

지중 저압접속함의 침수조건에 따른 전위 분석

(Analysis of Transformer Fluid Aging from Overload Operation)

정종만* · 이병성 · 최종기 · 정연하 · 박철배 · 송일근

(Jong-man Joung · Byung-sung Lee · Ju-yong Kim · Il-Kun Song · Byung-suk Kim)
(Korea Electric Power Research Institute of KEPCO)

Abstract

In this paper variety test results were discussed regarding to the ground potential increase. The tests conducted with a joint box simulating leakage point having an insulator fault. Inside the joint box three-phase cables and one neutral line were connected and the insulator at jointed part was peeled from the one of three-phase cables. The potentials around manhole cover were measured with the variation of manhole material, ground resistance and water resistance when the manhole was flooded. The potentials induced by an electric leakage were drastically decreased with increasing the distance from the leakage location and with less ground resistance.

1. 서 론

지금까지는 산업의 성장과 더불어 전력설비의 양적 확대가 크게 이루어져 오고 있다. 하지만 환경문제가 대두되고, 안전에 대한 고개의 의식이 높아지고 있을뿐만 아니라 전기품질 등 다양한 소비자 욕구가 생성되고 있다. 무엇보다도 배전설비에 있어서는 전기 소비자와 가장 밀접한 위치에 있어 안전에 대한 다양한 검토가 이루어져야 할 것이다.

또한 환경개선에 대한 요구증대와 더불어 국내 배전 분야의 지중화 사업이 크게 증가하고 있고, 특히 대도시의 지중화율은 꾸준히 증가하고 있어 지중 설비의 중요성도 함께 커지고 있다. 그러나 여전히 지중 배전계통의 고장방지를 위한 활동은 크게 발전되지 못하고 있는 실정이다.

특히 지중 저압 접속함은 인도와 인접한 경우가 많으며 케이블의 접속이 불량할 경우 호우에 의한 침수 시 내부 누전으로 인한 대지전위 상승이 큰 문제가 될 수 있다. 따라서 누전으로 인한 대지전위 상승이 인체에 대한 안전 범위 이상으로 되지 않도록 안전대책이 보완되어야 할 것이다. 이러한 관점에서 지중 저압 접속함 내부에서 누전이 발생하였을 경우 대지 전위 상승을 최소화하기 위해 개발된 제품에 대한 실증 평가를 실시하고 대지전위 상승 억제효과를 측정하고자 하였다.

대지 전위 상승을 억제하기 위해 개발된 두 가지의 제품에 대하여 실증적 고찰을 실시하였다. 먼저 철재로 제작되어 사용되고 있는 접속함 틀과 덮개를 절연체로 제작한 FRP(Fiber-glass Reinforced Plastic) 접속함 덮

개가 있으며, 두 번째는 누전전류를 접지망을 통해 배출하고 대지전위를 억제하는 누설전류 방지용 접지망이 있다. 두 제품 모두 국내 중소기업에서 개발되었으며 그 성능을 살펴보았다.

실증시험을 위해 지중 저압케이블 접속함을 설치하였으며 현행 접속함에 대한 최악의 경우를 모의한 경우에 대한 누전현상을 살펴보고, 두 개발제품에 대한 침수 시 전위상승 특성을 측정하였다.

2. 본 론

2.1. 실험환경 및 구성

현장과 동일한 환경에서 실증시험을 수행하기 위해 간선용(500×750×650 [mm³]) 지중 저압케이블 접속함을 매설하고 3상 4선식 저압케이블을 시공하였다. 그리고 N상을 접속함의 접지단자에 접속하였다. 이때 접지저항은 35 [Ω]으로 측정 되었다.

그림 1은 지중 저압 접속함의 내부 누전모의 및 전위 측정을 위한 구성도를 나타내었다. 총 6개의 대지전위 측정용 전극을 설치하였으며 접속함 덮개 위, 접속함의 테두리에서 5 [cm] 위치에 두개의 전극을 설치하고 나머지 4개의 전극은 50 [cm] 간격으로 설치하였다.

