

전기탐사 현장계측시 접지 및 안전 문제

정 현기*

* : 한국지질자원연구원, hkjung@kigam.re.kr

1. 서론

전기탐사 현장에서 전극의 접지저항을 왜 최대한 낮춰야 하나? 접지저항 불량으로 자료 부실? 접지저항이 정말 있나? 어떻게 측정하나? 보통 접지저항은 몇 ohm 정도? CSAMT 탐사 절반의 성공은 양호한 송신부 접지저항? 가끔 전극 부위가 왜 끊지? 실내 실험을 포함한 모든 전기탐사 송신원은 왜 반드시 정전류? 60Hz 발전기 전원 탄성과탐사에서 계측시스템 접지 유무가 탐사 성패? 비오는 날 전탐시 감전 우려는? 근래 빈번한 수중 전탐시 물고기 감전(고압선에 얹은 참새?)이나 탐사시 인근 축산 전극매설 잠수부 안전거리는?

전기탐사 현장계측에서 접지의 올바른 이해는 양호한 탐사자료 획득을 위해 매우 중요하며 나아가 감전 안전 문제는 때로 심각한 검토사항이나 일반적으로 서적이나 경험자로부터 명확한 해답을 얻기가 쉽지 않다. 여기서 실전적 주요 사항들을 정리해보고자 한다. 결국은 간단한 근본원리 ohm의 법칙으로 귀결된다.

2. 전기탐사와 접지저항

접지란 통신장비/전기설비시스템을 대지 즉 지구에 전기적으로 접속시키는 것이다. 이는 인명/설비의 안전 보안용과 장비/시스템의 안정 가동 기능용으로 크게 나뉜다. 접지 구성 단자가 접지 전극이며 접지저항은 0 ohm이 이상적이거나 실제 불가능하므로 목적에 따라 안전 효율적으로 설계된다. 전기탐사에서는 송신 전류전극의 접지저항이 중요하며 수신 전위 전극의 경우 측정기의 임피던스가 보통 10 Mohm 이상이므로 웬만한 경우에도 별 영향이 없다. 이것이 현장 탐사시 가끔 송수신 전극을 바꿔 보다 유용한 계측을 하게 되는 원리이다 - 이론적 reciprocity와 혼돈될 수 있지만. 한편 거꾸로 전기 접지공사에서는 전기비저항 탐사법을 활용하여 접지 설계를 하거나 저비저항 지대를 찾는 경우도 실제 허다하다. 접지저항은 송신전극뿐만 아니라 때로는 자연전위탐사나 장주기 MT 탐사의 전장 센서의 경우도 주의하여야 할 사항이 있다. 즉 소위 비분극 전극의 경우 센서 내부 임피던스가 수십 ohm 내지 수백 ohm 범위를 벗어나면 정밀한 특성의 지전기를 측정 못할 수 있는데, 이때 센서 내부 임피던스는 통상의 테스터로는 재기가 어려우며 수십 Hz 정도의 교류를 사용하여야 정확한 반복 재현성 값을 얻는다. 여기서는 전기 물리탐사를 염두에 두고 접지저항을

고찰하고자 한다. 지면관계상 개념적 그림들은 발표시 소개된다.

2.1 여러 가지 접지저항 특성

표 1에 실무 접지공사의 종류가 10 ohm 내지 100 ohm 사이에서 정리된다. 다량 회선 수용의 통신 접지의 경우 1 ohm, 2 ohm, 5 ohm 등으로도 규격화 된다. 접지를 제대로 논하려면 엄청난 양이 되므로 여기서는 전기탐사 실전현장에서 부딪히는 꼭 필요한 몇 가지를 살피고자 한다. 그림 1은 긴 접지 전극에 따른 등전위선 분포를 보여주는데 수직탐사, 특히 짧은 슬럼프저탐사 전위 전극의 경우 깊이 매설하면 큰 오차가 유발되는 주의사항을 알게 해준다. 왜냐하면 우리는 송신원도 점원으로 이론적 설정하지만 수신 전극이 피대상체 전위 분포를 고려해서는 정확한 해석을 할 수 없기 때문이다. 그림 2는 3-점 전위차 측정법에 의한 접지저항 측정 모식도를 보여준다. 즉, 통상의 멀티 테스터로는 접지저항을 정상적으로 측정할 수 없으며 이는 또한 테스터의 전극 접지저항 때문이다. 아울러 현실적으로는 저항 측정을 위한 적은 송신전원과 지전류가 혼합되어 극성을 바꾸면 다른 값이 읽히는 것이다. 따라서 편법을 사용하거나 전기탐사기로 측정을 수행하여야 제대로 된 접지저항을 잴 수 있다.

