

22.9[kV] 다중접지 배전계통에서 고장전류의 접지저항 영향 분석

(The Effect by Grounding Resistance of the ground Fault in the 22.9[kV] Multi-ground Distribution System)

정금영* · 최선규 · 심건보 · 김경철**

(Kum-Young Jung · Sun-Kyu Choi · Keon-Bo Shim · Kyung-Chul Kim)

Abstract

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 multi-grounded 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 effect by grounding resistance of poles of ground fault current in the 22.9[kV] multi-ground distribution system. by field tests.

Key Words : Power Distribution System, Multi-Grounded Neutral Grounding, Ground Fault Current, Grounding Resistance

1. 서 론

우리나라에서 채택하고 있는 배전시스템은 3상4선 식으로 중성선을 다중접지 하고, 낙뢰 등으로부터 보호하기 위한 가공지선을 설치하여 중성선에 접속한 후 대지에 접지하는 방식을 채택하고 있다[1]. 이러한 접지는 고장전류를 대지로 흘려보내는 역할과 더불어 지락사고 시 중성점 전위상승 억제, 인체의 전기적 충격을 완화시키는 중요한 역할을 담당하고 있다.

주상변압기를 비롯한 전기기기의 접지는 고저압 혼축 시의 저압측 전위상승 억제, 지락사고 발생 시 분담 전압의 억제, 이상전압 억제에 의한 절연계급의 저감, 보호계전기 동작의 신뢰 등의 목적으로 매우 중요한 역할을 하고 있다[2]. 지락고장 시 다중접지 배전시스템의 고장전류 및 대지전위 상승과 같은 응답특성 연구는 오래전부터 계속되어 오고 있다[3].

본 연구는 배전계통에 대한 1선 지락고장의 시험과 해석에 대한 연구의 일환으로서 배전계통에서 중요한 역할을 하는 것으로 알려진 접지저항의 변화에 대한 것으로서, 사례연구 배전시스템에서 배전선로 말단에서 접지저항을 변화시키면서 인위적으로 1선 지락고장을 발생시켜 지락고장전류, 배전전류의 접지전극에 흐르는 고장전류, 가공지선에 흐르는 고장전류 및 중

* 주저자 : 한국전력공사 전력연구원 책임연구원

** 교신저자 : 홍익대학교 전기공학과 교수

Tel : 041-860-2568, Fax : 041-863-7605

E-mail : yangjier@hongik.ac.kr

접수일자 : 2010년 7월 13일

1차심사 : 2010년 7월 14일

심사완료 : 2010년 9월 9일

성선에 흐르는 고장전류 등의 지락 고장전류를 측정하였으며, 사례연구 배전시스템을 등가회로로 모델링하여 실측한 지락고장 전류분류와 MATLAB을 이용한 시뮬레이션한 값과 비교 분석하였다.

2. 1선 지락고장 시험

2.1 사례연구 대상 배전시스템

그림 1은 사례연구 대상 배전시스템의 단선도이다. 배전선로는 가공선로, 가공지선 및 중성선으로 구성되어 있고, 선로길이는 19.6[km]이다. 가공선로는 ACSR 160mm²×3 이고, 정상 임피던스는 100[MVA], 기준으로 3.47+j7.46[%/km]이다. 가공지선은 ACSR 32[mm²]×1이고, 임피던스는 100[MVA], 기준으로 17.2+j9.18[%/km]이다. 중성선은 ACSR 95[mm²]×1이고, 100[MVA]기준으로 정상임피던스는 5.8+j8.41[%/km], 영상임피던스는 11.99+j29.26[%/km]이다. 배전선로는 콘크리트 전주 16[m]×350개로 구성되며 전주의 접지저항은 배전규정에 따라 다양하게 접지되어 있으며, 가공지선과 중성선은 전주마다 접속되어 있다.

