

전기 기본이론

(Basic Theories of Electrical Engineering) - VIII

8. 접지

연재목록

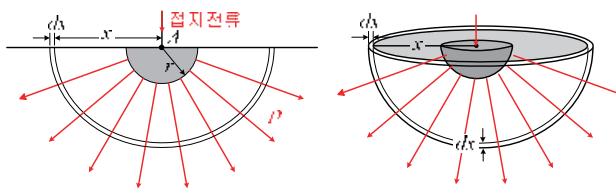
1. 전류
2. 전기와 자기
3. 임피던스
4. 발전기
5. 전동기
6. 변압기
7. 전력
8. 접지
9. 전기안전
10. 노이즈
11. 무정전 전원설비

글.
이재언 전기기술사 사이버학원 원장

지구의 대지는 하나의 거대한 도체이다. 전력계통에서 대지는 지표면의 땅바닥만 대지로 보는 것이 아니라, 대지와 전기적으로 접촉되어 있는 모든 도체를 대지로 본다. 따라서 100층 건물 옥상이나, 철탑 또는 콘크리트 전주 또는 태평양 바닷물도 대지와 전기적으로 접촉되어 있는 도체이기 때문에 이들을 모두 대지로 본다. 전기회로에서 전력을 공급하거나 전기신호를 보내기 위한 모든 도체는 대지로부터 절연하는 것이 원칙이지만, 경우에 따라서는 대지에 접속해야 할 필요가 있는 경우도 있는데, 이런 경우 도체를 대지에 접속하는 것을 접지한다고 한다.

접지저항의 의미

대지는 도체인가? 그렇다. 대지는 도체이다. 그림과 같은 반구상의 접지극에 접지전류가 흘러 들어가면 이 전류는 반구의 전체 표면을 통해서 대지로 방류될 것이다. 구의 표면적은 $4\pi r^2$ 이므로 반구의 표면은 $2\pi r^2$ 이 된다. A점으로부터 x의 거리에 있는 반구와, 이보다 미소거리 dx만큼 더 떨어져 있는 반구 사이에 있는 토양의 저항을 생각한다



이때 반구의 표면적은 $2\pi r^2$ 이고, 길이는 dx이므로, 미소저항 dR은 대지의 고유저항을 ρ [$\Omega \cdot m$] 라고 하면

$$dR = \rho \frac{\ell}{A} = \rho \frac{dx}{2\pi r^2}$$

전체의 접지저항은 위의 식을 $x = r$ 로부터 $x = \infty$ 까지 적분하면 되므로

$$\begin{aligned} R &= \int_r^\infty \rho \frac{dx}{2\pi x^2} = \frac{\rho}{2\pi} \int_r^\infty \frac{dx}{x^2} = \frac{\rho}{2\pi} \int_r^\infty x^{-2} dx \\ &= \frac{\rho}{2\pi} \left[\frac{1}{-1} \cdot x^{-1} \right]_r^\infty = \frac{\rho}{2\pi} \left[-\frac{1}{x} \right]_r^\infty = -\frac{\rho}{2\pi} \left[0 - \frac{1}{r} \right] = \frac{\rho}{2\pi r} \end{aligned}$$

대지의 고유저항은 토질에 따라 수십 [$\Omega \cdot m$]~수천 [$\Omega \cdot m$] 정도의 값을 가진다. 뒷식에서 대지의 고유저항을 100 [$\Omega \cdot m$], 접지극의

반경을 15cm라고 하면 이 접지극의 접지저항은

$$R = \frac{100}{2\pi \times 15 \times 10^{-2}} = 106 \Omega$$

앞에서 접지저항이 $\frac{\rho}{2\pi r} [\Omega]$ 이 나온 것은 적분을 접지극의 반경 r 에서 ∞ 까지 했기 때문이다.

그렇다면 다음 그림과 같이 A 점에서 2000 [km]까지를 모두 접지극으로 보고 s에서 ∞ 까지 적분을 해보면 접지저항은 $\rho / 2\pi s [\Omega]$ 이 된다.