토양의 대지 저항률은 온도에 영향을 받으며[1], 일반적으로 온도가 상승함에 따라 대지 저항률이 감소하는 특성을 가지게 된다. 동절기의 접지저항은 하절기에 비해 최대 약 70%정도 높게 나타내는데, 본 연구에서는 포장이나 보도블럭 등을 시공하지 않고 일반 토양 위에서 측정하였다. 측정 시의 온도는 6 [°C]를 나타내었

며, 대지저항률은 약 98.7 [$\Omega \cdot m$] 정도로 기대되었다.

접속함 내부에서 접속된 3상의 케이블 접속개소 중 1개상의 접속점에 대한 절연을 손상시켜 누전을 모의하였다. 그리고 접속함 내부에서 누전 점의 위치를 변경하면서 누전전류 및 대지전위를 측정하였다.

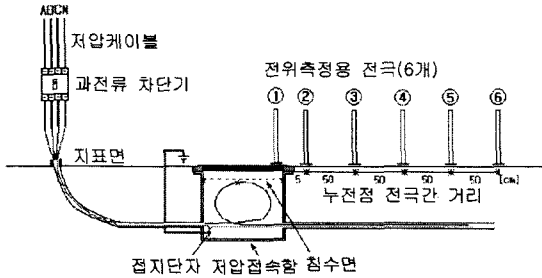


그림 1. 지중 저압 접속함 내부 누전 모의 및 전위 측정 구성도
Fig. 1. Simulation and Potential measurement schematic

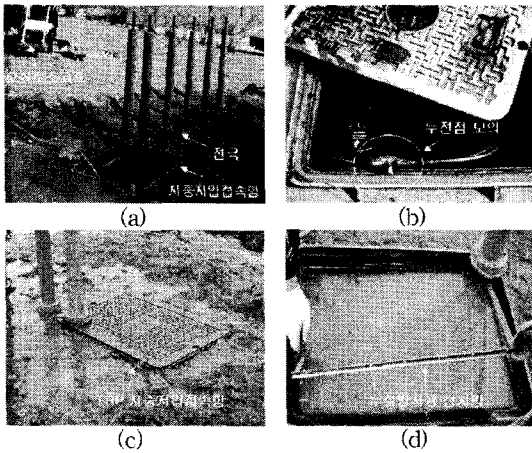


그림 2 (a) 접속함 및 전극, (b) 접속함 내 누전점 모의, (c) FRP 접속함 덮개, (d) 누설방지용 접지망
Fig. 2. (a) cable joint box and electrodes, (b) artificially faulted location, (c) FRP cover of cable joint box, (d) ground mesh to protect from leakage current.

그림 2 (a)는 접속함과 전극의 모습을 나타내고 있으며, (b)는 철재 접속함 덮개에서 누전점을 모의한 모습을 나타내고 있다. 그리고 (c)와 (d)는 본 연구에서 사용한 FRP 접속함 덮개와 누설방지용 접지망의 모습을 각각 나타내고 있다.

2.2. 실험방법

누전점 모의는 현장에서 발생할 수 있는 가장 위험한 상태로 그림 2의 (b)와 같이 철재 또는 FRP 접속함 뚜

껍에 직접 접촉되도록 누전시켰으며, 누전점 위치는 대지 전위상승이 가장 크게 나타나는 대지와 가장 근접한 가장자리 부분에 위치하도록 하였다.

그리고 접속함의 틀이 접지된 상태와 접지망 설치 시는 누전점을 직접 접촉할 경우 지락고장이 되므로 누전점을 이들 하부 약 10 [cm] 정도 이격시킨 상태로 측정하였다.

먼저 건조한 상태에서의 대지전위를 측정하고, 전도도 80 [$\mu S/cm$]의 상수도 물에 소금(NaCl)을 넣어 전도도를 적당하게 조절한 시험수로 침수시킨 후 대지전위를 측정하였다. 이때 전도도는 표 1과 같은 전력연구원에서의 경험값을 참고[2~3]로 하였으며, 시험수의 최대 전도도는 600 [$\mu S/cm$](=16.6 [$\Omega \cdot m$])로 충분히 높게 하여 측정하였다.

