

IEEE Std 80에 따른 배전용 접지동봉의 안전성 검토

강문호, 이흥호*
한국전력공사, 충남대학교*

Study on the Safety of the Grounding Rods in the Distribution System

Moon-Ho Kang, Heung-Ho Lee*
KEPCO, Chungnam Univ.*

Abstract - 다중 접지 배전계통에서 발생하는 이상전압으로부터 전력설비의 안정적인 운영과 인체안전성을 위해 주로 봉상 접지전극을 이용하여 대지 방전경로를 구성하고 있다. 그리고 접지종류별로 접지 저항값을 규정하고 이를 시공에 적용하고 있다. 지락고장이 발생하면 접지전극으로 유입되는 고장전류에 비례하여 대지전위가 상승하기 때문에 이에 대한 인체 안전성 측정 및 검토가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 IEEE Std 80에서 제시하는 안전성 기준에 기초하여 다중 접지 배전계통에서 접지전극으로 널리 사용되는 봉상 접지전극을 대상으로 상용주파전류를 인가하여 대지전위상승에 따른 접촉전압을 측정하였으며, CDEGS 프로그램을 이용하여 보폭전압을 모의하였다. 또한 이 값을 IEEE Std 80에서 제시하는 최대 허용 보폭전압과 접촉전압과 비교하여 인체 안전성을 검토하였다.

1. 서 론

배전계통에서 발생하는 이상전압으로부터 전력설비 및 인체를 보호하기 위해 사용되는 접지전극으로 접지동봉이 주로 이용되고 있다. 또한 전기설비 기술기준 및 한국전력공사의 접지공사 설계기준에는 접지동봉의 이격거리 및 매설깊이를 규정하고 있다.

전기적으로 동일한 토양조건에서 접지동봉을 콘크리트 전주에 근접하여 시공할 경우에 주변 대지에는 동일한 대지전위분포가 발생하게 된다. 따라서 접지선 전류의 유입으로 접지동봉 인근에 발생하는 대지 전위분포를 바탕으로 한 최대 보폭전압도 동일하게 나타날 것으로 판단되며, 또한 부도체의 특성을 나타내는 콘크리트 전주를 접촉함으로써 발생하는 접촉전압은 전주의 특성상 인체전류가 작게 발생할 것으로 판단된다. 대지전위분포에 의해 결정되는 보폭전압은 배전선로가 설치된 장소가 주로 콘크리트 포장 또는 보도블록 등이 설치되어 있으며, 다양한 토양특성을 고려할 때 실증시험을 통해 일반적인 결과를 도출하기 어렵기 때문에 본 연구에서는 접지해석 프로그램(CDEGS)을 이용하여 현재의 이격거리(50cm)를 기준으로 근접 시공할 경우에 발생하는 보폭전압을 검토하였으며, IEEE Std 80에 기초하여 접지전극 모의 시스템을 구축하고 접촉전압을 검토하였다.

2. 본 론

2.1 안전성검토 기준

IEEE Std 80은 2000년에 접촉전압 및 보폭전압의 계산식의 확장, 감쇄계수곡선의 변경, 다중토양에 대한 고려 등의 내용을 추가하여 개정되었으며, IEC 479-1은 1994년에 인체 임피던스와 통전전류의 주파수 및 파형에 대한 연구내용 등을 추가하여 개정되었다. 따라서 국내 배전용으로 널리 이용되고 있는 접지동봉에 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

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

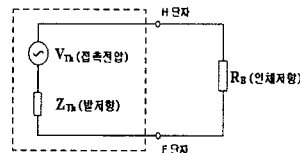
따라서 본 논문에서는 실증시험을 통해 해석적으로 접지동봉의 안전성을 검토하기 위해 감전모델의 해설에 필요한 개별 규정값이 충분히 제공되고 있는 IEEE Std 80을 분석기준으로 선정하였다.

