

배전계통에서 전력용 변압기의 접지저항 영향에 관한 연구

(A Study on the Grounding Resistance Effects of Power Transformer
in Electric Distribution Systems)

김경철* · 정지원 · 이규진 · 이강수 · 최선규

(Kyung-Chul Kim · Ji-Won Jung · Kyu-Jin Lee · Kang-Soo Lee · Sun-Kyu Choi)

요 약

안전한 접지설계는 사고 시에 대지로 고장전류를 흘려보내는 수단과 인체가 사고기기에 접촉 시에 위험에 노출되지 않도록 하는데 있다. 변압기 중성점 접지는 1선 지락사고 시 중성점전위가 허용치 이하가 되도록 접지되어야 한다. 변압기 외함 접지는 절연사고로 외함에 전류가 흐를 때 인체 허용전압과 전류 이내로 저감시키는 목적으로 사용되고 있다. 본 논문에서는 사고 시 중성점 전위와 접촉전압을 계산하여 배전 변압기의 접지저항 영향을 심도있게 분석하였다.

Abstract

A safe grounding design is used for providing means to carry electric currents into the earth under fault conditions without exceeding any operating limits and for assuring that a person in the vicinity of grounded facilities is not exposed to danger of critical electrical shock. Transformer neutral point grounding is for the purpose of controlling the voltage to earth within tolerable limits under a line-to-ground fault. Transformer frame grounding is for the purpose of minimizing the hazardous potential within safety criteria appearing at the faulted equipment. This paper deeply investigates the grounding resistance effects of distribution power transformers by analysing the neutral to earth voltages and touch voltages when the fault occurs.

Key Words : Transformer Grounding Resistance, Neutral To Earth Voltage, Touch Voltage, Safety Criteria

1. 서 론

변압기를 비롯한 전기기기의 접지는 고저압 혼촉시의 저압측 전위상승 억제, 지락사고 발생시 인체에 걸리는 분담 전압의 억제, 이상전압 억제에 의한 절연계급의 저감, 보호계전기 동작 확실화 등의 목적으로 매

* 주저자 : 홍익대학교 전기공학과 교수
Tel : 041-860-2568, Fax : 041-863-7605
E-mail : yangjier@hongik.ac.kr
접수일자 : 2010년 1월 13일
1차심사 : 2010년 1월 14일
심사완료 : 2010년 1월 26일

우 중요한 역할을 하고 있다[1-4].

배전 변압기의 접지저항은 중성점에 접속되는 접지저항과 변압기 외함에 접속하는 외함 접지저항으로 나눌 수 있다.

전선로라든지 기기의 절연이 열화해서 고저압선에 혼축이 일어나면 저압선로에 고전압이 침입해서 인체에 위해를 주거나 전기기기를 손상시킨다. 일반적으로 고전압의 침입을 막기 위해서 변압기의 저압측 중성점에 접지공사로 접지한다. 또한 고압선로에 지락 고장시의 전압상승을 억제하기 위해서 중성점에 접지를 하고 있다. 접지저항의 크기는 고저압 혼축 사고 시 저압선의 전압상승이 제한치 내로 되게끔 1선 지락 전류를 사용해서 배전변압기의 접지저항을 계산해서 선정하고 있다. 변압기의 중성점 접지저항 설정 근거로는 접지저항에 걸리는 전압, 즉 중성점 전위상승 한도가 있다. 중성점 전위상승 한도로는 CCITT[5]가 1,000[V] 이하, IEC 60364[6]에서는 1,200[V] 이하로 규정하고 있으며 국내에서는 1,000[V]이하로 설정하고 있다.

변압기 외함 접지저항의 설정근거로는 인체의 허용 전류나 허용전압을 근거로 계산할 수 있다[3, 7, 8].

본 논문에서는 사례연구 배전시스템을 구성하고, 모델링하여 배전선로에 1선 지락사고가 발생했을 때, 배전변압기 중성점 접지저항을 변화시키면서 고장전류, 중성점 전위상승 등을 구하여 접지저항 영향을 분석하고자 한다. 또한 배전변압기에서 절연사고가 발생한 경우에 변압기의 외함에 인체가 접촉한 상황을 모의하여 변압기 외함 접지저항을 변화시키면서 인체의 감전전류, 접촉전압 등을 구하여 변압기 접지저항 영향을 심도있게 분석하고자 한다.