표 1. 물의 종류에 따른 전도도
Table 1. Conductivity of various water

물의 종류	전도도($\mu S/cm$)
장마철 강우	1~10
오순된 강우	30~60
상수도	100~250
지하수	150~450

대지전위 차에 의한 누설전류는 500 [Ω]의 저항을 이용하여 각 전극 간에서 측정하였으며, 측정은 각 전극에 신호선을 설치하고 충분히 떨어진 위치에서 오실로스코프(LeCroy)로 측정하였다. 이때 계측기의 접지는 시험장에서 100 [m]정도 충분히 떨어진 지점의 접지봉을 사용하여 측정하였다.

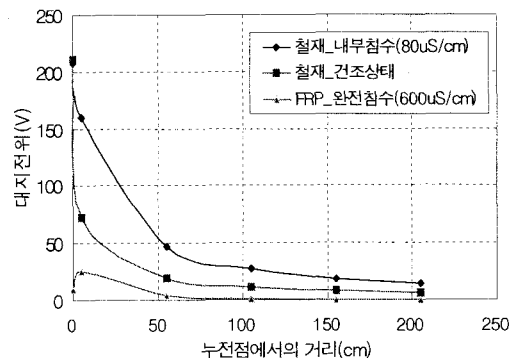


그림 3. 접속함으로부터 거리에 따른 대지전위 측정
Fig. 3. Ground potential as a function of distance from the cable joint box

2.3. 실험결과 및 토론

누전이 모의된 케이블에 전원을 투입하고 접속함에서 50 [cm]의 일정한 간격으로 설치된 전극의 전위를 측정

하였다. 그림 3은 그 결과를 나타내었다.

그림 3에서 철재 덮개의 경우를 건조상태와 접촉한 내부뿐만 아니라 주변 토양이 충분히 침수되었을 경우 두 가지를 비교하였다. 두 경우 모두 철재 외함(전극 1번)에는 케이블에 충전되는 전압이 그대로 유지되고 거리가 멀어질수록 전위가 급격히 줄어들고 있음을 알 수 있다. 침수 시는 누설경로의 매질이 물로 인해 저항률이 낮아져 대전전위가 높게 나타나고 있다. 침수에 이용된 물은 일반 수도물로서 전도도가 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이다.

그리고 그림에서 침수되었을 경우 FRP 재질과 철재를 비교하면 FRP 재질의 경우 침수된 물의 전도도가 10배 이상 높음에도 불구하고 대전전위가 더 크게 줄어들고 있다. 1번 전극의 위치는 FRP 덮개 위로 누설경로의 저항이 커 낮은 전위를 나타내고 2번 전극의 경우는 침수된 토양을 통해 전위가 높게 나타나고 있다. 이는 절연체를 사용함으로써 해서 누설거리가 더 길어짐에 따라 전압강하가 크게 일어나기 때문이다. 이와 같이 FRP 절연 접촉함을 사용할 경우 물에 완전침수 되었을 경우라도 최대 인체전류(인체저항 500 Ω 가정)는 42 mA가 되어 대전전위 상승이 IEC 61936-1 접촉전압의 안전한 계곡선을 기준으로 하였을 경우 안전하게 전압이내인 것으로 나타났다.

그리고 그림 2의 (d)와 같이 접지망을 누전점 상부에 설치하고 각 전극의 전위를 측정하였을 경우는 대전 전위 상승이 거의 일어나지 않았다. 이러한 결과는 접촉함의 접지단자를 접촉함의 상부로 이도시켜도 비슷한 결과를 나타내었다.

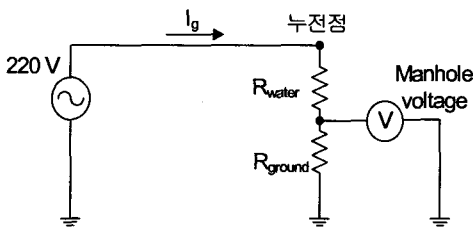


그림 4. 접촉함 덮개 부근의 전위 계산을 위한 등가회로
Fig. 4. Equivalent circuit for calculation potential at the manhole cover

그림 4는 접촉함(manhole) 덮개 위치에서의 전위를 계산하기 위한 등가회로를 나타낸다. 침수되는 물의 저항률이 커질수록 전압강하가 많이 일어나게 되어 덮개에서의 전위가 낮아지게 된다. 그리고 접지저항이 작아질수록 분담되어 나타나는 덮개의 전위가 작아지게 된다.

