

배전계통에서 1선 지락고장 시험에 의한 지락고장전류 분류에 관한 연구

(A Study on the Ground Fault Current Distribution by Single Phase-to-Neutral Fault Tests
in Power Distribution System)

김경철* · 유창훈**

(Kyung-Chul Kim · Chang-Hun You)

Abstract

Phase to ground faults are possibly one of the maximum number of faults in power distribution system. During a ground fault the maximum fault current and neutral to ground voltage will appear at the pole nearest to the fault. Distribution lines are consisted of three phase conductors, an overhead ground wire and a multigrounded neutral line. In this paper phase to neutral faults were staged at the specified concrete pole along the distribution line and measured the ground fault current distribution in the ground fault current, three poles nearest to the fault point, overhead ground wire and neutral line. A simplified equivalent circuit model for the distribution system under case study calculated by using MATLAB gives results very close to the ground fault current distribution yielded by field tests.

Key Words : Phase to Neutral Fault, Ground Fault Current Distribution, Three-Phase Four-Wire
Multigrounded Neutral Distribution System, Artificial Fault Generator

1. 서 론

국내 배전계통은 3상 4선식으로 중성선을 다중 접지

* 주저자 : 홍익대학교 전기공학과 교수
** 교신저자 : 홍익대학교 전기공학과 석사과정
* Main author : Professor, Department of Electrical
Engineering Hongik University
** Corresponding author : Master course, Department
of Electrical Engineering Hongik
University
Tel : 044-860-2568, Fax : 044-863-7605
E-mail : yangjier@hongik.ac.kr
접수일자 : 2013년 3월 4일
1차심사 : 2013년 3월 5일
심사완료 : 2013년 4월 25일

하는 방식을 채택하고 있다. 또한 낙뢰 보호대책으로
가공지선을 설치하고, 200m 간격으로 중성선에 접속
한 후 대지에 접지하고, 접지저항 값은 50Ω 이하로 규
정하고 있다[1].

주상변압기를 비롯한 전기기기의 접지는 고저압 혼
축 시의 저압측 전위상승 억제, 지락사고 발생 시 분담
전압의 억제, 이상전압 억제에 의한 절연계급의 저감,
보호계전기 동작 확실화 등의 목적으로 매우 중요한
역할을 하고 있다[2-5]. 지락사고 시 다중접지 배전시
스템의 고장전류 및 대지전위 상승과 같은 응답특성
연구는 오래전부터 계속되어 오고 있다[6-8].

본 논문에서는 사례연구 배전시스템을 구성하고, 인

공 고장발생장치[9]를 사용하여 배전선로 말단에 1선 지락고장을 발생시켜 1선 지락고장전류, 배전전주의 접지저항에 흐르는 고장전류, 가공지선에 흐르는 고장전류, 중성선에 흐르는 고장전류 등의 지락 고장전류 분류와 대지전위 상승을 측정하고자 한다. 사례연구 배전시스템을 등가회로로 모델링하여 실측한 지락고장 전류분류와 대지전위상승을 시뮬레이션 한 값과 비교 분석하고자 한다.

2. 사례연구

그림 1은 사례연구 시스템의 단선도이다. 배전변전소는 공급전압이 22.9kV, 3상 단락용량 1,583MVA, 단상 단락용량 1,125MVA이다. 배전선로에 연결된 주 변압기는 154/22.9kV, 30/40MVA이고, 임피던스는 30MVA 기준으로 12%이다.

배전선로는 가공선로, 가공지선, 중성선으로 구성되어 있고, 선로길이는 14km이다. 가공선로는 ACSR 160mm²×3이고, 정상 임피던스는 100MVA, 기준으로 3.47+j7.46%/km이다. 가공지선은 ACSR 32mm²×1이고, 임피던스는 100MVA, 기준으로 17.2+j9.18%/km이다. 중성선은 ACSR 95mm²×1이고, 100MVA기준으로 정상 임피던스는 5.8+j8.41%/km, 영상임피던스는 11.99+j29.26%/km이다. 배전선로는 콘크리트 전주 16m×350개로 구성되며 전주의 접지저항은 배전규정에 따라 다양하게 접지되어 있다. 가공지선과 중성선은 전주마다 접속되어 있다.