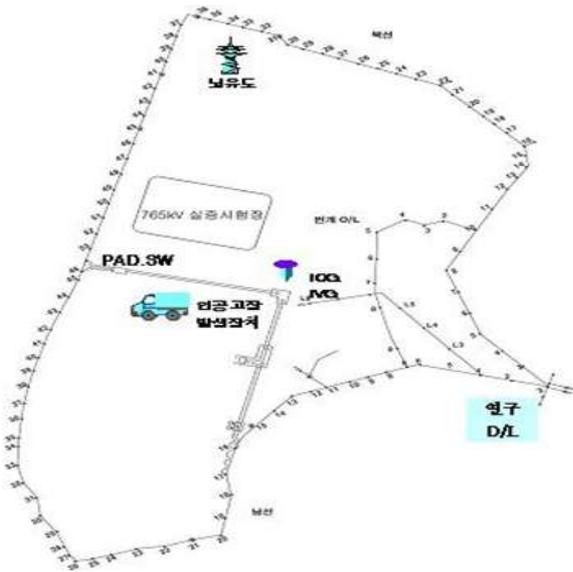


그림 1. 사례연구 대상 배전시스템
Fig. 1. Sample Distribution System

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

2.2 측정방법

1선 지락 고장시험을 위해 인공지락 고장발생장치를 이용하여 말단 1호주에서 중성선과 전력선의 혼축 고장(지락고장)을 발생시켰다. 고장전류의 크기를 저감시키기 위해 고장전류 제한용 리액터를 50[Ω]으로 하여 약 200[A]의 1선 지락고장전류를 얻도록 했다. 이 때 후크-온 미터(Hook-on meter)로 측정된 결과 말단 2호주의 접지저항은 30.0[Ω]이었으며, 말단 1호주의 접지저항은 14.5, 93.5 및 187.0[Ω]으로 변화시켰다.

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

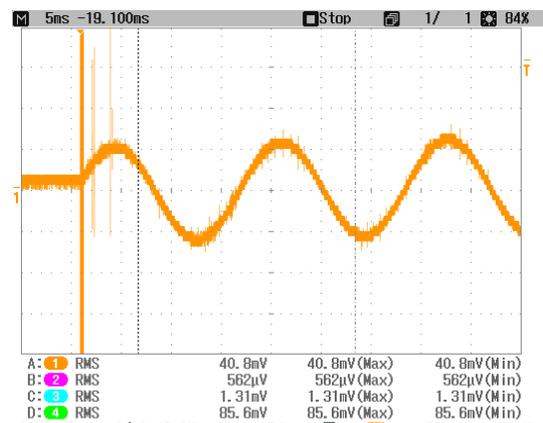


그림 2. 1선 지락 고장전류 파형
Fig. 2. Fault current waveform for the A Phase-to-neutral ground

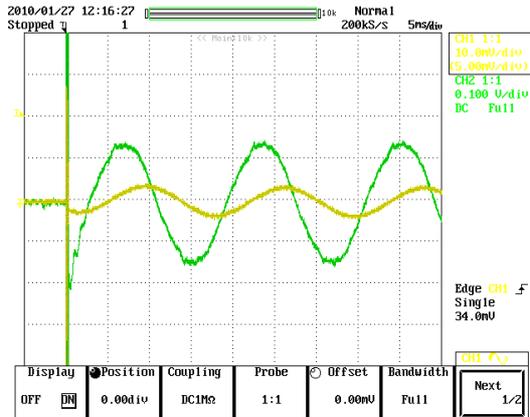


그림 3. 말단 1호주 고장전류 파형
Fig. 3. Fault current waveform for the No. 1 concrete pole

그림 2와 3은 1선 지락 고장전류 파형이고, 말단 1호주 고장전류 파형, 그림 4는 말단 2호주, 그림 5는 말단 3호주 및 중성선에 흐르는 고장전류의 파형을 나타낸다. 각각의 그림에서는 고장이 발생하기 전과 후에 대한 고장전류의 파형을 보인 것으로서, 고장이 발생하기 전에는 전류의 크기가 0으로 표시되고 있다.