그림 5는 지중저압 접촉함 내에 물이 차있는 상태에

서 누전점과 접촉함 뚜껑 간의 체적저항을 계산하기 위한 모델이다. 누설전류가 누전점으로부터 맨홀뚜껑으로 방사형경로를 따라 흐른다고 가정하고 반구형 전극모델을 사용하였다. 반구모델로부터 누전점-맨홀뚜껑 사이의 전압강하(ΔV)를 침수된 물의 저항을 또는 전도도로써 나타내면 식 (1)과 같이 나타낼 수 있으며, 물의 저항은 식 (2)가 된다.

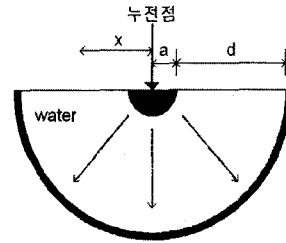


그림 5. 누전점-맨홀뚜껑간 저항 계산모델.
Fig. 5. Calculation model for resistance from leakage point to manhole cover.

$$\begin{aligned} \Delta V &= \int_a^{a+d} \rho J(x) dx \\ &= \int_a^{a+d} \frac{\rho I_g}{2\pi x^2} dx \\ &= \frac{\rho I_g}{2\pi} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{a+d} \right) \quad \text{----- (1)} \end{aligned}$$

$$R_{water} = \frac{\Delta V}{I_g} \quad \text{----- (2)}$$

(단, ρ : 물 저항률 [Ωm], $J(x)$: x점의 전류밀도 [A/m^2], I_g : 누설전류 [A], a : 누전점 면적의 등가반경 [m], d : 누전점-맨홀간 거리 [m])

그림 6은 누설거리 d 가 10, 500 [mm]일 경우 누전점 면적에 따른 저항을 계산한 결과이다. 누전점의 면적이 클수록 누전점과 접촉함 덮개간의 저항은 감소하게 된다.

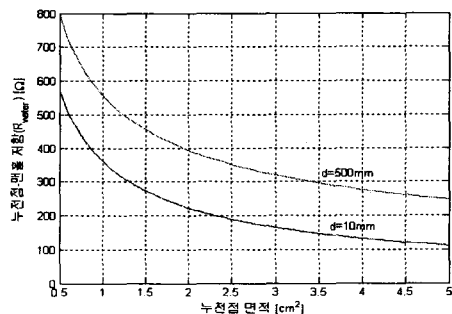


그림 6. 누전점 면적에 따른 저항(R_{water})
Fig. 6. R_{water} values as a function of the leakage point area.