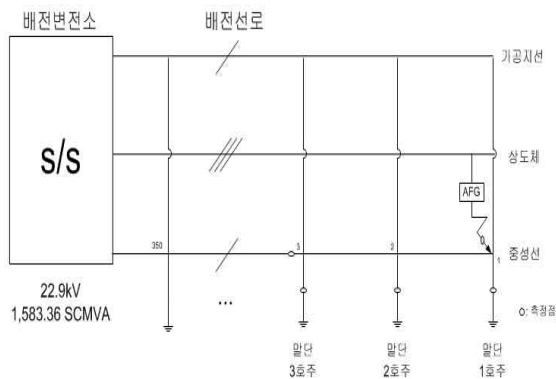


그림 1. 사례연구 배전 시스템
Fig. 1. Distribution system under case study

사례연구 배전시스템의 부하는 1선 지락고장 시험 동안은 차단하여 무 부하 상태를 유지하도록 하였다.

인공고장 발생장치(AFG : Artificial Fault Generator)는 배전선로에서 발생하는 지락, 단락 등 여러 가지 고장현상을 모의하는 장비로서, 배전선로에서 임의조건의 고장을 인위적으로 발생시킬 수 있다. 이 장치는 시험 중 고장현상의 측정과 기록이 가능하고, 이 동사용이 가능하도록 트레일러에 탑재되어 있다. 또한 고장전류 제한용 리액터가 10, 30, 50, 100Ω으로 조절 가능하다.

그림 2는 인공고장 발생장치의 외관이고, 제작처는 LS산전이다.



그림 2. 인공고장 발생장치의 외관 사진
Fig. 2. Outside view of the artificial fault generator

그림 3은 시험 전주로 주상변압기가 설치되어 있고, 전주의 접지저항은 Hook-on meter로 측정한 12.0Ω이다.



그림 3. 시험 전주 외관 사진
Fig. 3. Outside view of the concrete pole

그림 4는 전주에 설치한 파형기록계로 YOKOGAWA 모델 DL1740이다.



그림 4. 사용한 파형기록계 사진
Fig. 4. Outside view of the measuring system

3. 1선 지락고장 시험

1선 지락 고장시험을 위해 그림 1과 같이 인공지락 고장발생장치로 말단1호주의 임의의 전압선 1상과 중성선 혼축을 발생시켰다. 고장전류의 크기를 저감시키기 위해 고장전류 제한용 리액터를 50Ω으로 하여 약 200A의 1선 지락고장전류를 얻도록 했다.

표 1. 지락고장전류 분류(Case 1)
Table 1. Ground fault current distribution(Case 1)

	말단 1호주 (피뢰기)	말단 2호주	말단 3호주 (변압기)	중성선 (말단 3호 후단)	가공지선 (중성선의외)	Σ
접지저항 Ω	14.5	30.0	12.0	-	-	-
고장전류 A	0.51	0.24	0.32	148.07	46.86*	196.0
중성점 전위** V	7.40	7.2	3.84	-	-	-

주] * 1선지락 고장전류에서 측정 전류를 제외한 값
** 중성점 전위는 접지저항과 고장전류의 곱으로 계산
- 측정하지 않았거나 측정하기 어려운 값

고장전류 분류를 측정하기 위해 1선 지락고장 시,

그림 1의 측정 점에 파형기록계로 고장전류 분류를 측정하였다. 즉 1선 지락고장전류, 말단 1호주 고장전류, 말단 2호주 고장전류, 말단 3호주 고장전류와 말단 3호주에서 중성선으로 흐르는 고장전류이다.

말단 1호주의 접지저항은 Hook-on meter로 측정된 결과 14.5Ω, 말단 2호주의 접지저항은 30.0Ω이었다.

1선 지락사고 시 측정결과를 요약하면 표 1과 같다. Case 1은 말단 1호주의 접지저항이 14.5Ω일 때의 시험 결과이다. 표에서 말단 1~3호주는 접지극을 나타낸다.

Case 2는 말단 1호주의 접지저항이 93.5Ω일 때, 1선 지락사고 시 측정결과이고, 표 2에 간추려 놓았다.

