

## 배전용 접지전극 안전성 분석을 위한 국제기준 검토

(Analysis of the International Safety Criteria of IEEE Std 80 and IEC 479-1)

강문호\* · 박재덕 · 이흥호

(Moon-Ho Kang · Jae-Duck Park · Heung-Ho Lee)

### Abstract

To improve the safety of facilities and human beings when the ground fault occurs, public power utility prescribes the reasonable ground resistances, measures and controls the ground resistance of all the ground electrodes biennially. Concerning the safety of human, there are two safety criteria widely accepted, i.e. the IEEE Std 80-2000 and the IEC 479-1:1994. The IEEE Std 80-2000 is based on a simplified electric shock model usually translated into permissible touch and step voltages. The IEC 479-1:1994 is less specific than IEEE Std 80-2000 for analysis purpose. The IEC 479-1:1994 provides values of permissible body current against electric shock duration. This paper provides a technical study of these two standards to analyze the safety of human beings of ground electrodes developed recently for distribution power system.

### 1. 서론

다중접지 전력계통은 접지개소가 많기 때문에 지락과 장 발생시 지표면 전위상승에 의한 보폭전압 안전성과 접지된 구조물과의 접촉에 의한 접촉전압 안전성의 보장은 중요한 관심사항이다. 국내와 같이 60Hz 주파수로 공급되는 전력계통의 경우 고장으로 인한 인체 통전전류와 지속시간은 심실세동을 일으키는 값을 초과하지 않아야 한다. 수년간의 연구를 통해 이러한 안전 한계 값이 규정되었으며, 감전사를 피할 수 있는 인체허용 전류치를 제공하는 IEEE Std 80과 IEC 479-1과 같은 기준들이 만들어졌다.

IEEE Std 80은 2000년에 접촉전압 및 보폭전압의 계산식의 확장, 감쇄계수곡선의 변경, 다층도양에 대한 고려 등의 내용으로 개정되었다. 1994년에 개정된 IEC 479-1은 인체 임피던스와 통전전류의 주파수 및 파형에 대한 연구내용이 추가되었다. 두 기준의 차이는 IEC 479-1은 대지 저항율과 발전극과 같은 접지설계에 필요한 데이터가 제공되지 않으나, IEEE Std 80은 접지설계에 필요한 지침과 절차 및 데이터를 제공하고 있다.

최근 국내에서는 배전용 접지전극이 다양하게 개발되고 있으며, 이들에 대한 안전성을 검토할 필요성이 크기 때문에 본 논문에서는 배전용 접지전극의 안전성 검토하기 위한 기준 선정을 위해 두 기준을 비교하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 배전용 접지전극

국내 배전계통은 다중접지방식을 채택하고 있으며 특 고압 중성선을 매 전주마다 접지시공하고 합성 접지저항은  $5[\Omega/km]$ 이하로 유지관리하고 있다. 근래 접지전극의 시공 공간의 제약을 해소와 경년특성을 개선한 심타용 접지봉, 매직봉 및 매직판, 전주용 접지장치 등 다양한 배전용 접지전극이 개발되고 있다.

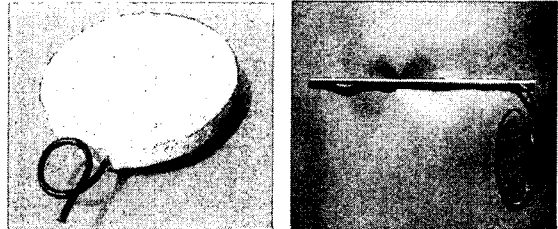


그림 1. 전주용 접지장치  
Fig. 1. Ground Electrode for Pole

#### 2.2 접지전극의 안전성

일반적으로 접지전극의 안전성은 고장전류를 대지로 안전하게 유출함으로써 선로운영의 안정성을 도모하고 설비의 운전한계를 유지함으로써 지속적인 전력공급이 가능하도록 하는 것이며 또한 접지된 설비 인근에서 인체에 치명적인 감전사고가 발생하지 않도록 하는 것이다. 다중접지 배전계통의 경우 접지전극은 중성선과 가공지선과 연결되어 선로운영의 안정성보다는 감전의 위

험의 비중이 더 크다고 볼 수 있으나 감전사고는 아래와 같은 조건을 충족해야 하기 때문에 현실적으로 발생 가능성은 매우 낮다고 할 수 있다.

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

### 2.3 IEEE Std 80-2000

IEEE Std 80은 축약형 인체 감전모델을 기초로 하고 있으며 Dalziel 교수의 실험식을 이용하여 99.5%가 생존 가능한 전류를 허용 최대 인체전류로 사용하고 있다.

