

고압계통 지락고장시 인체안전에 미치는 영향

(Effects of Ground Faults on the Safety of Persons in High Voltage Distribution Systems)

강성만* · 김한수 · 이종철 · 이주철

(Sung-Man Kang* · Han-Soo Kim · Jong-Chul Lee · Ju-Chul Lee)

대한전기협회 기술기준처

Abstract

This paper presents experimental results on the safety of persons due to a ground fault in 22.9 kV-Y distribution system. In order to evaluate the touch voltages due to internal ground faults in a step down transformer based on the newly prescribed KS C IEC 60364 standard series, the verification tests in a 22.9 kV multi-grounded neutral system were carried out. From the experimental results, it was found that there will be significant potential rise jeopardizing LV equipment insulation in case of separate grounding between HV and LV system and the effective measures against hazardous touch voltages due to a HV side ground fault in the common grounding system between HV and LV system are proposed. As a consequence, it was found that the equipotential bonding is an important prerequisite for the effectiveness of the protective measures for the safety of persons in the common ground system between 22.9 kV-Y and low-voltage grounding system.

1. 서론

WTO/TBT 협정에 따라 가맹국들은 국제규격에 기초하여 부합화된 기술규정을 정하여야 하며, 국가별 전기설비관련 규격과 규정이 다르나 이들의 국제표준 부합화가 완료되었거나 진행되고 있다[1-4]. 우리나라의 22.9 kV-Y 배전계통은 중성선 다중접지방식이지만 수용가 구내의 수배전설비 접지시설은 기기별 접지저항 요건에 따른 개별접지방식으로 운용되어 왔다.

한편, IEC규격에서는 동일한 부지에 고·저압 전기설비를 시설할 경우 공통접지방식을 권장하고 있다. IEC 60364-4-44에서는 접지시스템의 종류별로 저압계통의 기기외함과 대지간 고장전압과 기기스트레스 전압의 계산식을 제시하고 있으며, 접지시스템의 설계절차는 IEC 61936-1에 규정되어 있다[5-6]. 이들 규격은 접지시스템 안전기준에서 접촉전압의 적용방법을 서로 다르게 규정하고 있으며, 대지전위상승에 대한 계산방법 등 구체적인 사항은 규정되어 있지 않다.

따라서 이들이 전기설비기술기준에 도입되기 위해서는 이들 두 규격간의 차이점 및 적용방법을 명확하게 해야 한다. 즉, 전기설비기술기준의 판단기준에 도입된 IEC 60364 규격에 따른 접지관련 규정의 검토와 적용방안이 제시되어야 한다.

본 논문에서는 22.9 kV-Y 배전계통과 연계한 시험을 통해 국제표준에 의한 접지시스템의 국내 적용시 문제점을 도출하고 그에 대한 대책을 제시하였다.

2. 시험계 구성 및 방법

22.9 kV-Y 중성선 다중접지계통은 1선 지락고장전류는 크지만 기기내부 지락고장시에는 지락고장전류의 일부만 고장점의 접지극을 통하여 대지로 유입되고, 나머지는 다중접지 중성선과 대지를 통해 전원의 중성점으로 분류하여 귀환한다. 최근연구에 의하면 중성선 다중접지계통인 우리나라의 가공배전선로 경우 분류율은 지락고장전류의 5% 정도 내외이며 평균지락전류가 5 kA 정도로 보고되고 있다. 중성점 다중접지계의 분류율을 고려할 경우 가변저항기를 이용하여 1 ~ 5 kA 범위의 지락전류를 모의하기 위하여 본 시험에서는 지락전류를 50 ~ 250 A 범위로 변화시켜 시험하였다. 지락전류의 측정에는 로고우스키 코일 CT를 사용하였으며, 시험전압은 수십 kV까지 분압하여 측정할 수 있는 고압용과 1,000 V 이하의 저압용 차동프로브를 사용하였다.