Case 3은 말단 1호주의 접지저항이 187.0Ω일 때, 1선 지락사고 시 측정결과이고, 표 3에 간추려 놓았다.

표 2. 지락고장전류 분류(Case 2)
Table 2. Ground fault current distribution(Case 2)

	말단 1호주 (피뢰기)	말단 2호주	말단 3호주 (변압기)	중성선 (말단 3호 후단)	가공지선 (중성선의외)	Σ
접지저항 Ω	93.5	30.0	12.0	-	-	-
고장전류 A	0.1	0.25	0.32	141.12	68.21*	210.0
중성점 전위** V	9.35	7.5	3.84	-	-	-

주] * 중성선 및 가공지선의 접지저항 계산 값
** 1선 지락 전류에서 측정전류를 제외한 값
- 측정하지 않았거나 측정하기 어려운 값

표 3. 지락고장전류 분류(Case 3)
Table 3. Ground fault current distribution(Case 3)

	말단 1호주 (피뢰기)	말단 2호주	말단 3호주 (변압기)	중성선 (말단 3호 후단)	가공지선 (중성선의외)	Σ
접지저항 Ω	187.0	30.0	12.0	-	-	-
고장전류 A	0.05	0.27	0.32	144.25	55.11*	200.0
중성점 전위** V	9.35	8.1	3.84	-	-	-

배전계통에서 1선 지락고장 시험에 의한 지락고장전류 분류에 관한 연구

- 주] * 중성선 및 가공지선의 접지저항 계산 값
 ** 1선 지락 전류에서 측정전류를 제외한 값
 - 측정하지 않았거나 측정하기 어려운 값

4. 1선 지락고장 시뮬레이션

1선 지락 고장전류 I_g 는 다음 식으로 계산된다[10].

$$I_g = \frac{3 \times 100}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + Z_f} \times I_n \quad [A] \quad (1)$$

여기서 정격전류 I_n 는 다음 식으로 계산된다.

$$I_n = \frac{S_b}{\sqrt{3} \times V_b} \quad [A] \quad (2)$$

여기서 S_b 는 시스템 기준 MVA로, 일반적으로 100MVA이다. V_b 는 시스템 기준 kV로 배전계통은 22.9kV로 한다. 따라서 정격전류 $I_n=2,521.2A$ 가 된다.

여기서 Z_1 은 고장점에서 본 정상임피던스%, Z_2 는 고장점에서 본 역상임피던스%, Z_0 는 고장점에서 본 영상임피던스%, Z_f 는 고장점에서 본 테브난의 등가임피던스%이다.

고장임피던스는 그림 1의 사례연구 배전시스템을 등가회로로 구성하면 그림 5와 같이 될 수 있다 [11-13]. 중성선과 가공지선은 일정간격의 배전전주와 연결되어 있어 사다리꼴 모양의 형태이기 때문에 등가임피던스로 나타낼 수 있다.

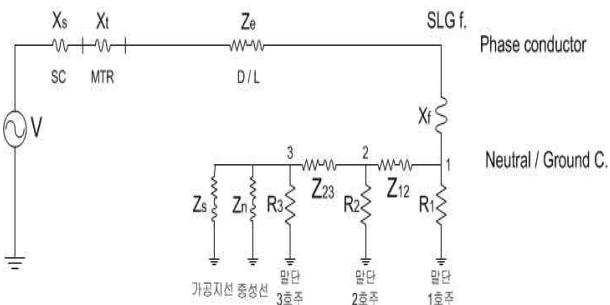


그림 5. 사례연구 배전시스템의 등가회로
 Fig. 5. Equivalent circuit of the distribution system under case study

다중접지 방식의 배전계통에서 중성선의 등가회로는 그림6과 같이 사다리꼴의 회로로 표현할 수 있다.