2.1.1 보폭전압 및 접촉전압

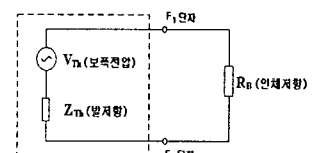
IEEE Std 80은 인체 감전모델을 기초로 하고 있으며 Dalziel 교수의 실험식을 기초한 99.5%가 생존 가능한 전류를 허용 최대 인체전류로 사용하고 있다. 체중이 50kg인 경우 허용 최대 인체전류는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

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

허용 최대 인체전류를 감전모델에 적용하여 최대 접촉전압과 최대 보폭전압을 산정함으로써 접지동봉의 안전성을 검토하고 있으며, 최대 접촉전압과 최대 보폭전압 해석을 위한 등가회로는 아래의 그림 1 및 2와 같이 나타낼 수 있다.



〈그림 1〉 접촉전압



〈그림 2〉 보폭전압

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.

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

이러한 파라메타를 바탕으로 IEEE Std 80에서 규정하고 있는 허용 최대 접촉전압 및 보폭전압은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

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

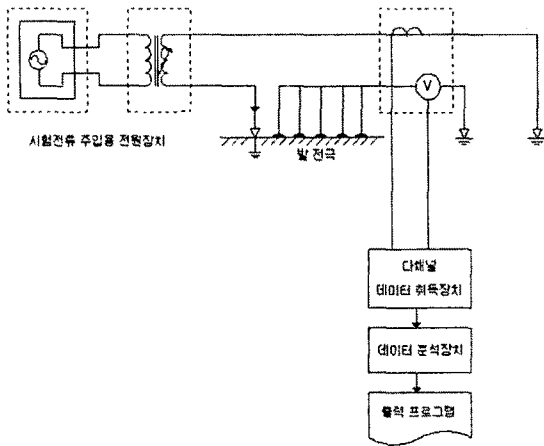
$$E_{Step} = (1,000 + 6.0C_S\rho_S) \frac{0.116}{\sqrt{t}}$$

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

2.2 안전성 분석 장치의 구성

배전용 접지동봉의 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, 진압조정기와 절연변압기로 구성하였으며, 인체모의장치는 안전성 검토 기준에 따라 1,000[Ω] 인체 내부저항과 반지름 0.08[m]인 등 원판으로 모의한 발 전극으로 구성하였다. 이와 같이 구성된 안전성 분석 시스템의 구성도를 아래의 그림 3에 나타내었다.

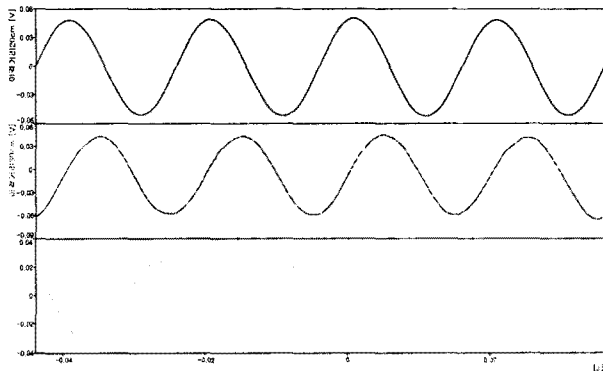
접촉전압은 발 전극 2개를 병렬로 설치하고 그림 1과 같이 전압을 측정할 수 있으며, 보폭전압의 경우 최대 14개까지 대상 접지동봉 인근 지표면의 전위를 측정할 수 있도록 구성하였다.



〈그림 3〉 안전성 분석 장치 구성

2.3 접지동봉의 접촉전압 검토

국내 배전선로의 지지물로는 콘크리트 전주가 가장 많이 사용되고 있으며, 접지전극으로는 접지동봉이 주로 사용되고 있다. 또한 전주와 접지동봉 간에는 50[cm] 이상 이격하도록 규정하고 있다. 대도시지의 경우 이격거리를 확보하기 어려운 경우가 많이 발생하고 있어 안전성 분석 장치를 이용하여 이격거리를 축소할 경우에 대한 접촉전압의 변화를 시험하였다. 그림 4에 안전성 분석장치를 이용하여 측정된 실증시험 데이터를 나타내었다.



〈그림 4〉 이격거리별 접촉전압 파형

다중접지 배전계통의 지락고장전류는 선로의 구성 임피던스에 따라 중성선과 접지선으로 분류한다. 발표된 자료에 따르면 배전계통 고장전류 분류율을 5[%]로 가정하여 접촉전압을 구하였으며, 아래 표 2에 검토기준에 따른 최대 허용 접촉전압과 비교하였다.

