

배전용 접지전극의 안전성 분석 장치 구성

(The Construction of Safety Measurement Equipment of Grounding Electrode for Distribution System)

강문호* · 박영근 · 장상옥 · 왕윤찬 · 이흥호

(Moon-Ho Kang · Young-Keun Park · Jang-Sang Ok · Yoon-Chan Won · Heung-Ho Lee)

Abstract

Grounding electrodes as discharge paths to the earth are normally used to ensure the safety of human body and facilities from the over-voltages in distribution power system, and each grounding mode has a prescribed ground resistance value respectively which is applied by the utilities. As the various electrodes for distribution power system are recently developing to improve the performance of them and resolve the problem of space restriction, it is necessary to measure and investigate the safety of human body of developed electrodes. Therefore, in this paper, we provide briefly a technical comparison of two standards, i.e. IEEE Std 80 and the IEC 479-1, and describe the configuration of safety measurement system which can measure the step voltage and the touch voltage of grounding electrodes based on IEEE Std 80.

1. 서론

접지전극은 고장전류를 대지로 안전하게 유출함으로써 안정적인 선로운영과 지표면 전위상승에 의한 감전사고 방지를 설치목적으로 볼 수 있으며, 또한 지표면 전위상승에 의한 감전사고는 아래와 같은 조건을 만족해야 하기 때문에 현실적으로 발생 가능성은 매우 희박하다.

- ① 충분히 큰 고장전류, 접지저항 값 및 대지저항률 등으로 지표면에 높은 전위경도 발생
- ② 높은 전위차를 발생하는 시간 및 장소에 위치
- ③ 안전한계를 초과하는 접촉저항의 유지
- ④ 충분한 인체통전시간

최근 접지전극의 설치공간의 제약 해소와 경년특성을 개선한 배전용 접지전극이 다양하게 개발되고 있어 이들에 대한 실증시험에 의한 검토가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 전기 안전성 측면을 고려하여 접지전극의 성능을 검토하기 위해 국제적으로 폭넓게 적용되고 있는 IEEE Std 80과 IEC 479-1 기준을 비교하였다. 비교결과에 따라 접지전극의 안전성 검토에 충분한 파라메타가 제공되는 IEEE Std 80 기준을 적용한 배전계통 접지전극의 보폭전압과 접촉전압 측정을 위한 안전성 측정 시스템의 구성하였으며, 이를 이용하여 배전용 콘크리트 전주와 접지동봉의 이격거리 축소에 따른 인체 안전성을 검토하였다.

2. 본론

2.1 신개발 접지전극

전력계통의 최전방인 배전선로는 고객과의 접경에서 무정전·고품질의 전력을 공급하기 위해 구성되고 있다. 그러나 대도시지역의 님비현상으로 필요한 접지 저항값을 얻기 위한 접지전극 설치장소를 구하기 어려워지고 있다. 최근 이러한 접지전극의 시공 공간에 대한 제약을 극복하고 또한 경년특성을 개선하기 위해 전주용 접지장치, 심타용 접지봉, 고강도 접지 저감판(봉) 등 다양한 배전용 접지전극이 개발되고 있다.

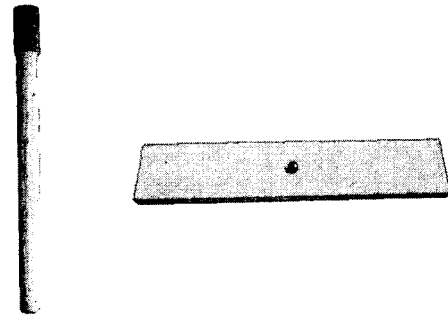


그림 1. 고강도 접지저감봉 및 판

Fig. 1. Magic Pole and Plate

2.2 접지기준 비교

IEEE Std 80은 2000년에 접촉전압 및 보폭전압의 계산식의 확장, 감쇄계수곡선의 변경, 다층토양에 대한 고려 등의 내용을 추가하여 개정되었으며, IEC 479-1은 1994년에 인체 임피던스와 통전전류의 주파수 및 파형에 대한 연구내용 등을 추가하여 개정되었다[2].