대지의 고유저항 $\rho = 100 [\Omega \cdot m]$ 라고 보고 이 경우의 접지저항을 계산하면

$$R = \frac{100}{2\pi \times 2000 \times 10^3} = 0.000008 \Omega \approx 0 \Omega$$

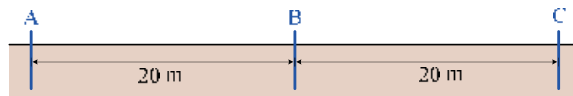
이 되니까 지구를 완전한 도체로 보는 것이다. 그렇다고 해서 지구 내부가 구리 덩어리로 되어 있다는 얘기는 아니다. 예를 들어 그림에서 지구 중간의 2000[km] 부분(파란색 부분)에 대한 저항을 계산해 본다. 이때 이 부분 지구의 평균 반지름을 약 6000[km]라고 보고 고유저항을 100[Ω·m] 라고 보면

$$R = \rho \frac{\ell}{A} = \rho \frac{\ell}{\pi r^2} = 100 \times \frac{2000 \times 10^3}{\pi \times (6000 \times 10^3)^2} = 0.0000018 \approx 0 [\Omega]$$

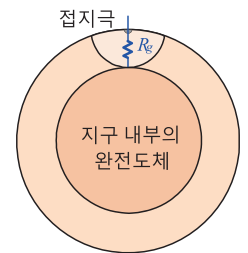
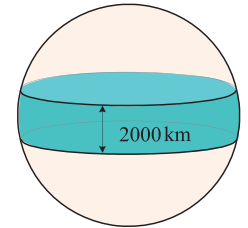
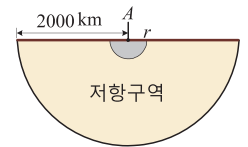
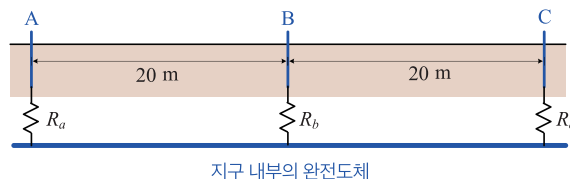
이 되는데, 접지저항에서 0.0000018[Ω] = 0[Ω]으로 보아도 된다. 그래서 지구 내부에 완전도체가 있다고 가정하고 접지이론을 전개하는 것이다.

지구의 반지름은 약 6378km이다. 따라서 반경이 2000km나 되는 거대한 접지극을 지구에 그려보면 그림과 같다. 이 그림에서 지구 내부의 회색부분은 완전도체로 보아도 된다. 접지극에서 2000[km] 반경부분을 **저항구역**이라고 한다. 즉 이 접지극은 앞에서 계산한 106Ω의 저항 R_g 를 통해서 지구 내부의 완전도체와 접속되어 있다고 볼 수 있다. 저항구역은 앞에 예를 든 것처럼 반경이 2000km 나 되는 먼 거리가 아니라 현실적으로는 10~20m 이상만 되면 실용적으로 충분하다.

지금까지의 개념을 확실히 이해했는지 확인해 보기 위해서 다음과 같은 문제를 생각해 본다. 대지에 다음 그림과 같이 3개의 접지봉을 박았다. Ohm Meter로 A-B 사이의 저항을 측정해 보니 200Ω이 나왔고 B-C 사이의 저항도 200Ω이 나왔다. 그렇다면 A-C 사이의 저항을 측정하면 몇 Ω이 나오겠는가?

