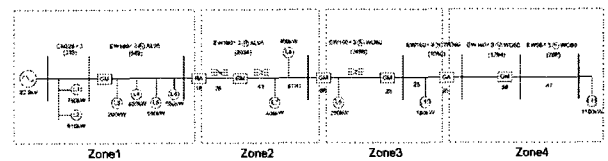


그림 6 모델 계통을 중성선 전류의 측정점을 기준으로 구분한 도면

Fig. 6 The model system classified by the measurement location of neutral current

본 논문에서는 위의 4가지 조건 중 A, B의 경우에 대하여 모의하였다. A의 경우에 Zone1에서 불평형이 발생한 경우를 A-1, Zone2에서 불평형이 발생한 경우를 A-2, Zone3에서 불평형이 발생한 경우를 A-3, Zone4에서 불평형이 발생한 경우를 A-4로 명명하기로 하며, B의 경우에 Zone1과 Zone2에서 불평형이 발생한 경우를 B-1, Zone1과 Zone3에서 불평형이 발생한 경우를 B-2, Zone1과 Zone4에서 불평형이 발생한 경우를 B-3, Zone2과 Zone3에서 불평형이 발생한 경우를 B-4, Zone2과 Zone4에서 불평형이 발생한 경우를 B-5, Zone3과 Zone4에서 불평형이 발생한 경우를 B-6로 명명하기로 한다.

5. 비교분석

각 조건에 대하여 중성선 전류 계산을 수행하였다. 여러 조건에 대한 계산 결과를 분석하는 것이 필요하다. 따라서, 불평형율을 이용하기로 한다. 불평형율은 전기설비기술기준에 의하여 다음 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$\text{설비불평형율} = \frac{\text{각 선간에 접속되는 단상부하 총 설비용량의 최대와 최소의 차}}{\text{총부하 설비용량의 1/3}} \times 100 \quad (4)$$

각 측정지점에서 각 선간에 접속되는 단상부하 총 설비용량을 알 수 없다. 그렇지만, 각 측정지점에서 상전류는 알 수 있다. P=VI에서 부하용량은 전류에 비례하므로, 본 논문에서는 식 (4)를 다음 식 (5)와 같이 수정하여 계산하여 불평형율을 계산하였다.

$$\text{불평형율} = \frac{3\text{상전류중 최대와 최소의 차}}{3\text{상의 전류합의 } 1/3} \times 100 \quad (5)$$

다음은 실제 X S/S Y D/L에서 식 (5)와 같이 불평형율을 계산한 예이다. 한전의 배전자동화 기기에서 실제 측정 한 결과 부하 불평형 시정 전 Y D/S인출에서 A상의 전류는 80, B상의 전류는 102, C상의 전류는 79이고, 불평형율은 26.4%이다. 여기에서 3상의 전류에 대하여 식 (5)와 같이 계산하면 다음 식 (6)과 같다.

$$\text{불평형율} = \frac{102-79}{(80+102+79)/3} \times 100 = 26.4\% \quad (6)$$

따라서, 부하용량대신 3상의 상전류로 불평형율을 계산하여도 그 결과 역시 동일함을 알 수 있다.

### 5.1 4가지 영역 중 1가지 영역에서 부하 불평형이 발생한 경우

#### 5.1.1 부하 불평형 비율에 따른 불평형율

하나의 영역에서만 불평형이 발생한 경우에 대하여 부하 불평형 비율에 따른 비교 분석 결과는 다음과 같다.

- 3상 중 어느 특정상에서 부하 불평형 비율이 높은 것과 상관없이 3상의 부하 불평형 비율이 같다면 불평형율 또한 같다.

#### 5.1.2 측정지점에 따른 분석

각 측정지점에 따른 불평형율을 분석하면 다음과 같다.

- Zone1에서만 불평형이 발생한 경우는 가까운 지점인 측정점 1에서 불평형율이 가장 크다.
- Zone2에서만 불평형이 발생한 경우 가까운 지점인 측정점 2에서 불평형율이 가장 크다.
- Zone3에서만 불평형이 발생한 경우 가까운 지점인 측정점 3에서 불평형율이 가장 크다.
- Zone4에서만 불평형이 발생한 경우 가까운 지점인 측정점 4,5에서 불평형율이 가장 크다.

a, b, c, d의 결과에서 하나의 영역에서 불평형이 발생한 경우 그 영역에서 가장 가까운 지점에서 불평형율이 가장 크다고 할 수 있다.

또한, 부하 불평형을 전원단에서 가까운 곳에서 먼곳으로 모의시켜 본 결과, 부하 불평형 발생 위치가 전원단에서 멀어질수록 불평형율이 증가하는 경향이 나타났다. 즉, 전원단에서 가장 먼 Zone4에서 부하 불평형이 발생한 경우의 불평형율이 가장 큰 것을 알 수 있다.

### 5.2 4가지 영역 중 2가지 영역에서 부하 불평형이 발생한 경우

4가지 영역 중 2가지 영역에서 부하 불평형이 발생한 경우에 대하여 분석 가능한 조건은 다음과 같다.