따라서 국내 배전용 접지전극이 다양하게 개발되고 있어 이들에 대한 인체 안전성을 검토하기 위해 IEEE Std 80-2000과 IEC 479-1:1994 두 기준을 비교하였다. 비교결과 IEC 479-1:1994는 의학적인 접근방법으로 인해 안전성 검토에 필요한 파라메타가 충분히 제공되지 않았다. 그러나 IEEE Std 80은 전기 해석적인 접근방법에 의해 접지전극의 인체 안전성을 검토하기 위해 필요한 파라메타가 충분히 제공되고 있었다. 아래 표 1에 인체 감전모델을 바탕으로 두 기준에서 제시하는 파라메타를 나타내었다.

표 1. IEEE Std 80과 IEC 479-1 비교
Table 1. Comparison of IEEE Std 80 and IEC 479-1

	IEEE Std 80	IEC 479-1
인체저항(R)	1,000Ω	전압과 주파수 경로에 따라 변동
발 전극(Z)	1.5C×p(접촉전압) 6.0C×p(보폭전압)	지침없음
인체전류(I)	0.116/√t (50kg) 0.157/√t (70kg)	I-T 커브
접촉(보폭)전압	(R + Z) × I	지침없음
접 근 방식	전기해석적 방식	의학적 방식

따라서 본 논문에서는 실증시험을 통해 해석적으로 접지전극의 안전성을 검토하기 위해 감전모델의 해설에 필요한 개별 규정값이 충분히 제공되고 있는 IEEE Std 80을 분석기준으로 선정하였다.

2.3 IEEE Std 80-2000[1]

IEEE Std 80은 인체 감전모델을 기초로 하고 있으며 Dalziel 교수의 실험식을 기초한 99.5%가 생존 가능한 전류를 허용 최대 인체전류로 사용하고 있다. 체중이 50kg 및 70kg인 경우 허용 최대 인체전류는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{B50} = \frac{0.116}{\sqrt{t}} [A] \quad I_{B70} = \frac{0.157}{\sqrt{t}} [A]$$

허용 최대 인체전류를 감전모델에 적용하여 최대 접촉전압과 최대 보폭전압을 산정함으로써 접지전극의 안전성을 검토하고 있으며, 최대 접촉전압과 최대 보폭전압 해석을 위한 등가회로는 아래의 그림 2 및 3과 같이 나타낼 수 있다.

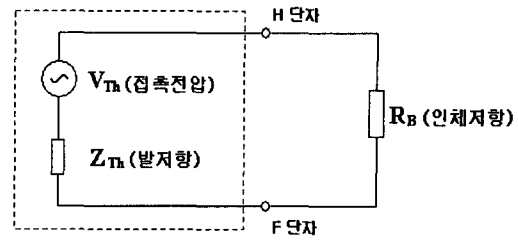


그림 2. 접촉전압 회로도
Fig. 2. Touch Voltage Circuit

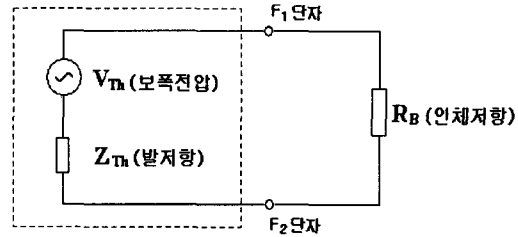


그림 3. 보폭전압 회로도
Fig. 3. Step Voltage Circuit

인체저항은 손과 발의 접촉저항 및 신발과 장갑의 저항을 고려하지 않는 조건에서 1,000[Ω]을 사용하고 있다. 발 저항은 접촉면적을 고려하여 반경 0.08[m]인 금속원판으로 모의하며 아래의 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_F = \frac{\rho}{4b} = \frac{\rho}{4 \times 0.08} = 3.125\rho \approx 3\rho$$

따라서 접촉전압의 발 저항(병렬)은 1.5ρ로 나타내며, 보폭전압의 발 저항(직렬)은 6.0ρ와 같다.