체중이 50kg 및 70kg인 경우 허용 최대 인체전류는 아래와 같이 규정하고 있다.

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

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

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 나타난다.

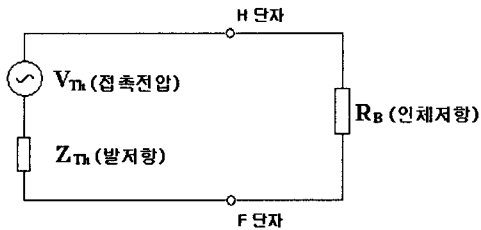


그림 2. 접촉전압 회로  
Fig. 2. Touch Voltage Circuit

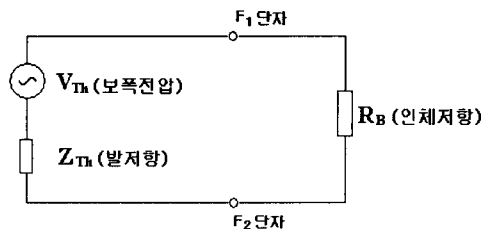


그림 3. 보폭전압 회로  
Fig. 3. Step Voltage Circuit

인체저항은 손과 발의 접촉저항 및 신발과 장갑의 저항을 고려하지 않는 조건에서 1,000[Ω]을 사용하고 있으며, 발 저항은 접촉면적을 고려하여 반경 0.08[m]인 금속원판으로 나타내며, 이때 신발 및 양말의 접촉저항은 고려되지 않았다. 따라서 발 저항은 대지 저항률( $\rho$ )과 반경( $b$ )으로부터 아래의 식으로 구할 수 있다.

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

따라서 최대 접촉전압의 경우 발 저항(병렬)은 근사적으로  $1.5\rho$ 로 나타낼 수 있으며, 최대 보폭전압의 경우 발 저항(직렬)은  $6.0\rho$ 로 나타난다.

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

$$E_{Touch} = I_B(1000 + 1.5\rho)$$

$$E_{Sep} = I_B(1000 + 60\rho)$$

위의 두 식에서 발 저항은 대지가 단일 대지 저항률( $\rho$ )이 경우를 가정하여 계산하였으나, 도심지와 같이 도로가 보도블록 또는 콘크리트와 같은 높은 저항률의 지층으로 포장된 경우 및 변전소와 같이 자갈층이 포설된 경우 인체의 발과 대지사이의 접촉저항은 증가하게 된다. 따라서 발과 대지사이의 접촉저항의 증가로 감전을 유발하는 인체전류는 상당히 줄어들게 된다. 따라서 이를 고려하기 위해 IEEE Std 80에서는 지표층 감쇄계수( $C_S$ )를 이용하여 보정하고 있으며, 이에 대한 계산식은 아래와 같다.

$$R_F = \left( \frac{\rho_S}{4b} \right) \times C_S$$

$$C_S = 1 + \frac{16b}{\rho_S} \sum_{n=1}^{\infty} K^n R_m(2nh_S)$$

$$K = \frac{\rho - \rho_S}{\rho + \rho_S}$$

- $R_F$ : 발 저항,  $K$ : 반사계수
- $\rho_S$ : 지표층 저항률,  $\rho$ : 지표 아래층 저항률,
- $h_S$ : 지표층 두께,  $R_m$ : 상호 접지저항,

따라서 지표층 감쇄계수를 고려하여 체중이 50kg인 경우의 허용 최대 접촉전압( $E_{Touch}$ ) 및 보폭전압( $E_{Step}$ )을 구하면 아래의 수식과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_{Touch} = (1000 + 1.5 C_S \rho_S) \frac{0.116}{\sqrt{t}}$$

$$E_{Step} = (1000 + 6.0 C_S \rho_S) \frac{0.116}{\sqrt{t}}$$

만약  $\rho_S$ 와  $\rho$ 가 동일한 경우와 같이 지표층에 높은 대지 저항률을 갖는 지층이 존재하지 않는 경우,  $C_S$ 는 1이 된다.

## 2.4 IEC 479-1:1994

안전성 분석면에서 IEC 479-1은 IEEE Std 80과 비교해 다양한 파라메타가 제시되고 있지 않다. 인체저항의 경우 그림 4과 같이 전압 및 주파수에 대한 임피던스 곡선과 감전경로에 따른 인체 내부 임피던스를 제공되고 있다.