2. 변압기 중성점 접지저항 영향

변압기 중성점 접지저항 설정근거는 중성선 전위상승 한도를 근거로 계산한다. 일반적으로 1선 지락 사고 시 고장전류를 계산하고, 변압기 접지저항에 걸리는 전압을 구한다.

변압기 접지저항 영향을 사례연구 시스템(그림 1)으로 파악하고자 한다.

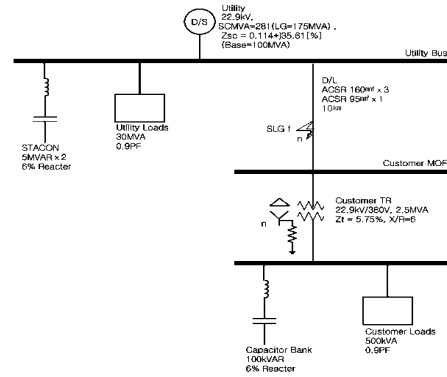


그림 1. 사례연구 시스템
Fig. 1. Distribution system under study

사례연구 시스템은 배전 변전소에서 수용가에 전력을 공급하는 간단한 배전시스템을 구성한 것이다. 배전 변전소는 공급전압이 22.9[kV], 단락용량이 281[MVA], 단락임피던스는 100[MVA] 기준으로 $0.114+j35.61[\%]$ 이다. 전력회사는 6[%] 리액터를 가진 5[MVAR] 스타콘 2대가 배전 전압을 조절한다. 전력회사 부하는 30[MVA], 역률 90[%]이다.

배전선로는 ACSR 160[mm]²×3 이고, 100[MVA]기준으로 선로 임피던스는 $3.47+j7.46[\%/km]$ 이다. 중성선은 ACSR 95[mm]²×1이고, 선로 임피던스는 $5.8+j8.41[\%/km]$ 이다. ACSR 160[mm]²와 ACSR 95[mm]²의 영상 임피던스는 $11.99+j29.26[\%/km]$ 이다. 선로길이는 10[km]이다.

수용가 변압기는 조명부하용 1,000[kVA], 동력부하용 1,500[kVA] 2대가 있다. 편의상 한 대로 등가 변환하여 22.9kV/380V, 2,500[kVA], 임피던스 $Z_t=5.75[\%]$, $X/R=6$ 이라 한다.

수용가의 캐패시터 뱅크는 100k[VAR]이고, 6[%] 리액터가 직렬로 연결되어 있다. 부하는 500[kVA], 역률 90[%]이다.

배전선로의 1선이 수용가 변압기에 가까운 지점에서 중성선에 지락사고가 발생했을 때, 고장전류와 중성선 전위상승을 구한다.

사례연구 시스템의 입력데이터를 아래와 같이 구한다.

전력회사 측의 데이터를 구한다.

$$S_b = 100[MVA]$$

$$V_s = 22.9[\text{kV}]$$

$$\text{SCMVA} = 281$$

$$Z_{sc} = 0.114 + j35.61[\%]$$

전력회사의 부하 데이터를 구한다.

$$22.9[\text{kV}]$$

$$30[\text{MVA}]$$

$$\text{PF } 90[\%]$$

전력회사의 STACON(Static Condenser) 데이터를 구한다.

$$22.9[\text{kV}]$$

$$\text{Capacitor } 10[\text{MVAR}]$$

$$X_c = \frac{22.9^2}{100} = 5.2441 [\Omega]$$

$$X_L = 0.06 \times X_c = 0.3147 [\Omega]$$

배전선로의 데이터를 구한다.