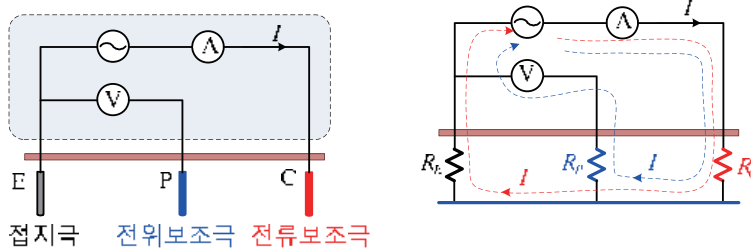


답은 200Ω 정도가 나올 것이다. 왜냐하면 다음 그림에서 각각의 접지극은 접지저항을 통해서 지구라는 완전도체와 접속되어 있는 것이기 때문에 A-B 사이의 저항은 $R_a + R_b$ 를 측정한 것이고, B-C 사이의 저항은 $R_b + R_c$ 를 측정한 것이므로 이들이 각각 200Ω씩이라는 것은 접지극 하나의 접지저항이 각각 약 100Ω씩 된다는 것을 의미하므로 A-C 사이의 저항을 측정해도 200[Ω] 정도가 나올 것이기 때문이다. 이렇게 측정된다는 사실은 필자가 여러 번 시험해본 결과이다. 이 답을 400[Ω]이라고 생각한 사람은 개념을 다시 정립해야 할 것이다.



접지저항 측정

다음 그림과 같이 전원과 전압계, 전류계 및 접지극과 전위보조극 및 전류보조극을 각각 10[m] 이상씩 띄어서 설치한다. 왼쪽 그림에서 각각의 접지극은 각각의 접지저항을 통해서 지구 내부의 완전도체에 접속된 것이기 때문에 오른쪽 그림과 같이 등가회로를 그릴 수 있다.



등가회로에서 전원으로부터 흘러나간 전류는 그림의 빨간 점선을 따라 전원→ R_C → R_E →전원방향으로 흐를 수도 있고, 파란 점선을 따라 전원→ R_C → R_P →전압계→전원으로 흐를 수도 있다. 그런데 이상적인 전압계는 내부저항이 무한대이기 때문에 전압계를 통해서는 전류가 흐를 수 없어서 전류는 거의 100% 빨간선을 따라 접지극을 통해 흐르게 된다. 따라서 이때 전압계에 측정되는 전압은 접지극에서의 전압강하뿐이므로 옴의 법칙을 이용해서 다음식으로 접지극의 접지저항을 측정할 수가 있게 된다.

$$R_E = \frac{V}{I} [\Omega]$$

실제의 접지저항 측정기는 위 왼쪽 그림의 4각 점선 안의 부분을 하나의 외함에 모두 내장한 것이다.

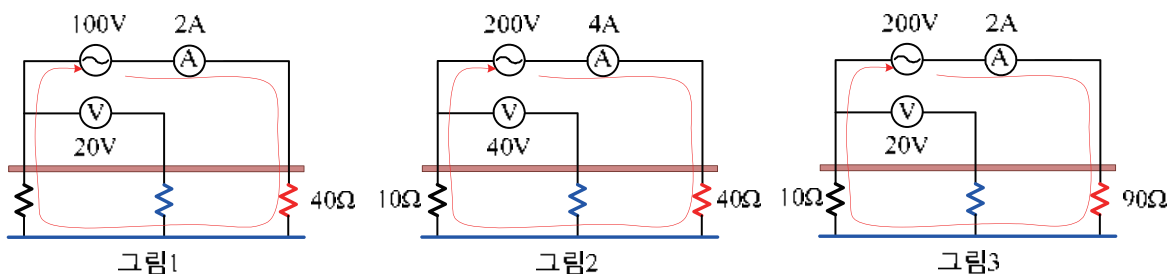
이렇게 측정하는 경우 인가되는 전압의 크기가 달라지거나 전류보조극의 접지저항이 달라지면 측정되는 접지극의 접지저항도 달라지는 것이 아닌가? 하고 생각하기 쉽다. 예를 들어 다음 [그림 1]의 경우와 같이 100[V]를 인가했을 때 2[A]의 전류가 흐르고 전압계에 측정되는 전압이 20[V]라면 접지극의 접지저항은

$$R_g = \frac{V}{I} = \frac{20}{2} = 10 [\Omega]$$

이 된다. 이렇게 계산된 10[Ω]을 이 접지극 접지저항의 참값이라고 할 때, [그림 2]에서와 같이 인가되는 전압을 200[V]로 증가시키면 회로에 흐르는 전류는