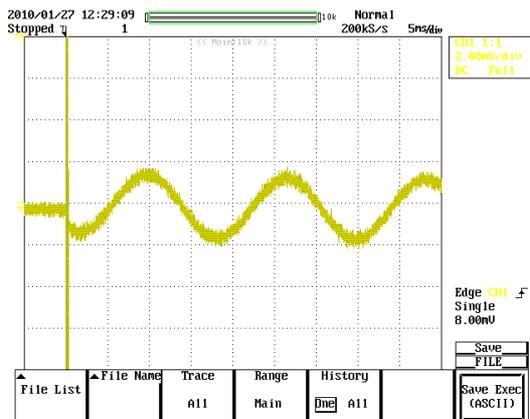


그림 4. 말단 2호주 고장전류 파형
Fig. 4. Fault current waveform for the second pole

3. 1선 지락고장의 시뮬레이션

3.1 사례연구 배전시스템의 등가회로

사례연구 대상 배전시스템을 등가회로로 구성하면

그림 6과 같이 나타낼 수 있으며, 중성선과 가공지선은 일정간격의 배전전주와 연결되어 있는 사다리꼴 모양의 전기회로이기 때문에 식 (1)과 같이 등가임피던스로 나타낼 수 있다.

$$Z_{th} = \frac{Z_s + \sqrt{Z_s^2 + 4RZ_s}}{2} \quad (1)$$

여기서, Z_s 는 경간간의 선로임피던스[Ω], R 은 전주 직하 접지극의 접지저항[Ω]이다.

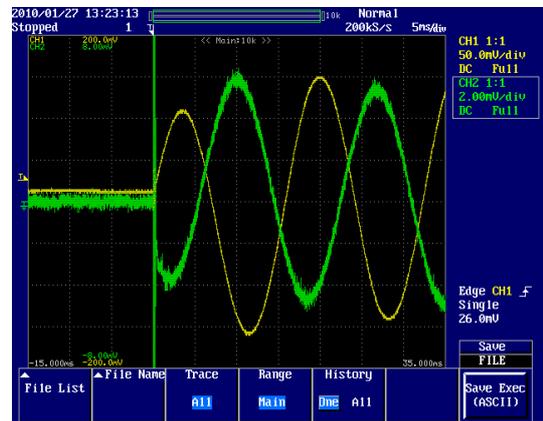


그림 5. 말단 3호주 고장전류와 중성선 고장전류 파형
Fig. 5. Fault current waveforms for the No. 3 pole and the neutral line

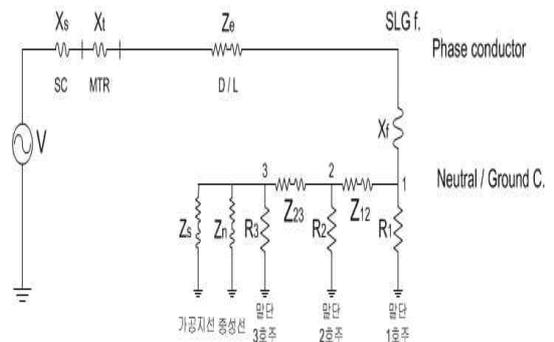


그림 6. 사례연구 배전시스템의 등가회로
Fig. 6. Equivalent circuit of the distribution system under case study

3.2 사례연구 배전시스템의 시뮬레이션

그림 5의 등가회로에 대하여 각각의 등가 임피던스

를 계산하고 회로 해석 모듈인 MATLAB을 이용하여 사례연구 배전시스템에 대하여 말단 1호주의 접지저항을 변화시키면서 회로해석을 하였다.

사례연구 배전계통의 등가회로에서 각각의 %임피던스는 말단 1호주 접지저항 $R_1 = 276.5[\%]$, 말단 2호주 접지저항 $R_2 = 572.07[\%]$, 말단 3호주 접지저항 $R_3 = 228.83[\%]$, 고장전류 제한용 리액터 $X_f = 953.45[\%]$, 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.