- 부하 불평형 비율에 따른 불평형율
- 불평형 위치에 따른 불평형율
- 측정 지점에 따른 불평형율

#### 5.2.1 부하 불평형 비율에 따른 불평형율

각 Case B-(1~6)-(1~6)에 대하여 어떤 Case가 대체로 불평형율이 높은 경우가 많은지 통계를 내보았고, 그 결과는 다음 표 2와 같다. 표의 숫자는 모든 Case B-(1~6)에 대하여 각 측정지점에서 불평형율이 가장 높았던 횟수이다.

표 2 모든 Case에 대하여 각 측정지점에서 불평형율이 가장 높았던 횟수 통계

Table 2 The statistics of numbers which show up the highest unbalanced rate in each measurement point for all cases

측정지점 \ Case	Case B-(1~6)	Case B-(1~6)	Case B-(1~6)	Case B-(1~6)	Case B-(1~6)	Case B-(1~6)
	-1	-2	-3	-4	-5	-6
측정지점1	1	3	5	1	3	5
측정지점2	0	4	4	3	2	3
측정지점3	4	3	5	1	3	2
측정지점4	4	0	3	3	6	2
측정지점5	4	0	3	3	6	2
합 계	13	10	20	11	20	14

표 2에서 보면 Case B-(1~6)-3과 Case B-(1~6)-5의 경우가 가장 높고, Case B-(1~6)-6의 경우가 불평형율이 다음으로 높다. Case B-(1~6)-3과 Case B-(1~6)-5의 경우는 부하 불평형 비율 1:1.35:1.2에 대하여, 각각 1.2:1:1.35, 1:1.35:1.2인 경우이다. B-(1~6)-5의 경우는 동일상에서 부하 불평형 비율이 2.7(1.35+1.35)인 경우가 존재하는 경우이고, Case B-(1~6)-3인 경우는 부하 불평형 비율의 조합이 2.55(1.35+1.2)가 존재하는 경우이다. 다음으로 경우의 수가 높은 Case B-(1~6)-6의 경우는 1:1.2:1.35인 경우는 부하 불평형 비율의 조합이 2.55가 존재하는 경우이다. 그 다음으로 경우의 수가 높은 Case B-(1~6)-1인 경우는 1.35:1.2:1인 경우로 이 경우 역시 부하 부하 불평형 비율의 조합이 2.55가 존재하는 경우이다.

이를 토대로 특정상에서 부하 불평형 비율의 합이 높을수록 불평형율이 높다는 결론을 이끌어 내기에는 무리가 있다. Case B-(1~6)-5에 대해서는 Case B-(1~6)-4에서 역시 부하 불평형 비율의 조합이 합이 2.7인 경우가 존재하기 때문이다. 그렇지만 대체로 부하 불평형 비율의 조합의 합

이 큰 경우가 많을수록 불평형율이 높은 것을 확인할 수 있다.

따라서, 대체로 동일상에서 부하 불평형 비율의 조합의 합이 큰 경우가 많을수록 불평형율이 높은 경향이 있다고 할 수 있다.

### 5.2.2 불평형 위치에 따른 불평형율

불평형 위치에 따른 불평형율을 분석하기 위한 대조군은 다음과 같이 선정할 수 있다.

- ① B-1(Zone1, Zone2), B-2(Zone1, Zone3), B-3(Zone1, Zone4)
- ② B-4(Zone2, Zone3), B-5(Zone2, Zone4)

위의 ①번에서 Zone1의 부하 불평형은 3가지 경우 모두에 대하여 3상이 A:B:C = 1:1.35:1.2이다. ②번 역시 Zone2의 부하 불평형은 2가지 모두에 대하여 3상이 A:B:C = 1:1.35:1.2이다. 따라서, ①번에서 Zone2, Zone3, Zone4의 3상 부하 불평형 비율이 모두 같다면, 불평형 위치에 따른 불평형율을 비교가 가능하다. ②번의 경우 역시 마찬가지로 Zone3, Zone4의 3상 부하 불평형 비율이 같다면, 불평형 위치에 따른 불평형율을 비교가 가능하다. 여기에서는 각 불평형 비율이 1:1.35:1.2, 1.35:1.2:1인 경우를 선정하여 비교분석을 수행하였으며, 그 결과 도출할 수 있는 불평형 위치에 따른 경향은 다음과 같다.

- 부하 불평형의 위치가 전원단에서 멀어질수록 불평형율이 커진다.

### 5.2.3 측정지점에 따른 불평형율

측정지점에 따른 불평형율 비교분석 결과를 요약하면 다음과 같다.

- a. Zone1과 Zone2에서 부하 불평형이 발생한 경우 이 사이의 측정지점인 측정지점 1에서 불평형율이 가장 크고, 측정지점 2에서 그 다음으로 크다.
- b. Zone1과 Zone3에서 부하 불평형이 발생한 경우 이 사이의 측정지점 중 측정지점 3에서 불평형율이 가장 크고, 그 다음으로 측정지점 1이 가장 크다.
- c. Zone1과 Zone4에서 부하 불평형이 발생한 경우 이 사이의 측정지점 중 측정지점 4, 5에서 불평형율이 가장 크다.
- d. Zone2와 Zone3에서 부하 불평형이 발생한 경우 이 사이의 측정지점인 측정지점 2, 3에서 불평형율이 가장 크다.
- e. Zone2과 Zone4에서 부하 불평형이 발생한 경우 이 사이의 측정지점 중 측정지점 4, 5에서 불평형율이 가장 크다.
- f. Zone3과 Zone4에서 부하 불평형이 발생한 경우 이 사이의 측정지점 중 측정지점 4, 5에서 불평형율이 가장 크다.