그림 3은 전극 매설 깊이에 따른 전기비저항의 감소를 보여주는데 공식에 의하면 로그함수로 감소하여 수렴하게 되므로 일정이상 매설하는 것은 실용적으로 의미가 없다. 그림 4는 몇 가지 주요 현장 접지조건과 접지저항 변화 특성을 보여준다. 전극 매설 심도가 깊으면 계절의 영향을 덜 받으며, 얇은 경우 겨울과 여름의 차이가 두 배까지 난다. 영하가 되면 대지 비저항은 갑자기 증가하고 그 이후 급격한 비저항 증가 추세를 보인다. 영하에서 영상이 될 경우 그 반대다. 표 2, 3, 4, 5는 토양 조건, 지역별, 수분함량, 전해질 농도에 따른 비저항 변화인데 ANSI/IEEE 분석 자료이므로 대표적으로 참고할 수 있겠다.

표 1. 종별 접지공사 규격

종류	접지저항치	접지선의 직경
제1종접지공사	10Ω 이하	2.6mm
제2종접지공사	변압기의 고압측 또는 특별 고압측 전로의 1선 지락전류의 암페어수에서 150을 제한 값.	2.6mm 고압으로부터 300V 이하로 변압하는 저압측의 중성점 접지는 4mm.
제3종접지공사	100Ω	1.6mm
특별제3종접지공사	10Ω이하	1.6mm

2.2 접지저항 저감법

높은 접지저항값은 접지극과 토양의 접촉저항 및 토양의 고유저항에 문제가 있는바 물리적 저감법과 화학적 저감법이 있다.

물리적 저감법은 접지 저항값의 계산에서 보듯이 저항값은 접지극의 길이, 단면적, 접촉

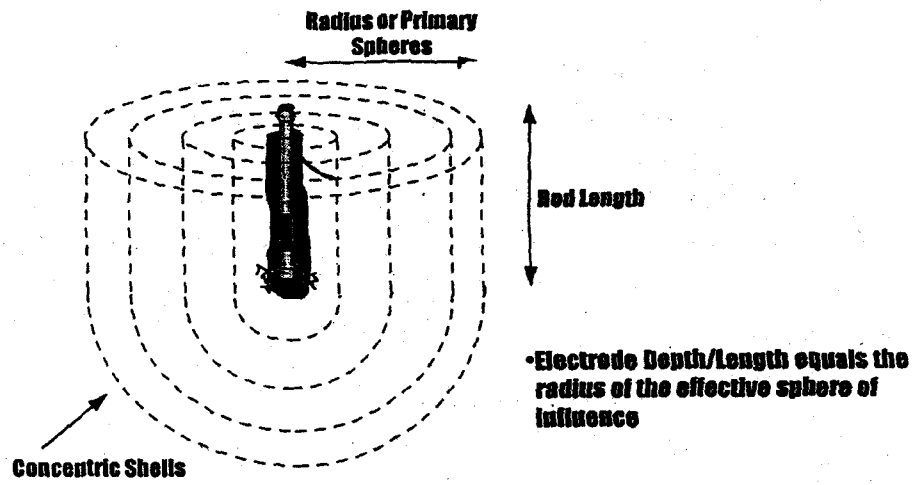


그림 1. 접지 전극에 따른 전계 구.