$$I = \frac{200}{10 + 40} = 4 [A]$$

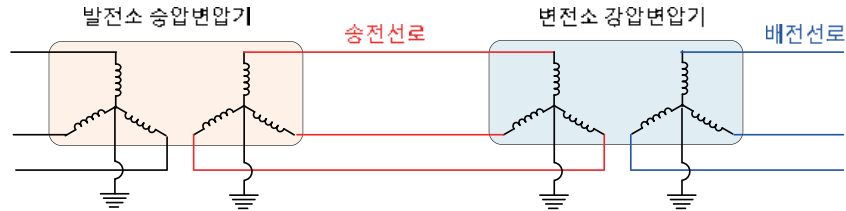
가 흐를 것이고, 접지극에서는 10[Ω]의 저항에 4[A]의 전류가 흐르니까 전압계에는 $4 \times 10 = 40[V]$ 의 전압이 측정되어 $40/4=10[\Omega]$ 이 된다. 또, [그림 3]과 같이 전류보조극의 접지저항이 90[Ω]이라고 해도 이때 흐르는 전류는 $200/(10+90) = 2[A]$ 가 될 것이고, 접지극에서의 전압강하는 $10 \times 2 = 20[V]$ 가 되어 같은 값의 접지저항이 측정된다. 즉, 회로에 인가되는 전압의 크기나 전류보조극의 접지저항에 관계없이 항상 일정한 값의 접지저항이 측정된다.



접지의 종류와 목적

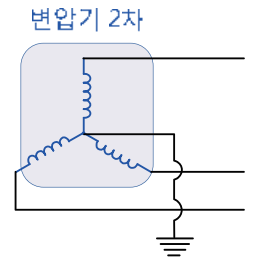
계통 접지

현재 우리나라에서는 전력계통을 765kV - 345kV - 154kV - 22.9kV - 380/220V 전압으로 통일해 가고 있다. 이들은 모두 3상 4선식으로 중성선이 있으므로 중성선을 직접접지(유효접지)하여 계통 운용의 원활을 꾀하고 있는데 이와 같이 전력계통의 중성선을 접지하는 것을 **계통접지**라고 한다.



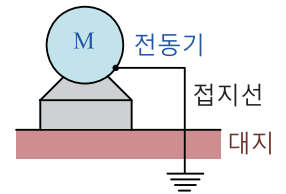
변압기 2차측 접지

변압기의 내부고장으로 고저압 혼촉 사고가 발생하는 경우에는 저압선에 고압 또는 특고압이 침입되어 변압기 2차 측에 결선된 저압용 전기기기를 파괴하거나 감전사고 또는 화재를 일으키게 되는데 이를 방지하기 위해서 변압기 2차 측에 제2종 접지를 하는 것이다. **고저압 혼촉사고**라고 하는 것은 예를 들어 22.9kV 특고압을 380V 저압으로 강압하는 경우 변압기 내부에서 절연이 파괴되어 특고압 코일과 저압코일이 전기적으로 접촉되는 것을 말한다.



기기 접지

전동기 등의 전기 기계기구는 충전부와 외함이 절연되어 있으나, 권선 등의 절연이 열화되어 외함에 누전되었을 때 사람이 접촉하면 감전된다. 이를 방지하기 위해서 기기 외함을 접지하여 전류가 인체를 통해 흐르지 않고 접지선을 통해 흐르도록 하는 것이 3종 접지이다.

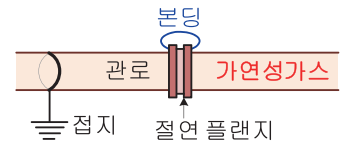


지락 검출용 접지

누전차단기(ELCB)는 지락 전류를 검출하여 자동으로 회로를 개방시켜 주는 장치인데 ELCB가 누전을 검출하기 위해서는 지락전류가 흘러야 하고 지락전류가 흐르도록 하기 위해서는 기기의 외함이 접지되어 있어야 하므로 이런 목적으로 접지하는 것이 지락 검출용 접지이다.