실증시험회로(4개 회로: TN-a계통, TN-b계통, TT-a계통, TT-b계통)의 개략도를 그림 1에 나타내었다. 그림 1에서 각 스위치 중 SW₁은 주상변압기의 접지와 저압측 중성점 접지를 접속(공통접지) 및 분리(개별접지)하기 위한 것이며, SW₂는 TN계통에서 중성선 또는 PEN 도체가 부하기기의 외함과 접속된 것과 TT계통에서 중성선 또는 PEN 도체가 부하기기 외함에 접속되지 않은 것을 모의하기 위한 것이다. 또한 SW₃는 TT 계통에서 외함접지와 TN계통에서의 외함 비접지를 모의하기 위한 것이다.

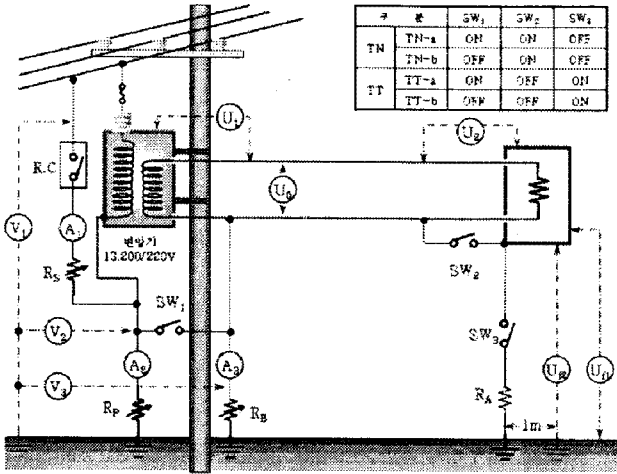


그림 1. 시험회로도
Fig. 1. Diagram of the test circuit

시험에서 U_{f2} 는 수용가 부하기기의 외함에 대한 접촉전압의 측정을 위해 부하기기 외함으로부터 1 m 지점에 전극을 설치하여 이 전극과 부하기기 외함간의 전압을 측정하였다. 지락고장전류는 시험회로에 설치된 가변저항기(R_S)의 저항 값과 접지저항 값(R_P 및 R_B)으로 조절하였으며, R_P 와 R_B 는 약 2 m 이격하여 설치하였다.

본 실증시험에서는 IEC 60364에 제시되어 있는 바와 같이 22.9 kV-Y의 수용가에 전력을 공급하는 배전변압기에서 5 kA 정도의 지락고장이 발생하였을 경우 배전변압기의 접지극으로 흐르는 고장전류에 의한 대지전위상승이 수용가 전기기기의 외함에 나타나 는 접촉전압(U_{f2})에 미치는 영향을 검토하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 TN-a계통

$R_S=30 \Omega$ 으로 하고, $R_P=9.6 \Omega$ 및 $R_B=9.6 \Omega$ 을 병렬로 접속한 TN-a계통에서 측정한 각 전압, 전류의 파형을 그림 2에 나타내었다.

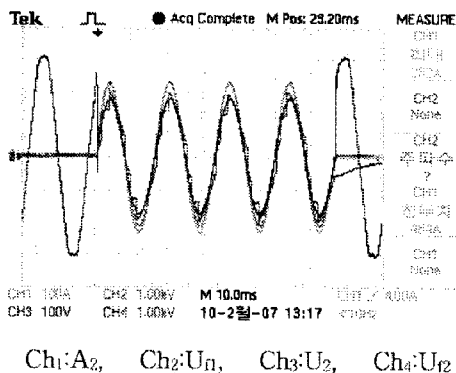


그림 2. TN-a계통에서 시험전압, 전류 파형
Fig. 2. Waveforms of the test voltages and currents in TN-a system

이때 지락고장전류는 254.6 A이고, 시험결과로 역산한 R_P 와 R_B 의 병렬저항은 약 6 Ω 정도로 나타났다. 그림 2에서 접촉전압 U_{f2} 는 IEC 60364의 계산식 ($U_{f2}=I_m \times R_{PB}$)과 근사적으로 일치함을 알 수 있다. U_{f2} 는 고장점 대지전위가 높아질수록 고장점 대지전위에 대한 비가 높아지는데, 이는 지락전류가 커질수록 지락점으로부터의 대지전위경도가 커진다는 것을 의미한다. 시험결과는 V_2 의 30 ~ 90 % 범위로 나타났다.