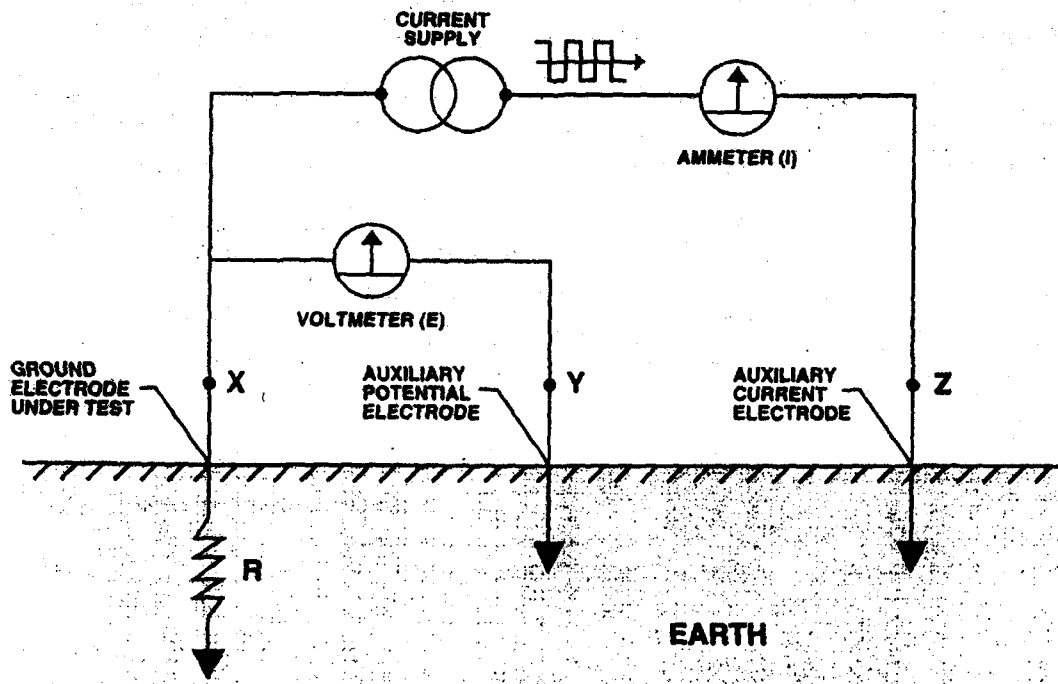


그림 2. 3-점 전위차 측정법의 원리.

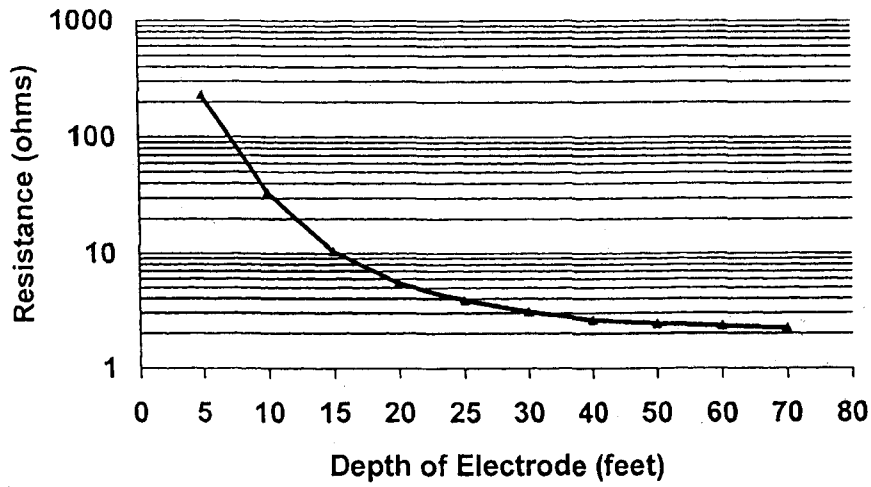


그림 3. 전극 매설 깊이에 따른 접지 저항 감소 곡선.