이러한 파라메타를 바탕으로 IEEE Std 80에서 규정하고 있는 허용 최대 접촉전압(E_{Touch}) 및 보폭전압(E_{Step})은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$E_{Touch} = (1,000 + 1.5C_S\rho_S) \frac{0.116}{\sqrt{t}}$$

$$E_{Step} = (1,000 + 6.0C_S\rho_S) \frac{0.116}{\sqrt{t}}$$

여기서 C_S 는 지표층 감쇄계수를 나타내며, 도심지와 같이 도로가 보도블록 또는 콘크리트와 같은 상부에 높은 저항률의 지층이 포장된 경우와 같이 발과 대지사이의 접촉저항이 증가하여 인체전류가 감소되는 것을 고려한 값이다.

2.4 분석장치의 구성

배전용 접지전극의 안전성 측정 시스템은 크게 시험전류 주입용 전원장치와 인체모의장치 그리고 데이터 취득 및 분석 장치로 구성된다. 시험전류 주입용 전원장치는 대지에 흐르는 표류전류의 효과를 최소화하기 위해 50[Hz] 전류를 주입할 수 있는 독립전원 발생장치, 전압조정기와 절연변압기로 구성하였으며, 인체모의장치는 안전성 검토 기준에 따라 1,000[Ω] 인체 내부저항과 반지름 0.08[m]인 동 원판으로 모의한 발 전극으로 구성하였다. 이와 같이 구성된 안전성 분석 시스템의 구성도를 아래의 그림 4에 나타내었다[3].

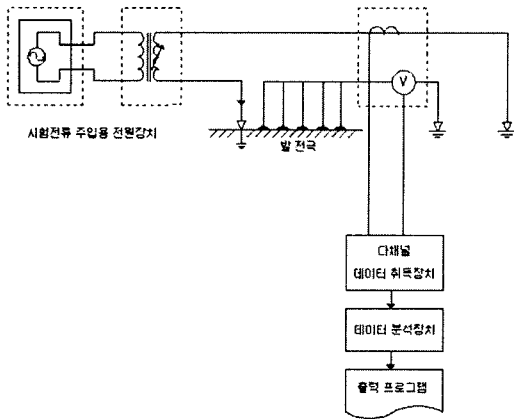


그림 4. 안전성 분석 장치 구성
Fig. 4. Formation of Safety Measurement Equipment of Grounding Electrode

접촉전압은 발 전극 2개를 병렬로 설치하고 그림 2와 같이 전압을 측정할 수 있으며, 보폭전압의 경우 최대 14개까지 대상 접지전극 인근 지표면의 전위를 측정할 수 있도록 구성하였다.

2.5. 실증시험

국내 배전선로의 지지물로는 콘크리트 전주가 주로 사용되며, 접지전극으로는 접지동봉이 주로 사용되고 있다. 또한 전주와 접지전극 간에는 50[cm]이상 이격하도록 규정하고 있다. 대도시의 경우 이격거리를 확보하기 어려운 경우가 많이 발생하고 있어 본 장비를 이용하여 이격거리를 축소할 경우에 대한 접촉전압의 변화를 시험하였다. 시험에 따라 본 분석장치를 이용해 측정된 실증시험 데이터를 아래의 그림 5에 나타내었다. 다중접지 배전계통의 지락고장전류는 선로의 구성 임피던스에 따라 중성선과 접지선으로 분류한다. 최근 발표된 자료에 기초하여 배전계통 고장전류 분류율을 5[%]로 가정하여 접촉전압을 구하였으며[4], 아래 표 2에 검토기준에 따른 최대 허용 접촉전압과 비교하였다.