TN-a계통에서는 접촉전압(U_{f2})이 고려대상이며, 측정결과 지락고장전류 254.6 A의 경우 접촉전압(U_{f2})이 약 1,753.6 V로 나타난 바와 같이 인체감전보호대책이 필요하다.

3.2 TN-b계통

TN-a계통에서의 회로정수와 동일한 조건으로 하고 TN-b계통에서 측정한 각 전압, 전류의 파형을 그림 3에 나타내었다. 이때 지락고장전류는 254.6 A이다

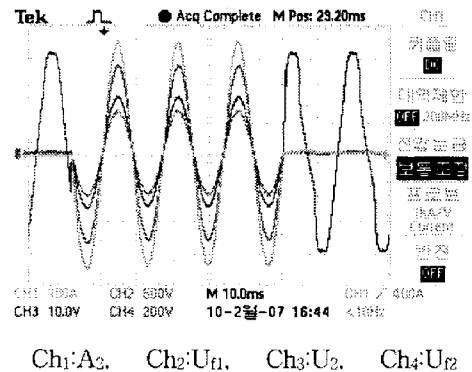


그림 3. TN-b계통에서 시험전압, 전류 파형
Fig. 3. Waveforms of the test voltages and currents in TN-b system

TN-b계통에 대해서 IEC규격에서는 U_1 (변압기 저압측 권선의 스트레스전압)만을 고려한 과전압대책이 고려대상으로 이 시험에서는 1,570 V 정도까지 나타났다. U_{f2} (접촉전압)보호대책에 대해서는 별도고려하지 않아도 되는 것으로 되어 있으나, 실증시험 결과는 R_P 와 R_B 가 충분히 이격(20 m 이상)되지 않으면 스트레스전압 및 접촉전압에 대한 과전압보호대책이 필요한 것으로 나타났다.

3.3 TT-a계통

TT-a계통에서 측정한 각 전압, 전류의 파형을 그림 4에 나타내었다. 이때 지락고장전류는 257.4 A이다 U_{f2} 는 부하기기의 접지점으로부터 1 m 이격한 곳에서 부하기기 외함에 접촉했을 때의 예상접촉전압으로서 $U_{f2} \approx 0$ 이어야 하나 $U_2=975 V$ 근처에서 부하기기의 절연파괴로 인하여 높은 전압이 나타났으며, $U_2=975 V$ 이하에서는 측정오류가 발생하였다.

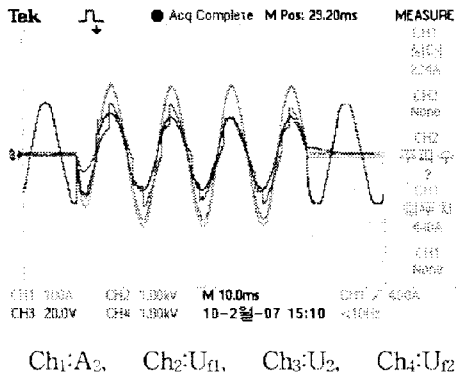


그림 4. TT-a계통에서 시험전압, 전류 파형
Fig. 4. Waveforms of the test voltages and currents in TT-a system

TT-a계통에 대해 IEC규격에서는 U_2 (지락고장시 저압기기의 상도체와 외함사이의 상용주파스트레스전압)만이 과전압보호를 위한 대책을 고려하는 대상으로 되어 있고, 고장전압(U_{R2})대책에 대해서는 별도로 고려하지 않아도 되는 것으로 되어 있다. 실증시험결과 최대전류에서는 부하기기 절연파괴로 소기의 측정결과를 얻을 수 없었으나, 절연파괴 이전의 시험전류에서는 IEC의 식과 일치함을 알 수 있었다.