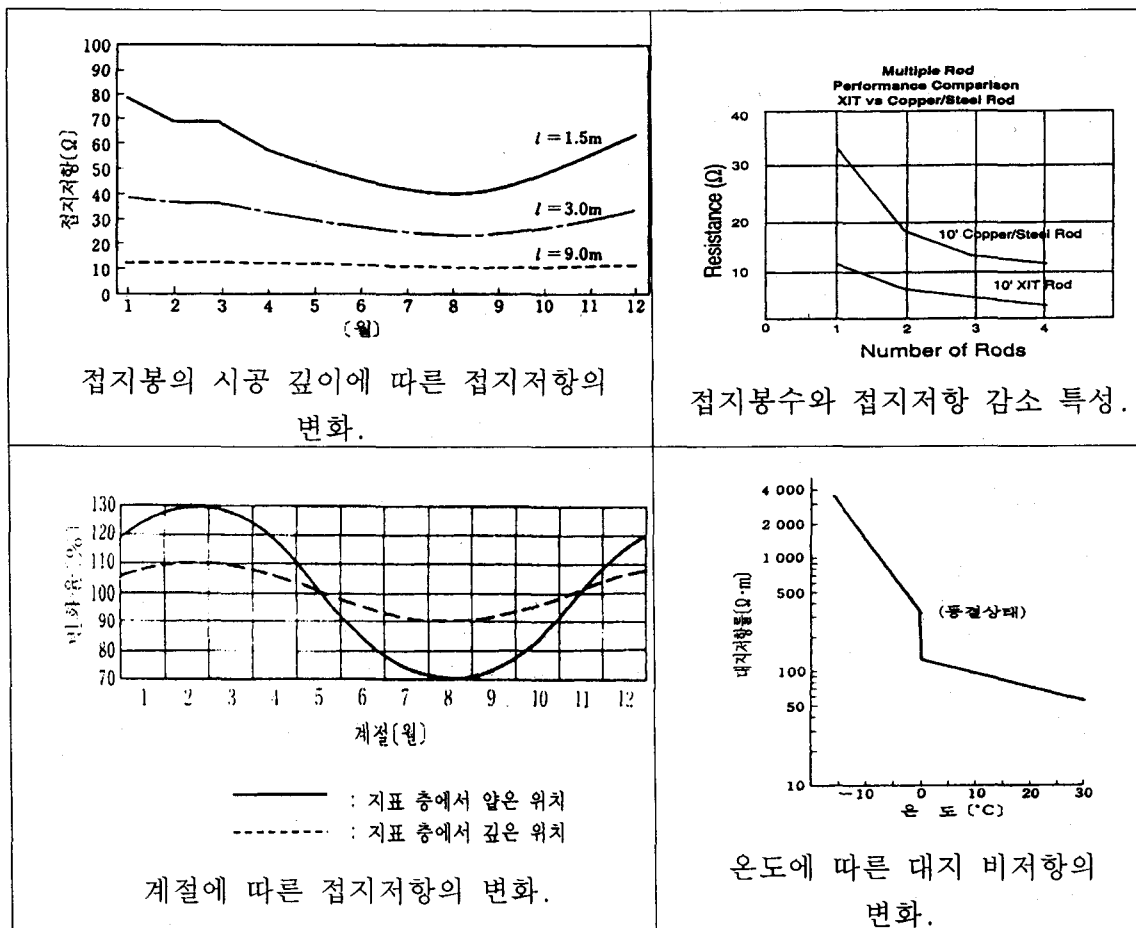


그림 4. 주요 접지 조건과 접지저항 변화 특성.

표 2. 토양 조건에 따른 대지 비저항.

전형적인 대지 비저항 비교표	
토지의 종류	대지 비저항 ($\Omega\text{-m}$)
습기가 많은 유기체 진흙	10
젖은 표면의 토양	100
점착성이 없는 젖은 토양	200
마른 토양	1,000
자갈을 포함한 모래	10,000

표 3. 지역에 따른 대지 비저항(ANSI & IEEE 분석자료).

비저항 지역별	대지비저항 ($\Omega\text{-m}$)	지질 특성
낮은 비저항 지역	100이하	강, 하천, 바다에 인접한 저지대로 물이 풍부한 지역.
중간 비저항 지역	100~1,000	지하수가 풍부한 지역으로 준 평원지역.
높은 비저항 지역	1000이상	배수 잘되는 지역으로 자갈이나 암반의 높은 지역.
확인 사항	지역마다 수분함유 상태, 토양의 종류, 지층의 구조가 다르므로 설계에 앞서 대지 비저항 측정 및 지질 분석은 필수적임.	

표 4. 수분함량에 따른 대지 비저항(ANSI & IEEE 분석자료).

비저항 함유율 (% by weight)	대지 비저항 (Soil Resistivity) ($\Omega\text{-m}$)	
	표면 토양 (top soil)	모래가 섞인 퇴적 토양 (sandy loam)
0	1000×10^6	1000×10^6
2.5	2500.0	1500.0
5	1650.0	430.0
10	530.0	185.0
15	190.0	105.0
20	120.0	63.0
30	64.0	42.0
확인 사항	대지 비저항은 토양이 함유하는 수분에 따라 변함.	

표 5. 전해질 농도에 따른 대지 비저항(ANSI & IEEE 분석자료).