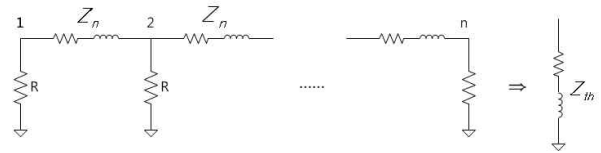


그림 6. 다중 접지된 중성선의 등가회로
 Fig. 6. Equivalent circuit of the multi-grounded neutral conductor

다중접지 방식의 그림 6에서 중성선의 경간 당 자기임피던스 Z_n 과 매 전주의 개별 접지전극의 저항 R 을 가정하면, 사다리꼴의 등가회로에서 다중접지된 중성선의 전체에 대한 등가임피던스 Z_{th} 은 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_{th(1)} = Z_n + R \quad (3)$$

$$Z_{th(n)} = \sum_{k=2}^n \left(Z_n + \frac{R \cdot Z_{th(k-1)}}{R + Z_{th(k-1)}} \right) \quad (4)$$

$$Z_{th} = Z_n + \frac{Z_{th} \cdot R}{Z_{th} + R} \quad (5)$$

$$Z_{th} = \frac{Z_n + \sqrt{Z_n^2 + 4RZ_n}}{2} \quad (6)$$

일례로, 배전전주 수 $n=100$, 배전 전주의 접지저항 $R=100\Omega$, 중성선 ACSR-95mm²의 경간(50m) 당 자기임피던스 $Z_n = 0.0185 + j0.0431 \Omega/\text{경간}$ 일 때의 합성임피던스 $Z_{th}(n) \Omega$ 과 사다리꼴 등가회로의 계산식에 의한 합성임피던스 $Z_{th} \Omega$ 의 효용성을 검증할 수 있다.

그림 7은 합성 임피던스 계산식 (6)에 의한 결과와 MATLAB 시뮬레이션(식 (4)) 결과를 비교한 그래프이다. 약 40 경간(2km)이상의 선로 길이에서 일정한 값으로 수렴하는 것을 확인할 수 있으므로 다중접지된 배전계통과 같은 회로에서는 사다리꼴 회로 해석에 의한 테브난 등가임피던스 계산식 (6)을 적용할 수 있다.

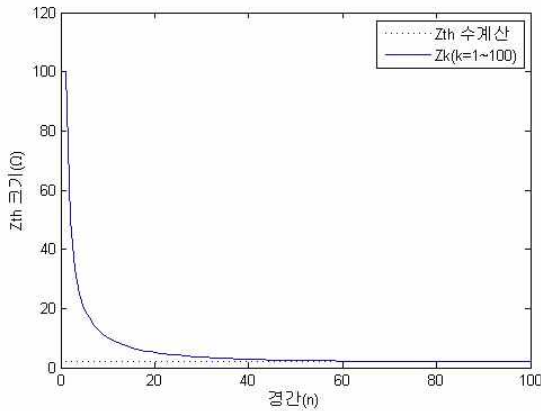


그림 7. 계산식(Z_{th}) 및 MATLAB($Z_{th}(n)$) 결과
 Fig. 7. Formula(Z_{th}) and MATLAB($Z_{th}(n)$) results

측정데이터를 이용하여 가공지선과 중성선의 등가 임피던스를 예측한다. Case 1의 실측데이터에서, 고장 전류 $I_g = 196.0 [A]$, 말단 1호주 접지고장전류 $I_1 = 0.51 [A]$, 말단 1호주 접지저항 $R_1 = 14.5 [\Omega]$ 이다. 고장점에서의 대지전위상승 $V_1 = Z_{th} I_g = I_1 R_1 = 7.395V$ 이므로, 고장점의 등가임피던스 Z_{th} 는

$$Z_{th} = \frac{I_1}{I_g} R_1 = 0.03773 \angle \theta_{th} [\Omega]$$

이 된다. 고장점의 등가임피던스의 위상각 θ_{th} 는 식 (6)에서 예측한다. 전극간격 40m, 전극 접지저항을 50Ω이러 하면,

$$Z_{th} = 1.0447 \angle 28.0^\circ [\Omega]$$

이 되므로, $\theta_{th} = 28.0^\circ$ 이 된다. 따라서 고장 점의 등가임피던스는 아래와 같이 예측된다. 측정데이터를 이용하여 가공지선과 중성선의 등가임피던스를 예측한다. Case 1의 실측데이터에서, 고장전류 $I_g = 196.0 [A]$, 말단 1호주 접지고장전류 $I_1 = 0.51 [A]$, 말단 1호주 접지저항 $R_1 = 14.5 [\Omega]$ 이다. 고장점에서의 대지전위상승 $V_1 = Z_{th} I_g = I_1 R_1 = 7.395V$ 이므로, 고장점의 등가임피던스 Z_{th} 는