정전기 방지용 접지

유류나 가연성 가스 등을 취급하는 위험장소에서는 정전기 방전으로 인해서 폭발성 가스 또는 분진에 착화하여 폭발사고를 일으키는 경우가 많다. 따라서 정전기가 축적되기 쉬운 설비는 접지를 해서 축적된 전하를 대지로 방전시켜야 하는데 이런 목적으로 하는 것이 정전기 방지용 접지이다.

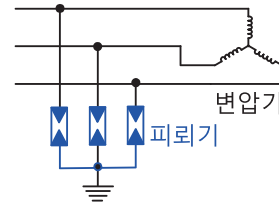


피뢰침용 접지

피뢰침은 낙뢰(벼락)으로부터 보호하기 위한 것이다. 피뢰침은 당연히 낮은 접지저항으로 접지해서 낙뢰가 떨어진 경우 매우 큰 뇌경전류를 대지로 방류할 수 있어야 한다. 역사적으로 **접지의 시초**는 피뢰침을 발명한 미국의 프랭클린이 1753년에 피뢰침의 아래쪽 끝을 땅속에 묻은 데서 시작되었다.

피뢰기용 접지

피뢰기는 낮은 접지저항으로 접지해야 한다. 피뢰기는 외부에서 들어오는 이상전압을 접지를 통해 대지로 방류하고, 피뢰기 2차 측으로는 이상전압이 넘어가지 못하도록 함으로써 피뢰기 2차 측의 기기들을 이상전압으로부터 보호할 수 있도록 하는 것이다.

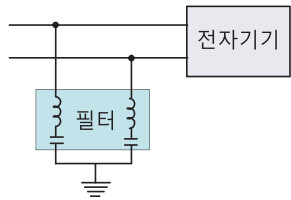


병원의 등전위 접지

병원에서는 한 사람의 환자에게 여러 대의 의료기기(Medical Electronics)가 연결되어 사용되는 일이 흔히 있다. 이때 각각의 ME 기기 접지점의 전위가 다르면 그 전위차에 의해서 환자의 몸을 통해 기기 간에 전류가 흐르게 되어 Micro Shock로 인해서 환자가 위험하게 되는 경우가 있다. Micro Shock에 대하여 안전한 전류치는 $10[\mu A]$ 정도이기 때문에 인체의 저항을 $1[k\Omega]$ 으로 계산하면 $10[\mu A] \times 1[k\Omega] = 10[mV]$ 밖에 안 되므로 두 금속부 사이나 기기 간에 $10[mV]$ 이상의 전위차가 나타나지 않도록 할 필요가 있다. 이런 위험을 방지하기 위해서 ME 기기들의 도전성 노출부분이 등전위가 되도록 하기 위해 접지하는 것이 등전위 접지이다. **등전위 접지**는 전기기기가 아닌 일반 금속부도 접지할 필요가 있다. 등전위 접지는 Micro Shock 방지용이므로 병원 내의 모든 금속부분 및 전기기기를 한 곳의 접지센터에 연결할 필요는 없고, Micro Shock의 위험이 있는 수술실 등을 중심으로 각 방마다 따로 설치하면 된다.

환자가 직·간접으로 접촉하는 범위는 모두 등전위로 해야 하기 때문에 병상이나 수술대 등으로부터 주위 2.5m, 높이 2.5m까지의 금속부는 모두 등전위 접지시켜야 한다. 이 범위는 환자가 직접 또는 타인을 매개로 하여 접촉할 수 있는 범위를 말하는 것으로 이를 **환자 보호범위**라고 한다.

노이즈 방지용 접지

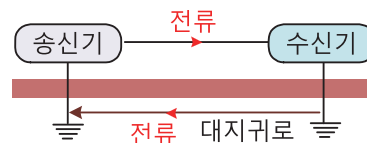


전기회로에는 원래 의도한 전압 또는 전류 이외에, 여러 가지 원인에 의해서 의도하지 않은 전압 또는 전류가 혼합되는 경우가 매우 많이 있다. 이와 같이 “의도하지 않은 전압 또는 전류”를 총칭해서 **노이즈**라고 한다.