비저항 함유율 (% by weight)	대지 비저항 (Soil Resistivity) (Ω -m)
0	110
0.1	20
1	10
5	7
10	4
20	3
확인 사항	대지 비저항은 토양이 함유하는 전해질 농도에 따라 변함.

면적, 매설깊이와 밀접한 관계가 있으므로 계산상 저항값은 낮아진다. 때문에 접지봉, 동판, 나동선의 크기 또한 가능하다면 큰 것으로 시공하는 것이 유리하다. 과거에는 패네프트, 패럿 어스와 같은 접지극을 이용하여 접지저항을 쉽게 얻을 수 있었다. 그러나 최근에는 전기 설비의 발달로 인해 낮은 저항치를 요구함에 따라 한계에 부딪혀 사용되지 않고 있다. 최근 많이 사용되는 방법은 대표적으로 연결식 접지봉과 병렬접지 방식, 메쉬(Mesh) 시공, 보링(Boring) 시공, 심타 공법 등이 있다.

종래의 화학적 저감법은 접지극 주변의 토양 개량으로서 도전성물질 또는 화학적 전해질 물질을 접지극 주변의 토양속에 주입, 치환하여 토양의 고유저항율을 저감시키는 방법이다. 이 공법의 사고방식은 상당히 오래전부터 있어 왔으며 사용 물질로서는 염(소금), 황산 암모니아, 탄산소다, 카본분말, 벨라이트, 벤토나이트 등을 조합하여 사용하였다. 또한 일부에서는 쟈가루, 숯, 분뇨, 흑연, 염화 칼슘, 염화 마그네슘, 코크스 등도 많이 사용되었다. 이러한 물질을 사용한 직후, 저항값은 확실히 낮아지지만 시간이 경과함에 따라 서서히 상승하여 1~2년이 경과하면 거의 효과가 없어진다. 그 원인은 토립자간의 공극에 이들 물질이 채워져 일시적으로 토양의 고유저항이 저하하였기 때문이다. 그러나 이들 물질에는 접착력이 없어 물에 녹기 때문에 빗물 또는 지하수 등에 의하여 쉽게 소멸되어 버린다. 또 접지극이 금속인 경우는 부식되므로 현재는 이러한 물질을 사용하지 않는다.

시멘트와 도전재료가 결합된 제품으로 강한 알칼리성을 띠는 도전성 저감재는 토양, 접지 전극을 부식하는 일이 없이 안전하게 사용될 수 있다. 접지저항의 경년변화에 대해서도 기존 저감재와 달리 시멘트와 같이 견고하게 굳어지고 일정한 수분을 항상 보유하고 있어 시공 후의 접지저항값은 반영구적으로 안정적으로 나타난다. 시공성/가격, 인체/환경무해/무부식 등이 고려된다. CSAMT 탐사시 각별히 유의할 사항이다. 송신 전극 접지저항이 높으면 그 저항 자체가 Ohm의 법칙에 의해 전열기가 되어 심하면 접촉부가 부글거릴 것이며 기껏 송신 부하저항 저감을 위해 무거운 전선을 어렵게 매설한 것이 무용지물이겠다. 더구나 양호한 정전류 송신원이라 하더라도 측정중의 발열에 의한 부하 저항 변동은 수신 계측 파형의 불량으로 쉽게 전파된다.

3. 육상 및 수중 전기탐사 안전문제

3.1 인체 감전

감전이란 인체를 통하여 전류가 흐르는 것이며, 인체에 대한 영향은 전류의 크기에 관계가 있고 개인차가 있기 때문에 일괄해서 말할 수는 없으나 대강 표 6과 같다. 직류와 교류는 그 영향이 다소 다르다. 또한 전압이 높더라도 인체를 통해서 흐르는 전류가 작으면 위험은 적다. 직류에서 100V, 교류에서는 40V가 일단 안전 한계(노약자 안전계수 어느 정도 감안)이지만 땀을 흘리고 있을 때나 수족이 젖어 있을 때는 더 낮은 전압에서도 위험하다. 감전의 전격에 의한 전도, 추락 등 부차적인 원인으로 사고를 크게 하는 일도 있다.