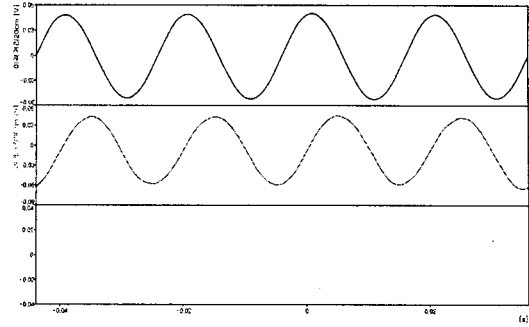


그림 5. 이격거리 축소에 따른 접촉전압 파형
Fig. 5. Touch Voltage Wave by reducing the span

이격거리	접촉전압	고장전류 10kA	허용최대 접촉전압
20cm	0.037 V/A	18.5 V	144 V
30cm	0.037 V/A	18.5 V	144 V
50cm	0.020 V/A	10.0 V	144 V

표 2. 이격거리 축소에 따른 접촉전압
Table 2. Touch Voltage(RMS) by reducing the span

분석 결과 접지동봉을 콘크리트 전주에 근접하여 시공하여도 콘크리트 전주의 부도체 특성으로 인해 접촉전압은 검토기준의 허용 최대 접촉전압을 초과하여 나타나지 않았다.

3. 결론

접지전극은 고장전류를 대지로 안전하게 유출함으로써 안정적인 선로운영과 지표면 전위상승에 의해 감전사고의 방지를 설치목적으로 볼 수 있다. 지표면 전위상승에 의한 감전사고는 아래와 같은 조건을 충족해야 하기 때문에 현실적으로 발생가능성은 매우 적다고 할 수 있다.

- ① 충분히 큰 고장전류, 접지저항 값 및 대지저항률 등으로 지표면에 높은 전위경도 발생
- ② 높은 전위차를 발생하는 시간 및 장소에 위치
- ③ 안전한계를 초과하는 접촉저항의 유지
- ④ 충분한 인체통전시간

최근 접지전극의 설치공간의 제약 해소와 경년특성을 개선한 배전용 접지전극이 다양하게 개발되고 있어 이들에 대한 실증시험에 의한 검토가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 전기 안전성 측면을 고려하여 접지전극의 성능을 검토하기 위해 국제적으로 폭넓게 적용되고

있는 IEEE Std 80과 IEC 479-1 기준을 비교하였다. 비교결과에 따라 접지전극의 안전성 검토에 충분한 파라메타가 제공되는 IEEE Std 80 기준을 적용하여 안전성 측정 장치를 구성하였다. 배전용 접지전극의 안전성 측정 장치는 크게 시험전류 주입용 전원장치와 인체모의장치 그리고 데이터 취득 및 분석 장치로 구성된다. 시험전류 주입용 전원장치는 표류전류의 효과를 최소화하기 위해 50[Hz] 전류를 주입할 수 있는 독립전원 발생장치, 전압조정기와 절연변압기로 구성하였으며, 인체모의장치는 안전성 검토 기준에 따라 1,000[Ω] 인체 내부저항과 반지름 0.08[m]인 동 원판으로 모의한 발 전극으로 구성하였다. 이를 이용하여 배전용 콘크리트 전주와 접지동봉의 이격거리 축소에 따른 인체 안전성을 검토하였다. 검토결과 접지동봉을 콘크리트 전주에 근접하여 시공할 경우 콘크리트 전주의 부도체 특성으로 인해 접촉전압은 검토기준인 IEEE Std 80의 허용 최대 접촉전압을 초과하지 않았다.

참 고 문 헌

- [1] ANSI/IEEE Std 80-2000: "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding", 2000.
- [2] International Electrotechnical Commission IEC Report: "Effects of current passing through the human body, part 1: general aspects", 479-1, IEC 1994
- [3] 강문호, 박상만, 박영근, 이형수, 심건보, "22.9kV 가공배전선로 접지시공 개선에 관한 연구 중간보고서", KEPRI, 2005.
- [4] 임용훈, 현덕화, 최종기, "다중 접지 배전선로 대지유입전류와 중성선의 분류를 해석", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, p.473-475, 2004, 7,