가공선로: ACSR 160[mm]²×3

$$Z_1 = 3.47 + j7.46[\%/km]$$

$$= 0.182 + j0.3912[\Omega/km]$$

$$Z_0 = 11.99 + j29.26[\%/km]$$

$$= 0.6288 + j1.5344[\Omega/km]$$

중성선: ACSR 95[mm]²×1

$$Z_1 = 5.8 + j8.41[\%/km]$$

$$= 0.3042 + j0.441[\Omega/km]$$

$$Z_0 = 0.6288 + j1.5344[\Omega/km]$$

중성선 등가임피던스를 구한다. 중성선은 일정 간격으로 배전전주의 접지저항과 연결된 것으로 한다(그림 2).

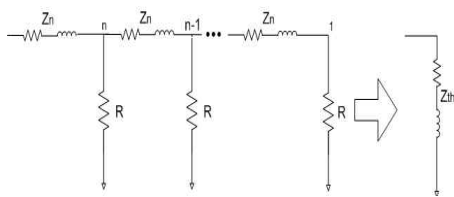


그림 2. 중성선 등가임피던스
Fig. 2. Neutral line equivalent circuit

그림 2에서 R은 배전 전주의 접지저항[Ω]이고, Z_n은 단위 간격당 중성선의 임피던스[Ω]이다. 이런 배치의 중성선로는 중성선 등가임피던스 Z_{th}으로 나타낼

수 있다. 일반적으로 중성선이 2[km] 이상이면 아래식이 성립한다.

$$Z_{th} = Z_n + \frac{Z_{th} R}{Z_{th} + R}$$

$$Z_{th} = \frac{Z_n + \sqrt{Z_n^2 + 4Z_n R}}{2}$$

전주간격이 50[m]이고, 전주의 접지저항이 50[Ω]으로 일정하다고 가정한다. 정상 및 역상 임피던스는 아래와 같다.

$$Z_n = 0.01521 + j0.02205[\Omega]$$

$$Z_{th} = 1.0323 + j0.5491[\Omega]$$

영상 임피던스를 계산한다.

$$Z_0 = 0.03144 + j0.07672[\Omega]$$

$$Z_{th0} = 1.7064 + j1.1731[\Omega]$$

수용가 변압기의 데이터를 구한다.

$$22.9[\text{kV}]/380[\text{V}]$$

$$2.5[\text{MVA}]$$

$$Z_t = 5.75[\%]$$

$$X/R = 6$$

$$\%R = \frac{\%Z}{\sqrt{1 + (\frac{X}{R})^2}} = 0.7453$$

$$\%X = \frac{\%Z}{\sqrt{1 + (\frac{R}{X})^2}} = 5.593$$

수용가 부하데이터를 구한다.

$$380[\text{V}]$$

$$500[\text{kVA}]$$

$$\text{PF } 90[\%]$$

수용가 캐패시터 뱅크 데이터를 구한다.

$$\text{Capacitor } 100[\text{kVAR}]$$

$$X_c = \frac{0.38^2}{0.1} = 1.444 [\Omega]$$

$$X_L = 0.06 \times X_c = 0.08664 [\Omega]$$

EDSA 프로그램[9]을 이용하여 수용가 MOF (Metering Out Fit) 모선에 1선 지락사고가 발생하였을 때, 고장전류와 중성선 전위상승을 구한다.

EDSA는 3상 대칭회로만 해석 가능하므로 변압기 접지저항과 중성선 등가 임피던스를 병렬로 등가 변환하여 지락 임피던스로 입력한다.

1선 지락 고장전류는 아래와 같이 계산된다.

$$I_f = \frac{3E_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0} [A]$$

여기서 E_f 는 사고시 수용가 모선 상전압[V]이고, Z_1 은 정상 임피던스[Ω], Z_2 는 역상임피던스[Ω], Z_0 는 영상임피던스[Ω]이다.

$$Z_0 = Z_0(\text{회로}) + 3Z_{eq0} [\Omega]$$

$Z_0(\text{회로})$ 는 사례연구 시스템의 영상 임피던스[Ω]이고, Z_{eq0} 는 변압기 접지저항과 중성선 등가 임피던스가 병렬로 계산된 등가 영상 임피던스[Ω]이다.

변압기 중성점 접지저항이 중성선에 접속되지 않을 경우(without Z_{th})의 중성점 전위 V_{ng} 는,

$$V_{ng} = I_{fg} R_g [V]$$

여기서 I_{fg} 는 고압측 1선 지락전류[A]이고, R_g 는 변압기 중성점 접지저항[Ω]이다.