전류가 인체에 미치는 경향은 주파수, 크기, 지속시간 및 통로에 관계된다. 주파수의 경우 상용주파수 즉 60Hz에 대하여만 고려한다. 그러나 일반적으로 사람은 좀 더 큰 25Hz 전류에 견딜 수 있고 직류는 상용주파수 교류의 5배까지 견딜 수 있다. 또한 충격전류는 수백 Ampere까지 견딜 수 있다. 크기 및 지속기간의 경우 사람은 일반적으로 1mA 정도의 전류가 흐르면 감전을 느끼기 시작하여 9~25mA가 흐르면 상당한 고통을 느끼고 손에 잡은 물체를 놓기 곤란하거나 놓을 수 없을 정도로 근육통제의 결여를 초래한다. 보다 큰 전류가 흐르면 근육위축으로 호흡이 곤란해진다. 근육위축이 심하여 호흡이 수분간 정지하지 않는 한 그 영향은 전류만 차단되면 곧 없어진다. 보다 큰 전류가 흐르면 심실세동으로 죽음을 초래한다. 이런 경우는 인공호흡도 효과가 없다. 이 심실세동이 시작되는 전류계가 최대 관심사이다. 실험결과에 의하면 사람은 감전시간이 짧으면 보다 큰 전류에 견딜 수 있다. 따라서 고속도 차단이 안전면에서 중요하다는 것을 표시한다. 이상은 심장을 포함한 중요한 인체기관을 전류가 통과할 때의 경우이다. 그러나 일반적으로 사람의 두 다리 사이만을 흐르는 전류는 위험성이 훨씬 적다고 한다.

표 6. 인체 감전 전류량에 따른 증상.

전류치 [mA]	영향
1 이하	전기적 충격이나 짜릿함을 느낀다.
5	아픔을 느끼고 후에 빠근함이 남는다.
10	견딜수 없는 고통을 느끼고 전류의 유입점에 상처가 생긴다.
20	근육이 수축하며 경련을 일으키고 신체의 자유가 들지 않는다.
30	화상과 같은 병상이 일어나며 의식을 잃기도 한다.
50	호흡이 정지되거나 경우에 따라서는 심장 기능이 정지한다.
100	치명적 결과를 발생, 대부분의 경우 사망한다.

3.2 육상/수중 전탐 안전 고찰

육상 전기탐사시 가장 주의하여야 할 사항은 인체가 전기 통로가 되는 경우이다. 대표적인 예를 들면 젖은 논에서 측정이 갖 끝나기도 전에 신속한 이동을 위해 전극을 뽑는 경우로서 매우 위험하니 특히 하루의 마지막 작업시 유의하여야 한다. 그 외의 경우는 배전반에서 송신 중에 전류 측 바나나 플러그를 잘못 뽑는 경우이다. 그 외는 측정 중에 노출 전선이나 전극을 건드려도 별로 문제될 것이 없다. 이는 고압선에 참새가 탈 없이 앉는 것과 마찬가지로이다. 여하간 인체의 두 지점에 전위차가 걸리지 않으면 문제가 되지 않는 것이다.

육상도 원리적으로 마찬가지로이나 특히 수중의 경우 전류 전극쌍이 아주 가깝지(전기로 고기잡는 경우) 않다면 수중 고기나 사람의 내부에 전위가 형성되는 것은 쉬운 일이 아니다. 400 V 송신을 가정해보자. 송신전극과 물이 30% 정도 저항에 의한 전압 강하가 쌍으로 일어나고 나머지 40% 전압 160 V가 전극 간격 10 m에 걸쳐 형성된다면 최대 전위 형성 방향으로 2 M 사람이 놓이면 $160 / 5 = 32$ V가 걸리며, 이 경우에도 물과 병렬 연결되기 때문에 이것의 수분의 1 전압 정도가 고려된다. 물론 인체가 전류의 흐름 방향과 직교하는 등전위선 상에 있으면 걸리는 전압은 없다. 물고기는 치어일수록 길이가 더욱 작으니 무방하다 하겠다. 요컨대 어떠한 경우에라도 분압 저항 및 기하학적 전위 분포를 고려한 전압 걸림을 원리적으로 고찰한다면 문제를 대략 풀어 상황을 예측할 수 있을 것이다.

4. 결론

전기탐사 현장계측시 부딪히는 접지 및 안전 문제에 대해 살펴보았다. 양호한 자료 획득을 위해 접지에 주의를 많이 할수록 좋고, 항상 안전하다 생각되어도 현장 전기탐사자 여러분, 전기조심하세요.