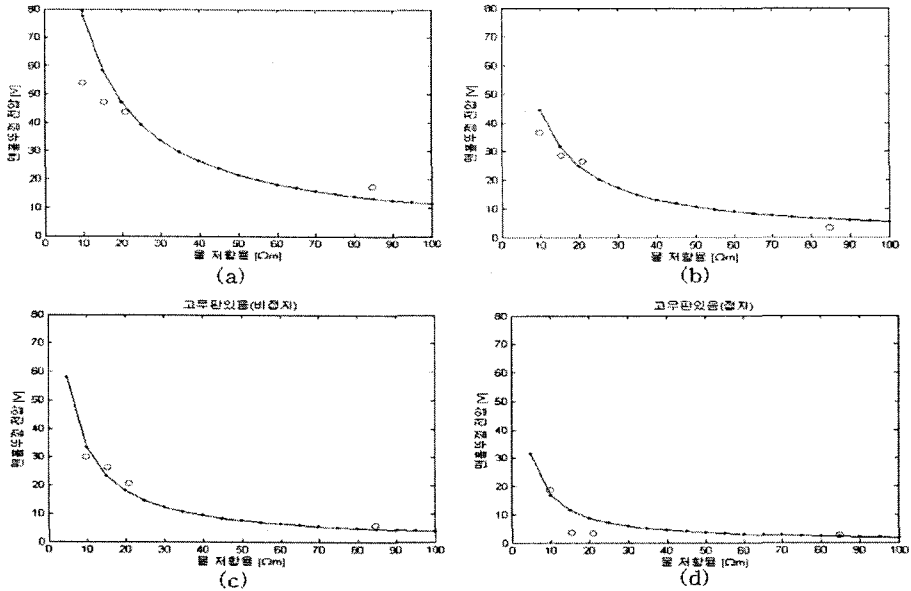


그림 7. 물 저항율에 따른 접속함 덮개(맨홀 뚜껑)의 전압측정치와 계산치, (a) 비접지시, (b) 접지시, (c) 고무판 사용과 비접지시, (d) 고무판 사용과 접지시
 Fig. 7. Calculated and measured voltage at the manhole cover depending on water resistance

이때 맨홀 덮개의 전위를 계산하기 위한 등가회로에서 접지저항(R_{ground})는 접지전극뿐만 아니라 접속함 틀의 접지저항, 누전점에서 접지단자까지의 저항, 접속함 틀과 덮개 간 접촉저항 등 다양한 저항의 합성으로 나타나게 된다. 맨홀의 전위를 실측한 값과 계산식에 의한 결과를 비교하여 접지 시는 약 70 Ω, 비접지시는 약 150 Ω로 설정하였다. 그리고 누전점 면적은 100 mm² ($a=5.6$ mm)로 하였고, 누설거리는 500 mm로 하였다. 그리고 고무판으로 누전점을 가렸을 경우에는 누전점 면적을 1/9로 감소 ($a=1.88$ mm)하는 것으로 가정하였다. 이러한 가정으로 물의 저항율을 변화시키면서 측정된 접속함 덮개(맨홀 뚜껑, 철재)의 전위와 계산치를 그림 7 (a), (b), (c), (d)에 각각 나타내었다. 각 그림의 실선은 계산치를 나타내며 흰색 원으로 나타낸 값은 실측치를 나타낸다.

그림을 살펴보면 물의 저항율이 낮을 수록, 즉 오염이 심해 전도도가 높을수록 전위상승이 높게 일어나고 있다. 고무판이나 절연체(FRP)의 접속함 덮개를 사용하는 경우에도 전위상승을 크게 억제할 수 있는 효과가 있다. 그리고 접지 시공을 적절하게 하여도 대지 전위상승을 충분히 억제할 수 있을 것으로 기대된다.

3. 결론

지중저압 접속함이 침수되었을 경우 누전사고로 인해 접속함 주변의 대지전위상승을 고찰하였다. 대표적으로 접속함의 재질과 접지저항에 따른 특성 비교를 실시하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

철재 접속함의 뚜껑과 틀을 FRP 절연체로 교체할 경우 철재에 비해 대지전위 상승을 상당히 억제할 수 있었다. 이는 누설거리에 따라 대지전위가 급격하게 낮아지는데 누설거리를 길게 하여 효율적인 제한을 할 수 있었다.

누전점의 거리가 멀어질수록 대지전위가 급격하게 감소하므로 접속부와 같이 누전 발생가능성이 있는 부위는 접속함 덮개와 최대한 멀리 위치되도록 시공하는 것이 안전할 것이다.

누전점과 접속함 덮개 사이에 접지망을 중성선과 접속한 경우 대지전 상승을 억제할 수 있었다. 따라서 기존의 철재 틀을 중성선 단자와 공동으로 접속하여 접지할 경우 매우 효과적인 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 접지기술입문, 동일출판사, pp.87~93, 1991.
- [2] 배전선로의 접지저항 관리에 관한 연구, 한국전력공사 기술연구원 연구보고서, 1998. 8
- [3] 옥내형 변전소 및 건물의 접지설계기준 변경에 따른 사전조사 연구, 한국전력공사 전력연구원 연구보고서, 2005.10