변압기 중성점 접지저항이 중성선에 접속된 경우(with Z_{th})의 중성점 전위 V_{ne} 는,

$$V_{ne} = I_{fc} Z_{eq} [V]$$

$$Z_{eq} = \frac{R_g Z_{th}}{R_g + Z_{th}} [V]$$

여기서 I_{fc} 는 중성점을 고려한 전류[A]이고, Z_{eq} 는 변압기 중성점 접지저항과 중성선 등가임피던스의 병렬 회로 임피던스[Ω]이다.

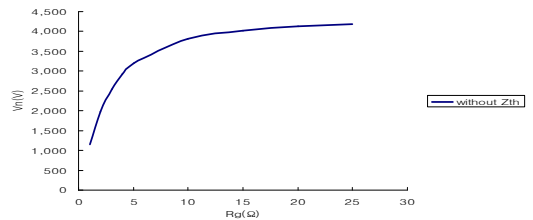
변압기 접지저항 R_g 을 0~100[Ω]까지 변화시킨 후, EDSA 프로그램으로 고장계산을 하면 표 1을 얻을 수 있다.

그림 3은 표 1의 데이터를 그래프로 나타낸 것이다. 변압기 접지저항을 0~25[Ω]까지만 표시한다.

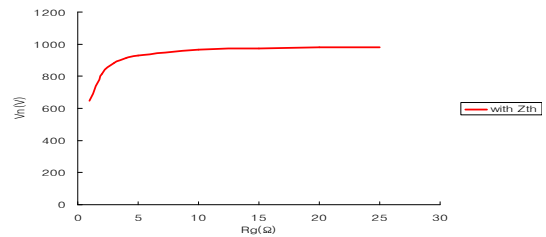
변압기 접지저항만 있을 경우, 지락전류 크기는 변압기 접지저항이 0~100[Ω]까지 커지면 상대적으로 1,303~44[A]으로 작아진다. 중성점 전위는 변압기 접지저항이 1~100[Ω]까지 커지면 상대적으로 1,152~4,360[V]으로 증가한다. 특히 중성점 전위상승 한도인 1,000[V]를 모두 초과하여, 변압기 접지저항 만으로는 기준을 충족할 수가 없다.

표 1. 변압기 접지저항 영향 - 중성점 전위와 고장전류
Table 1. Transformer grounding resistance effects-neutral voltage and fault current

	without Z_{th}		with Z_{th}	
	I_{fg} (A)	V_{ng} (V)	I_{fc} (A)	V_{ne} (V)
0	1303.1	0	1303.1	0
1	1151.5	1,152	1164.8	647
2	989.0	1,978	1074.9	816
3	847.1	2,541	1021.9	881
4	731.7	2,927	988.2	913
5	639.5	3,198	965.1	931
10	381.4	3,814	911.8	965
15	268.4	4,026	891.7	975
20	206.5	4,130	881.3	980
25	167.6	4,190	874.9	982
30	140.9	4,227	870.5	984
40	106.9	4,276	865.0	986
50	86.1	4,305	861.7	987
100	43.6	4,360	855.0	989



(a) 변압기 접지저항만 고려한 경우



(b) 중성선 등가 임피던스를 포함한 경우

그림 3. 변압기 접지저항 영향 - 중성점 전위
Fig. 3. Transformer grounding resistance effects - neutral voltage

변압기 접지저항을 중성선에 접속 후에 접지한 경우, 지락전류 크기는 변압기 접지저항이 0~100[Ω]까지 커지면, 1,303~855[A]까지 조금씩 작아진다. 중성점 전위는 변압기 접지저항이 1~100[Ω]까지 커지면 647~989[V]으로 서서히 증가하지만 990[V]정도에 수렴한다. 특히 변압기 접지저항의 크기에 상관없이 모두 중성점 전위 상승 한도인 1,000[V] 이하이다.

3. 변압기 외함 접지저항 영향

변압기의 외함 접지저항의 한계값은 인체의 허용전류와 허용전압을 근거로 계산할 수 있다.