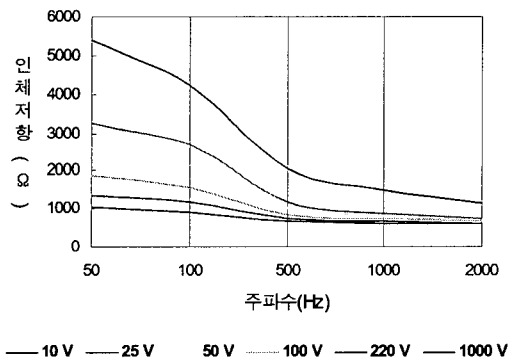


그림 4. 전압 및 주파수에 따른 인체저항  
Fig. 4. Frequency dependence of the total body impedance from 10V to 1000V

또한 통전시간에 따른 허용 최대 인체전류 곡선을 제공하고 있으며 그림 5에 같이 나타낼 수 있다.

특히 곡선 AC-4.1의 영역은 최대 5%까지 심실세동의 가능성이 증가하며, AC-4.2의 영역은 최대 50%까지 심실세동의 가능성이 증가하며, AC-4.3의 영역에서는 최대 50% 이상 심실세동의 가능성이 존재한다.

## 2.5 비교결과

국내 배전용 접지전극이 다양하게 개발되고 있어 이들에 대한 인체 안전성을 검토하기 위해 IEEE Std 80-2000과 IEC 479-1:1994 두 기준을 비교하였다. 비교 결과 IEEE Std 80은 전기 해석적인 접근방법에 의해 접지전극의 인체 안전성을 검토하기 위해 필요한 파라

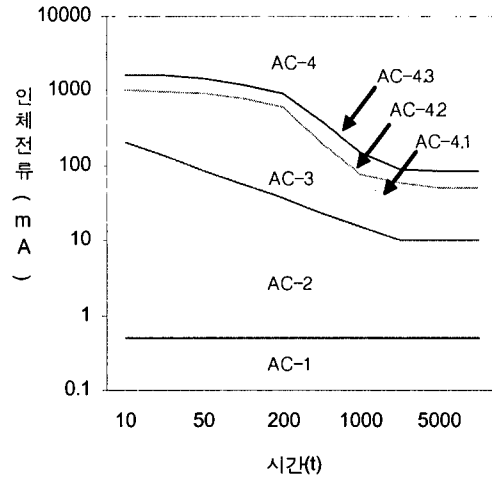


그림 5. 시간-인체전류 곡선  
Fig. 5. Time/Current zones of effects of a.c. Currents 15Hz to 100Hz

메타가 충분히 제공되고 있었으나, IEC 479-1:1994는 의학적인 접근방법으로 인해 안전성 검토에 필요한 파라메타가 충분히 제공되지 않았다. 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)	1.5Cp(접촉전압) 6.0Cp(보폭전압)	지침없음
인체전류(I)	0.116/√t (50kg) 0.157/√t (70kg)	I-T 커브
접촉(보폭)전압	(R + Z) × I	지침없음

## 3. 결론

접지전극은 설치목적은 고장전류를 대지방전 경로와 효과적인 선로운행을 도모하며 또한 접지전극 인근에서 인체에 치명적인 감전사고가 발생하지 않도록 하는 것이다.

최근 국내에서는 접지동봉을 비롯하여 심타용 접지봉, 매직봉 및 매직판, 전주용 접지장치 등 다양한 배전용 접지전극이 개발되고 있다. 따라서 이들에 대한 인

체 안전성을 검토할 필요성이 있어 본 논문에서는 배전용 접지전극의 안전성 검토를 위해 IEEE Std 80과 IEC 479-1을 비교하였다.

IEEE Std 80은 접촉전압 및 보폭전압의 계산식의 확장, 감쇄계수곡선의 변경, 다충토양에 대한 고려 등의 내용으로 2000년에 개정되었으며, IEC 479-1은 인체 임피던스와 통전전류의 주파수 및 파형에 대한 연구내용으로 1994에 개정되었다.

두 기준을 비교한 결과 배전용 접지전극의 안전성 검토를 위해서는 검토에 필요한 충분한 파라메타가 제공되는 IEEE Std 80-2000 기준을 적용하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

#### 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) C. H. Lee, A. P. Sakis Meliopoulos "Comparison of touch and step voltage between IEEE Std 80 and IEC 479-1", IEE Proc. -Gener. Transm. Distrib., Vol. 146, No. 5, pp. 593-601, 1999. 9
- (4) 강문호, 박상만, 박영근, 이형수, 심건보, "22.9kV 기공배전선로 접지시공 개선에 관한 연구 중간보고서", KEPRI, 2005.