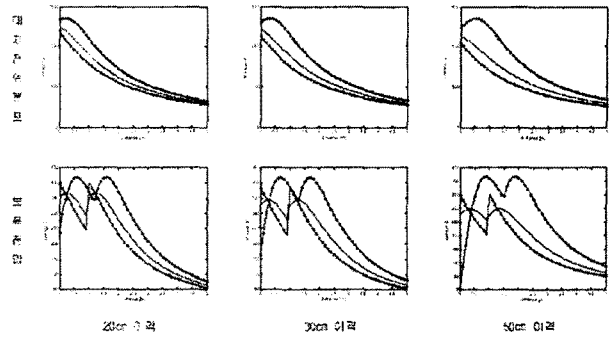
〈표 2〉 이격거리별 접촉전압 검토

이격거리	접촉전압	기준 고장전류 10kA	허용최대 접촉전압
20cm	0.037 V/A	18.5 V	140 V
30cm	0.037 V/A	18.5 V	146 V
50cm	0.020 V/A	10.0 V	144 V

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

2.4 접지동봉의 보폭전압 검토

일반적으로 접지선으로 유입하는 전류에 의해 접지전극 인근의 지표면에 발생하는 대지전위분포에 의해 보폭(1m)사이에 발생하는 전위차를 보폭전압이라고 정의한다. 본 연구에서는 시뮬레이션 조건으로 대지저항률 100[Ω·m], 접지선 유입전류 100[A]로 하여 접지동봉과 전주와의 거리를 각각 20, 30 및 50 [cm] 간격으로 이격시켜서 시공하는 경우에 접지동봉의 시공에 따른 대지전위분포를 계산하였으며, 이 결과로부터 보폭전압을 계산하였다. 그림 5는 접지동봉을 전주로부터 각각 20, 30 및 50 [cm] 이격시켜서 시공한 후에 전주 주변의 대지전위분포와 보폭전압의 결과를 보인 것이다.



〈그림 5〉 이격거리별 대지전위분포와 보폭전압

이격거리의 변화에 따른 대지전위 및 보폭전압의 검토결과를 표 3에 보였다. 검토결과 동일한 대지저항률 조건에서는 접지 저항값이 동일하게 나타났으며, 또한 접지동봉의 매설위치에 관계없이 대지전위분포이나 보폭전압도 동일하게 나타났다. 따라서 접지동봉을 현재의 설계기준과 같이 50cm에서 전주로 근접하여 시공하여도 최대 보폭전압은 동일하게 나타날 것으로 판단되므로 접지동봉을 콘크리트 전주에 근접하여 시공하여도 현재와 같이 동일한 보폭전압 안전성이 보장될 것으로 판단된다.

〈표 3〉 이격거리별 접지저항 및 보폭전압

전주-접지동봉간 이격거리 [cm]	접지저항 [Ω]	보폭전압 [V]
10	78.5	417.3
20	78.5	417.3
30	78.5	417.3
50	78.5	417.3

3. 결 론

현재 전기설비 기술기준이나 한국전력공사의 접지공사 설계 기준 등에서 규정하고 있는 접지동봉의 이격거리에 대하여 컴퓨터 시뮬레이션 및 분석 시스템을 이용하여 안전성을 검토하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

접지동봉의 접촉전압에 대한 검토결과 접지동봉을 콘크리트 전주에 근접하여 시공하여도 콘크리트 전주의 부도체 특성으로 접촉전압은 검토기준의 허용 최대 접촉전압을 초과하여 나타나지 않았다.

접지동봉을 콘크리트 전주와 현재 기준 및 근접하여 시공하여도 위험전압인 보폭전압은 검토기준을 만족하였으며, 동일한 대지 저항률에서는 접지 저항의 크기가 일정하기 때문에 접지동봉을 전주와 근접하여 시공하여도 별다른 문제가 없다고 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] 강문호, 박상만, 박영근, 이형수, 심진보, "22.9kV 가공배전선로 접지 시공 개선에 관한 연구 최종보고서", KEPRI, 2006. 2.
- [4] 임용훈, 현덕화, 최종기, "다중 접지 배전선로 대지유입전류와 중성선의 분류를 해석", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, p.473-475, 2004, 7.