그림 4에 보인 배전계통의 변압기 결선에 대하여 변압기 외함 접지저항의 영향을 분석하고자 한다.

그림 5는 절연사고 시 인체 접촉회로를 나타낸 그림이고, 그림 6은 그림 5를 등가회로로 나타낸 것이다.

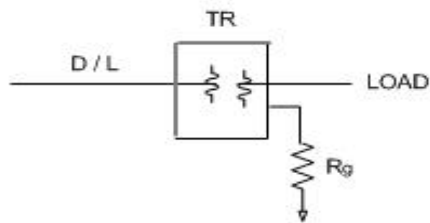


그림 4. 배전계통의 변압기 결선
Fig. 4. Transformer layout in distribution system

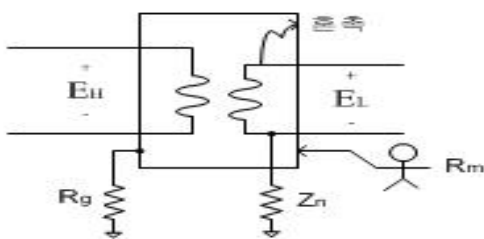


그림 5. 절연사고 시 인체접촉회로
Fig. 5. Human contact circuit at the insulation breakdown

그림 4~6에서 E_H =고압측 상전압[V], E_L =저압측 상전압[V], R_g =변압기 외함 접지저항[Ω], R_L =변압기 저압측 접지저항[Ω], E_t =접촉전압[V], R_m =인체 등가저항[Ω]이다.

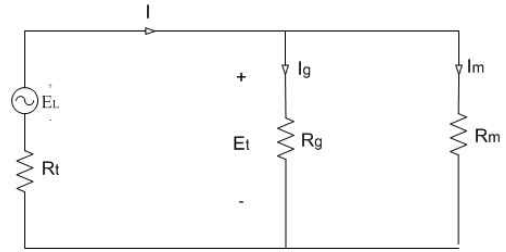


그림 6. 절연사고 시 인체접촉 등가회로
Fig. 6. Human contact equivalent circuit at the insulation breakdown

그림 6의 등가회로에서 인체의 감전전류 I_m [A]와 접촉전압 E_t [V]는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$I_m = \frac{E_L}{R_t + \frac{R_g R_m}{R_g + R_m}} \cdot \frac{R_g}{R_g + R_m} \quad [A]$$

$$E_t = R_m I_m \quad [V]$$

IEEE Std 80-2000[3]에서 위험전압을 계산 시에는 인체 등가저항을 아래 식으로 나타낸다.

$$R_m = R_B + 1.5\rho \quad [\Omega]$$

여기서 R_B 는 인체저항으로 1,000[Ω]이 사용되며, ρ 는 대지저항률[Ω·m]이다.

그림에서 변압기의 2차 상전압 $E_L=220$ [V], 변압기 저압측 중성점 접지임피던스 $R_t=10$ [Ω], 사람이 위치한 곳의 대지저항률 $\rho=100$ [Ω·m]이라면 인체 등가저항 $R_m=1,150$ [Ω]일 때, 변압기 외함 접지저항 R_g [Ω]를 변화시키면서 인체의 감전전류 I_m [mA]와 접촉전압 E_t [V]을 구하여 정리하면 표 2, 그림 7과 같다.

변압기의 외함의 접지저항이 커지면 인체의 감전전류와 접촉전압이 상승한다. 즉, 최대 허용 접촉전압을 지키려면 변압기 외함의 접지저항은 작을수록 양호하다. IEEE Std 80-2000에 따르면 최대 허용 접촉전압은 133.4[V](인체저항 1,000[Ω], 대지저항률 100 [Ω·m], 접촉시간 1.0[sec]로 가정)이므로, 사례연구인 경우에 적용하면 변압기 외함의 접지저항은 15[Ω]이하가 적당하다(R_g 가 15[Ω]일 때, E_t 는 131.31[V]).

배전설계기준에는 변압기는 외함과 저압측 중성점을 중성선에 접속 후 접지하도록 되어있다.