$$Z_{th} = \frac{I_1}{I_g} R_1 = 0.03773 \angle \theta_{th} [\Omega]$$

이 된다. 따라서 고장점의 등가임피던스는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} Z_{th} &= 0.03773 \angle 28.0^\circ [\Omega] \\ &= 0.5282 \angle 28.0^\circ [\Omega/km] \end{aligned}$$

그러므로 중성선의 등가임피던스 Z_n 과 가공지선의 등가임피던스 Z_s 는 전류분배 법칙에 따라 구하면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} Z_n &= 0.02593 \angle 28.0^\circ [\Omega] \\ Z_s &= 0.06468 \angle 28.0^\circ [\Omega] \end{aligned}$$

1선 지락 고장전류 I_g 는 식 (1)에서 구할 수 있다. 모든 임피던스는 기준 임피던스 Z_b 에 대한 % 값으로 변환한다. 기준 임피던스는

$$Z_b = \frac{V_b^2}{S_b} \tag{7}$$

이므로, $S_b = 100MVA$ 와 $V_b = 22.9kV$ 을 대입하면 $Z_b = 5.2441\Omega$ 이 된다. 사용된 임피던스 데이터는 아래와 같이 정리한다. 정상, 역상임피던스를 구한다.

$$\begin{aligned} Z_1 = Z_2 &= jX_s + jX_t + Z_{l1} \\ &= j8.8894 + j39.93 + 48.58 + j104.44 \\ &= 48.58 + j153.2594 [\%] \end{aligned}$$

영상 임피던스를 구한다.

$$\begin{aligned} Z_0 &= jX_t + Z_{no} \\ &= j39.93 + 167.86 + j409.64 \\ &= 167.86 + j449.57 [\%] \end{aligned}$$

배전계통에서 1선 지락고장 시험에 의한 지락고장전류 분류에 관한 연구

고장임피던스 Z_f 를 구한다. 말단 1호주 접지저항 $R_1=14.5\Omega=276.5\%$, 말단 2호주 접지저항 $R_2=30.0\Omega=572.07\%$, 말단 3호주 접지저항 $R_3=12.0\Omega=228.83\%$, 고장전류 제한용 리액터 $X_f=50\Omega=953.45\%$, 말단 1호주와 말단 2호주 사이의 임피던스 $Z_{12}=0.01799+j0.04389\%$, 말단 2호주와 말단 3호주 사이의 임피던스 $Z_{23}=0.01139+j0.278\%$ 이다.

$$Z_f = 3(X_f + Z_{th}) = 1.2423 + j2,861.9 [\%]$$

MATLAB을 사용한 계산 결과를 요약하면 아래와 같다. 1선 지락 고장전류 I_g :

$$I_g = 208.49 \angle -85.79^\circ [A]$$

말단 1호주 고장전류 I_1 :

$$I_1 = 0.5080 \angle -33.72^\circ [A]$$

말단 2호주 고장전류 I_2 :

$$I_2 = 0.2290 \angle -34.87^\circ [A]$$

말단 3호주 고장전류 I_3 :

$$I_3 = 0.3204 \angle -49.0^\circ [A]$$

중성선 고장전류 I_n :

$$I_n = 148.32 \angle -86.0^\circ [A]$$

가공지선 고장전류 I_s :

$$I_s = 59.46 \angle -86.0^\circ [A]$$

표 4는 1선 지락고장 시 고장전류 분류를 측정결과와 시뮬레이션 결과를 비교 요약한 것이다.