이러한 노이즈는 전기기기의 작동에 악영향을 끼치거나 오동작을 일으키므로 필터를 통해서 대지로 방류시켜야 하는데 이를 위해 행하는 접지를 노이즈 방지용 접지라고 한다. 노이즈는 전기계통의 “쓰레기”라고 말할 수 있다. 그런데 이런 쓰레기를 접지를 통해서 모두 대지로 버리는 것이다. 이런 측면에서 볼 때 지구는 하나의 거대한 “**전기 쓰레기통**”이라고도 할 수 있다.

기능적 접지

대지는 도체이기 때문에 유선 전선에서 원래는 왕복 두 줄의 전선이 있어야 하지만 그 림과 같이 한 줄만 설치하고 송수신기 양단에서 접지하면 나머지 한 줄은 대지를 사용할 수가 있는데 이런 경우의 귀로를 대지귀로라고 하고, 이와 같이 대지를 회로의 일부로 사용하기 위해서 하는 접지를 **기능적 접지**라고 한다.



접지저항 저감방법

화학적 저감방법

접지저항 저감제를 사용하는 것은 화학적 방법에 속한다. 접지저항은 대지의 고유저항에 따라 크게 좌우되므로 접지공사 지점의 토양에 화학적 저감제를 투입하여 대지 저항률을 낮추는 것을 고려하게 되는데 이렇게 사용되는 화학물질이 **접지저항 저감제**이다. 접지저항 저감제가 저항치를 내리는 이유는 전극 주변에 저감제를 주입함으로써 전극과 대지와의 접촉면적이 커지거나, 토질의

고유저항이 작아지기 때문이다. 접지저항을 감소시키기 위해서 접지전극 부근에 숯가루를 채우거나 소금을 뿌리는 방법은 오래 전부터 사용되어 오던 방법이다.

접지저항은 대지의 고유저항, 접지전극의 형상과 크기에 따라 변화하므로 대지의 고유저항을 감소시키거나, 접지극의 표면적을 넓게 하여 대지와 접하는 면을 크게 하거나, 접지극을 크게 하거나 하는 방법으로 접지저항을 감소시킬 수 있다.

화학적 접지저항 저감제로는 염, 황산 암모니아, 탄산소다, 카본 분말, 벤라이트 등의 비반응형 저감제와 화이트 아스론, 티코겔 등의 반응형 저감제가 있다. 화학적 접지저항 저감법은 물리적 저감법과는 비교가 안되나, 초기 저감효과가 크고 토양에 따라 어느 정도의 차이는 있지만 저감제를 사용하지 않는 경우의 저항치에 비해 약 30% 정도로 접지 저항치를 낮출 수 있기는 하나, 시간이 경과하면 빗물로 유실되어 접지 저항치가 다시 높아지는 단점을 가지고 있다.

비반응형 저감제는 접지극 주변의 토양에 혼합하면 토양의 고유저항이 작아지나 이는 일시적인 효과이고 1~2년 시일이 경과하면 거의 효과가 없어진다. 반응형 저감제는 접지극 주위에 저감제를 주입하여 사용하는 것으로 비반응형 보다는 효과가 오래 지속되나 이 또한 4~5년의 시일이 경과하면 접지 저항치가 다시 높아진다. 화이트 아스론은 염화칼륨을 소석회에 혼합한 것으로 백색 분말이며 고유저항은 $12\Omega\cdot\text{cm}$ 정도이고, 티코겔은 황산 수소나트륨을 규산소다와 소석회에 혼합한 것으로 고유저항은 $50\sim60\Omega\cdot\text{cm}$ 정도이다.

물리적 저감방법

물리적으로 접지저항을 저감시키는 방법으로는 접지극을 여러 개 병렬로 사용하는 방법, 접지극을 깊이 묻는 방법, 접지극 대신 나도체를 땅에 길게 매설하는 방법, 접지 동판을 사용하는 방법, 망상(메쉬)접지를 하는 방법, 건물의 철근이나 철골 등을 접지극으로 사용하는 방법, 수도관을 접지극으로 사용하는 방법, 그림과 같이 접지극 표면적을 크게 해서 대지와 접촉면적을 크게 하는 방법 등이 있다. 