표 2. 변압기 외함 접지저항에 대한 감전전류와 접촉전압 - 개별접지

Table 2. Human contact current and touch voltage at the transformer frame grounding resistance - individual grounding

$R_g(\Omega)$	$I_m[mA]$	$E_t[V]$
5	63.58	73.12
10	95.24	109.52
15	114.19	131.31
20	126.80	145.82
25	135.80	156.17
30	142.55	163.93
40	151.99	174.78
50	158.27	182.01
100	172.55	198.43

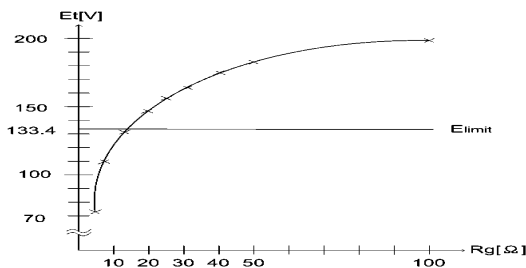


그림 7. 변압기 외함 접지저항에 대한 접촉전압의 변화 - 개별접지

Fig. 7. Touch voltage variation for the transformer frame grounding resistance - individual grounding

중성선에 변압기 저압측 중성점과 변압기 외함 접지 저항이 접속된 경우의 인체 감전전류 $I_m[A]$ 과 접촉전압 $E_t[V]$ 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$I_m = \frac{E_L}{Z_{tr} + \frac{Z_{tg} R_m}{Z_{tg} + R_m}} \cdot \frac{Z_{tg}}{Z_{tg} + R_m} [A]$$

$$E_t = R_m I_m [V]$$

여기서, Z_{th} 는 중성선 등가 임피던스이다.

$$Z_{tr} = \frac{Z_{th} R_t}{Z_{th} + R_t}$$

$$Z_{tg} = \frac{Z_{th} R_g}{Z_{th} + R_g}$$

그림 1의 배전계통 사례연구 시스템의 데이터를 적용하면, 중성선의 등가임피던스 Z_{th} 는

$$Z_{th} = 1.0323 + j0.5491 [\Omega] \text{이다.}$$

변압기 외함 접지저항 R_g 를 변화시키면서 인체감전 전류 $I_m[A]$ 과 접촉전압 $E_t[V]$ 을 구하여 정리하면 표 3, 그림 8과 같다.

표 3. 변압기 외함 접지저항에 대한 감전전류와 접촉전압 - 중성선 접지

Table 3. Human contact current and touch voltage at the transformer frame grounding resistance - neutral line grounding

$R_g(\Omega)$	$I_m[mA]$	$E_t[V]$
5	86.56	99.54
10	90.89	104.52
15	92.42	106.28
20	93.20	107.18
25	93.67	107.72
30	93.99	108.09
40	94.39	108.55
50	94.63	108.83
100	95.12	109.39

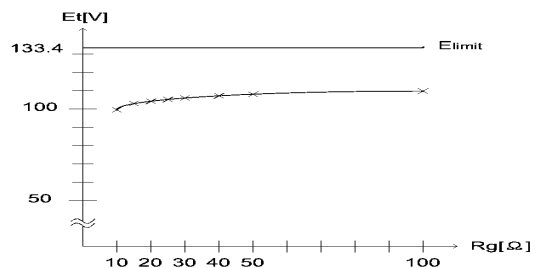


그림 8. 변압기 외함 접지저항에 대한 접촉전압의 변화 - 중성선 접지

Fig. 8. Touch voltage variation for the transformer frame grounding resistance - neutral line grounding

변압기 외함의 접지저항이 커지면 인체의 감전전류와 접촉전압이 약간 상승하지만, 개별 접지보다는 상승속도가 느리고 거의 변화 없이 수렴한다. 즉, 변압기 외함 접지저항을 중성선에 접속시키면 변압기 외함 접지저항값의 크기에 영향을 받지 않고, IEEE Std 80-2,000의 최대 허용접촉전압 이내로 유지된다.