표 4. 지락고장전류 분류(Case 1)

Table 4. Ground fault current distribution(Case 1)

		말단 1호주	말단 2호주	말단 3호주	중성선	가공지선 (중성선의)	Σ
접지저항 Ω		14.5	30.0	12.0	0.02593*	0.06468*	-
고장 전류 A	측정	0.51	0.24	0.32	148.07	46.86**	196.0
	계산	0.51	0.23	0.32	148.32	59.46	208.5
중성점 전위 V	측정	7.4	7.2	3.84	-	-	-
	계산	7.32	6.78	3.84	3.84	3.84	-

주] * 중성선 및 가공지선의 접지임피던스 계산 값

** 1선 지락 전류에서 측정전류를 제외한 값

표 5는 말단 1호주의 접지저항이 93.5 Ω 일 때, 1선 지락고장 시 고장전류 분류를 측정결과와 시뮬레이션 결과를 비교 요약한 것이다.

표 5. 지락고장전류 분류(Case 2)

Table 5. Ground fault current distribution(Case 2)

		말단 1호주	말단 2호주	말단 3호주	중성선	가공지선 (중성선의)	Σ
접지저항 Ω		93.5	30.0	12.0	0.02593*	0.06468*	-
고장 전류 A	측정	0.1	0.25	0.32	141.12	68.21**	210.0
	계산	0.08	0.23	0.32	148.50	59.53	208.5
중성점 전위 V	측정	9.35	7.5	3.84	-	-	-
	계산	7.48	6.9	3.84	3.84	3.84	-

주] * 중성선 및 가공지선의 접지임피던스 계산 값

** 1선 지락 전류에서 측정전류를 제외한 값

표 6은 말단 1호주의 접지저항이 187.0 Ω 일 때, 1선 지락고장 시 고장전류 분류를 측정결과와 시뮬레이션 결과를 비교 요약한 것이다.

표 6. 지락고장전류 분류(Case 3)
Table 6. Ground fault current distribution(Case 3)

		말단 1호주	말단 2호주	말단 3호주	중성선	가공지선 (중성선의)	Σ
접지저항 Ω		187.0	30.0	12.0	0.02593*	0.06468*	-
고장 전류 A	측정	0.05	0.27	0.32	144.25	55.11**	200.0
	계산	0.04	0.23	0.32	148.51	59.54	208.5
중성점 전위 V	측정	9.35	8.1	3.84	-	-	-
	계산	7.48	6.9	3.84	3.84	3.84	-

주] * 중성선 및 가공지선의 접지임피던스 계산 값
** 1선 지락 전류에서 측정전류를 제외한 값

사례연구 배전시스템을 사다리 회로망 형태의 등가 회로로 모델링하여 시뮬레이션 한 지락고장전류 분류와 실측한 지락고장전류 분류는 매우 근접한 결과를 나타내었다. 1선 지락사고 시, 말단 1호주의 경우 측정된 고장전류는 0.51, 0.1, 0.05A이고, 계산된 고장전류는 0.51, 0.08, 0.04A이었다. 다만 1선 지락 고장전류인 경우 측정된 고장전류는 196.0, 210.0, 200.0A인데, 계산된 고장전류는 208.5A으로 나타난 원인은 1선 지락 고장 발생 시, 사례연구 배전시스템에 변화(예측하기 어려운)가 있었던 것으로 판단된다.

1선 지락고장 시, 고장점에서 중성점 전위상승(7.32V)이 가장 높았다. 고장점에서 거리가 멀어질수록 중성점 전위상승은 상대적으로 고장점보다 작았다. 전위상승 크기는 전주 경간 사이의 중성선 임피던스에 따라 감소(6.78V, 3.84V)되었다.

고장점의 등가임피던스는 예측보다 매우 작은 수치(0.05282Ω/km)로 계산되었다. 전주 접지저항은 고장점의 등가임피던스와 병렬로 접속되므로 접지저항 크기(14.5Ω, 93.5Ω, 187.0Ω)에 상관없이 1선 지락고장 전류는 거의 변함(208.5A)이 없었다.

1선 지락고장 시, 고장점에서 대지유입 전류는 예측보다 매우 작은 수치로 나타났다. 고장점(말단 1호주) 접지저항이 14.5, 93.5, 187.0Ω일 때, 접지전극으로 유

입되는 고장전류는 0.51, 0.1, 0.05A로 실측되어 지락 전류의 대지유입 계수는 0.260, 0.048, 0.025%이었다. 전력유도 기준고시(정통부 고시 제 2003-5호)에는 지락전류에 대한 대지유입 계수가 50%로 규정하고 있는데, 이에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

5. 결 론

국내 배전계통은 3상4선식으로 중성선을 다중접지하고, 가공지선을 설치하여 중성선에 접속한 후 대지에 접지하는 방식을 채택하고 있다. 이러한 접지는 고장전류를 대지로 흘려보내는 역할과 더불어 지락사고 시 중성점 전위상승 억제, 인체의 전기적 충격을 완화시키는 중요한 역할을 담당하고 있다.