4. 측정 및 시뮬레이션 결과의 비교

본 논문에서 사례연구 대상 중성선 다중접지 배전계통에서 수행한 전류의 접지저항 값을 변화시키면서 인공적으로 말단 1호주에서 발생시킨 1선 지락고장의 시험 결과와 모델링한 회로에서 수행한 시뮬레이션 결과를 표 1, 2 및 3에 비교 요약한 것이다.

다중접지 방식의 사례 배전시스템에서 1선 지락고장 발생 시, 고장점인 말단 1호주의 경우 측정된 고장전류는 각각 0.51, 0.1, 0.05[A]이고, 계산된 고장전류는 0.51, 0.08, 0.04[A] 이었다. 다만 1선 지락 고장전류인 경우 측정된 고장전류는 196.0, 210.0, 200.0[A] 인데, 시뮬레이션으로부터 계산된 고장전류는 208.5[A]으로 나타났다.

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

		말단 1호주	말단 2호주	말단 3호주	중성선	가공지선 (중성선외)	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 2. 지락고장전류 분류(Case 2)
Table 2. Ground fault current distribution(Case 2)

		말단 1호주	말단 2호주	말단 3호주	중성선	가공지선 (중성선외)	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 3. 지락고장전류 분류(Case 3)
Table 3. Ground fault current distribution(Case 3)

		말단 1호주	말단 2호주	말단 3호주	중성선	가공지선 (중성선외)	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

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

전주 접지저항은 고장점의 등가임피던스와 병렬로 접속되므로 접지저항 크기(14.5, 93.5 및 187.0[Ω])에 상관없이 1선 지락고장전류는 거의 변함(208.5[A])이 없었다.

1선 지락고장 시, 고장점에서 대지유입 전류는 예측보다 매우 작은 값으로 나타났다. 고장점(말단 1호주) 접지저항이 14.5, 93.5 및 187.0[Ω]일 때, 접지전극으로 유입되는 고장전류는 0.51, 0.1, 0.05[A]로 실측되어 지락전류의 대지유입 계수는 0.260, 0.048, 0.025[%]이었다.

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 고장점인 말단 전주의 접지저항을 변화시키면서 인공고장 발생장치로 1선 지락고장을 발생시켜 고장점 주변의 지락고장전류 분류와 대지전위 상승을 측정하였고, 사례연구 배전시스템을 등가회로로 모델링하여 시뮬레이션 한 결과는 실측한 1선 지락고장전류 분류 값이 근접한 수치를 얻을 수 있었다. 1선 지락고장 시, 고장 점 접지저항의 변화에 따른 고장전류의 크기 변화는 거의 없었으며, 고장점 전주에서 대지로 유입되는 전류의 변화도 거의 없음을 확인하였다.

따라서 3상4선식 다중접지 배전계통에서 접지저항의 크기는 고장전류의 크기와 고장점에서 대지로 유입되는 고장전류의 크기에 영향을 미치지 않는 것으로 파악되었다.

향후 1선 지락고장 시험을 접지저항의 크기를 좀 더 넓은 범위로 변화시키면서 추가적으로 하여 고장전류 분류 측정을 배전선로 말단, 중간 및 전원측 등으로 추가하여 고장전류 분포도를 검토할 필요가 있다고 사료된다.

References

- [1] 대한 전기학회, “배전시스템 공학”, (주) 북스힐, 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] LS산전, 인공고장발생장치 사용자 매뉴얼, 2000.
- [10] 배전 설계기준 DS-4903, 배전선로의 고장전류계산, 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 ◇



정금영(鄭金永)

1958년 7월 31일생. 1981년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1983년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987~현재 한국전력공사 전력연구원 책임연구원.



최선규(崔璇奎)

1973년 9월 26일생. 2000년 고려대학교 전기전자전파 공학과 졸업. 2002년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년~현재 한전 전력연구원 송배전연구소 선임연구원.



심건보(沈建輔)

1957년 2월 1일생. 1980년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 1982년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 홍익대 산업기술 연구소 책임연구원.



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.