4. 결 론

전기기기의 접지는 고장전류를 대지로 흘려보내는 역할과 더불어 지락사고 발생 시 중성점 전위상승 억제, 절연불량으로 인한 기기 외함의 누전으로 발생할 수 있는 인체의 전기적 충격을 완화시키는 중요한 역할을 담당하고 있다. 배전변압기의 중성점 접지저항과 외함 접지저항의 크기에 따라 변하는 중성점 전위상승과 인체의 접촉전압을 사례연구로 확인하였다.

변압기 중성점 접지저항의 영향은 사례연구 시스템을 구성하여, 변압기 고압측이 1선 지락사고 시에 변압기 저압 측의 중성점 전위상승을 계산하였다. 변압기 중성점 접지저항이 1~100[Ω]까지 변화시키면, 중성점 전위는 1,152~4,360[V]까지 상승하게 되었고, 모두 중성점 전위상승 한도인 1,000[V]를 초과하였다. 그러나 변압기 중성점 접지저항을 배전계통의 중성선에 접속시키면, 중성점 접지저항이 1~100[Ω]까지 변화할 때 중성점 전위는 647~989[V]으로 약간씩 증가하였고, 접지저항의 크기에 상관없이 모두 중성점 전위상승 한도 이내로 유지되었다.

변압기 외함 접지저항의 영향은 사례연구 시스템을 구성하여, 변압기 권선의 절연 파괴시 인체의 혼촉으로 인한 접촉전압을 계산하였다. 변압기 외함 접지저항이 5~100[Ω]까지 변화시키면, 인체의 접촉전압은 73~198[V]까지 상승하게 되었고, IEEE Std 80 기준인 최대 허용접촉전압 133.4[V]를 유지하기 위해서는 변압기 외함 접지저항은 15[Ω]이하가 되어야 한다. 그리고 변압기 외함 접지저항을 배전설계 기준에 따라 배전계통의 중성선에 접속시키면, 변압기 외함 접지저항이 5~100[Ω]까지 변화할 때 인체의 접촉전압은 99~109[V]으로 조금씩 증가하였고, 접지저항의 크기에 상관없이 모두 최대 허용접촉전압 한계 이내로 유지되었다.

배전변압기의 접지는 중성점 접지와 외함접지가 있는데, 중성점 접지는 지락사고 시 중성점 전위상승을 억제하고, 외함 접지는 절연사고 시 인체의 감전전류나 접촉전압을 허용값 이내로 유지하는 목적으로 매우 중요한 역할을 하므로, 배전변압기 접지는 설비기준에 따라 중성선에 접속해야 하고 접지저항 크기는

중성점 전위상승 한도와 최대 허용접촉전압 한계치 이내로 설계되어야 한다고 사료된다.

References

- [1] IEEE Std 142-2007, IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants.
- [2] IEEE Std 1100-2005, IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment.
- [3] IEEE Std 80-2000, IEEE Guide for Safety in Ac Substation Grounding.
- [4] NESC(National Electrical Safety Code), 2006 Edition.
- [5] CCITT(International Telegraph and Telephone Consultative Committee) Recommendation, 1993.
- [6] IEC 60364, The International Electrotechnical Commission.
- [7] L.Yu and R.T.Book, "Safety Design Considerations for AC Low-Voltage Distribution Systems", IEEE Trans. on Industry Applications, JAN/FEB 1993.
- [8] G.Parise, "A Summary of the IEC Protection Against Electric Shock", IEEE Trans. on Industry Applications, SEP/OCT 1998.
- [9] EDSA User's Guide, "Short Circuit Analysis Program", EDSA Micro co., 2009.

◆ 저자소개 ◆

김경철(金慶哲)

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

정지원(鄭地元)

1984년 3월 18일생. 2010년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 2010년~현재 홍익대학교 대학원 전기공학과 석사과정.

이규진(李圭珍)

1984년 6월 22일생. 2009년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 2009년~현재 홍익대학교 대학원 전기공학과 석사과정.

이강수(李康洙)

1966년 5월 15일생. 1992년 홍익대학교 전기제어공학과 졸업. 1992년~현재 (주)한화건설근무. 2009년~현재 홍익대학교 대학원 전기공학과 석사과정.

최선규(崔璇奎)

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