사례연구 배전시스템을 구성하여 인공고장 발생장치로 배전선로 말단에 1선 지락고장을 발생시켜 고장점 주변의 지락고장전류 분류와 대지전위 상승을 측정하였고, 사례연구 배전시스템을 사다리 회로망 형태의 등가회로로 모델링하여 시뮬레이션 한 결과는 실측한 1선 지락고장전류 분류와 대지 전위상승이 근접한 수치를 얻을 수 있었다.

1선 지락고장 시, 고장점에서 중성점 전위상승(7.32V)이 가장 높았다. 고장점에서 멀어질수록 전주 경간의 중성선 임피던스에 의해 중성점 전위상승은 상대적으로 고장점보다 낮게 나타났다.

고장 점의 등가임피던스는 예상치보다 매우 작은 수치로 계산되었다. 고장 점의 전주 접지저항은 고장점의 등가임피던스와 병렬로 접속되므로 접지저항의 크기에 상관없이 1선 지락고장전류는 거의 변화가 없었다.

1선 지락고장 시, 고장점에서 대지로 유입되는 전류는 매우 작은 수치로 나타났다. 전력유도 기준고시에는 지락전류에 대한 대지 유입계수가 50%로 규정된 것은 향후 검토가 필요하다고 판단된다.

향후 1선 지락고장 시험 시에는 고장전류 분류 측정을 배전선로 말단, 중간 및 전원측에서 동시에 하여 고장전류 분포도를 검토할 필요가 있다고 사료된다.

References

- [1] KIEE, "Power Distribution System Engineering", Books+Hill Co, 2006.
- [2] IEEE Std 142-2007, IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants.
- [3] IEEE Std 1100-2005, IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment.
- [4] IEEE Std 80-2000, IEEE Guide for Safety in Ac Substation Grounding.
- [5] NESC(National Electrical Safety Code), 2006 Edition.
- [6] R. Verma, D. Mukhedkar, "Ground Fault Current Distribution in Substation, Towers and Ground wire", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, May/June 1979.
- [7] J. Fortin, H.G. Sarmiento, D. Mukhedkar, "Field Measurement of Ground Fault Current Distribution and Substation Ground Impedance", IEEE Trans. on Power Delivery, July 1986.
- [8] J.R Acharya, Y. Wang, and W. Xu, "Temporary Overvoltage and GPR characteristics of Distribution Feeder with Multigrounded Neutral", IEEE Trans. on Power Delivery, 2009.
- [9] LS Industrial System Co., "Manual for Artificial Fault Generator", 2000.
- [10] Power Distribution Design Standard DS-4903, "Fault Current Calculations of Power Distribution Line", KEPCO, 2008.
- [11] J.Endrenyi, "Analysis of Transmission Tower Potentials during Ground Faults", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Oct. 1967.
- [12] L.M. Popovic, "Practical Method for Evaluation Ground Fault Current Distribution in Station, Towers and Ground Wire", IEEE Trans. on Power Delivery, Jan. 1998.
- [13] IEEE Std 367-1996, "IEEE Recommended Practice for Determining the Electric Power Station Ground Potential Rise and Induced Voltage From a Power Fault".

◇ 저자소개 ◇



김경철 (金慶哲)

1954년 1월 20일생. 1977년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 1977~1982년 국방과학연구소 연구원. 1982~1984년 NMSU 전기공학과 졸업(석사). 1984~1988년 UTA 전기공학과 졸업(박사). 1988~1991년 한국전기연구소 선임연구원. 1991년~현재 홍익대학교 전기공학과 교수.



유창훈 (劉昶熏)

1986년 9월 14일생. 2012년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 2012년~현재 홍익대학교 대학원 전기공학과 석사과정.