3.4 TT-b계통

TT-b계통에서 측정된 각 전압, 전류의 파형을 그림 5에 나타내었다. 이때 지락고장전류는 257.4 A이다. TT-b계통에 대해 IEC 60364-4-44규격에서는 U_1 만이 고려대상인 것으로 되어 있으나 R_P , R_B 및 R_A 간의 이격거리, 고장전류의 크기 및 대지저항률 등에 따라 U_{R2} 도 고려대상으로 판단되었다.

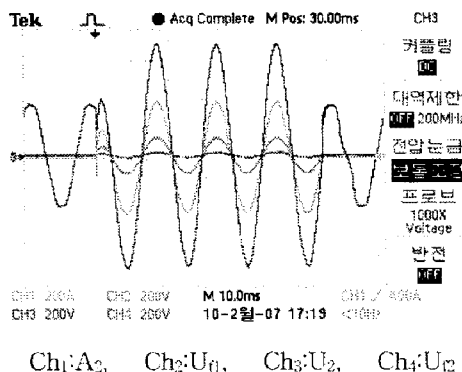


그림 5. TT-b계통에서 시험전압, 전류 파형
Fig. 5. Waveforms of the voltages and currents in TT-b system

각 접지계통에 대해 지락고장전류를 최대로 하였을 때의 접지계통별 실증시험 결과를 표 1에 요약하여 나타내었다.

표 1. 접지계통별 시험결과

Table 1. Test results by grounding systems

계통 방식	A_1	V_2	U_1	U_2	U_{R2}
TN-a	251.7	1,739.5	124	123.0	1612.2
	254.6	2,022.3	124	123.0	1753.6
TN-b	254.6	2,192.0	1,570	121.6	435.5
	244.7	2,149.6	1,485	120.2	469.5
TT-a	258.8	1,668.8	126	169.7	1272.7*
	247.5	1,895.0	124	169.7	1336.4*
TT-b	246.1	2,149.6	1,584	165.5	277.1
	246.1	2,121.3	1,584	164.0	243.2

A_1 : 지락고장전류, U_1 : 변압기 스트레스전압
 U_2 : 부하설비 스트레스전압, V_2 : R_P 접지점의 전위
 U_{R2} : 부하설비 외함의 접촉전압,
 *부하기기의 절연이 파괴된 이후의 측정값

4. 결론

22.9 kV-Y 배전계통에서 1차측 지락고장시 저압계통에 접속되는 기기와 인체의 안전성 검토를 위한 실험적 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 현재 22.9kV-Y중성선/변압기외함/저압중성선접지를 공통으로 접속하는 경우 수용가 내에서의 등전위접속이 필수적이다.
- (2) 고압측 지락시 저압측에 대한 과전압보호를 위해서는 고압계통과 저압계통을 공통접지방식으로 하고 등전위접속을 하여야 한다.
- (3) IEC규격의 계산식과 실증시험결의 분석에서, IEC규격의 계산식($U_1 = I_m \times R + U_0$)은 최악조건을 제시한 식이거나, 또는 변압기의 극성을 고려하지 않은 식으로 판단되나 고압측과 저압측의 공칭전압의 차이가 크지 않은 경우에는 변압기 권선의 극성(가극성/감극성)이 접지설계에 큰 변수로 작용할 수 있다.

감사의 글

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업연구개발 사업에 의해 작성되었습니다.

참고 문헌

- (1) CENELEC HD 637 S1 "Power installations exceeding 1kV a.c."
- (2) IEEE 80-2000 "Guide for Safety in AC Substation Grounding"
- (3) IEE Wiring Regulations, BS 7671 : 2001 Requirements for Electrical Installations
- (4) National Electrical Safety Code(NESC), C2-2002
- (5) IEC 61936-1 "Power installations exceeding 1 kV a.c. - Part : Common rules" 2002. 10.
- (6) KS C IEC 60364 건축전기설비, 2002. 10