위의 결과 중 a와 d에서 부하 불평형 발생 영역에서 가장 가까운 측정지점에서 불평형율이 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 부하 불평형 발생 영역에서 가장 가까운 지점이 직접적으로 영향을 많이 받기 때문이다. 또한 b, c, e, f의 경우에서 알 수 있듯이 영향을 받는 정도가 같을 경우 측정지점이 전원측으로부터 먼 지점일수록 불평형율이 높게 나타난다고 할 수 있다.

### 5.3. 모의 결과 검토

5.1~5.2절의 결과를 토대로 하여 도출할 수 있는 전체적인 경향은 다음과 같다.

- ① 여러 부하 중 하나의 부하에서만 불평형이 발생한 경우 3상 중 어느 특정상에서 부하 불평형 비율이 높은 것과 상관없이 3상의 부하 불평형 비율이 같다면 중성선 전류 또한 같고 따라서 불평형율 또한 같다.
- ② 두 가지 이상의 영역에서 부하 불평형이 발생하여 중성선 전류가 흐를 경우에 동일 상에서 부하 불평형 비율의 조합이 높은 경우가 많을수록 불평형율이 높아지는 경향이 있다.
- ③ 부하 불평형의 위치가 전원단에서 멀어질수록 불평형율이 커진다.
- ④ 부하 불평형 발생 영역에서 가장 가까운 측정지점이 불평형율이 높다.
- ⑤ 각 측정지점이 부하 불평형의 영향을 받는 정도가 같을 경우 측정지점이 전원측으로부터 먼 지점일수록 불평형율이 높게 나타난다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 X S/S Y D/L의 실 배전계통 모델을 이용하여 중성선 전류를 계산하였다. 실 배전계통 모델을 ATPDraw를 이용하여 모델링 한 후 여러 가지 모의조건표를 구성하여 중성선 전류를 계산하였다. 그 계산 결과를 토대로 비교분석을 수행하였으며, 그 결과는 상기 5.3절에 제시되었다.

이러한 중성선 전류 계산 결과 및 실제계통에서의 불평형율 경향 분석 결과는 상시유도저감 대책 수립에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

[1] David E. Johnson, John L. Hilburn, Johnny R. Johnson, Peter D. Scott, "ELECTRIC CIRCUIT ANALYSIS", PRENTICE HALL.

저 자 소 개



**서 훈 철 (徐 薰 徹)**

1982년 1월 19일생. 2004년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2006년 동 대학원 박사과정 입학. 현재 기초전력연구원 전력시스템연구실 연구원

Tel : 02-880-7587  
Fax : 02-883-0827  
E-mail : hunchul12@snu.ac.kr



**유 연 표 (柳 然 杓)**

1959년 1월 4일생. 1986년 광운대 전기공학과 졸업. 1987년 한국전력공사 입사. 2005년 ~현재 한국전력공사 전자통신처 전력유도팀 과장

Tel : 02-3456-5341  
E-mail : youyp@kepco.co.kr



**박 건 우 (朴 乾 祐)**

1979년 2월 19일생. 2005년 안양대학교 전기전자공학과 졸업. 현재 성균관대학교 대학원 전자전기공학과 석사과정.

Tel : 031-299-4630  
Fax : 031-290-7955  
E-mail : nsdap@naver.com



**임 용 훈 (林 勇 勳)**

1968년 8월 26일생. 1996년 건국대학교 전자공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전자공학과 졸업. 현재 전력연구원 전력통신그룹 선임연구원

Tel : 042-865-5973  
Fax : 042-865-5994  
E-mail : adsac@kepri.re.kr



**김 철 환 (金 喆 煥)**

1961년 1월 10일생. 1982년 성균관대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 성균관대 정보통신공학부 교수, 차세대전력기술연구센터

Tel : 031-290-7124  
Fax : 031-290-7179  
E-mail : hmwkim@hanmail.net



**설 일 호 (裒 溢 鎬)**

1968년 11월 25일생. 한밭대학교 전기공학과 졸업. 발송배전기술사. 현재 전북대학교 산업기술대학원 전기및시스템공학 석사과정.

Tel : 063-240-5218  
Fax : 063-240-5406  
E-mail : seol15@kepco.co.kr



**정 창 수 (鄭 昌 守)**

1958년 2월 25일생. 1982년 조선대 전기공학과 졸업. 1994년 조선대 산업대학원 전기공학과 졸업(석사), 2000년 조선대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국전력공사 전자통신처 전력유도팀장

Tel : 02-3456-5340  
E-mail : jung1164@kepco.co.kr