

“경부고속철도 통신유도대책 접지시설공사”와 관련하여

1. 접지공법 비교

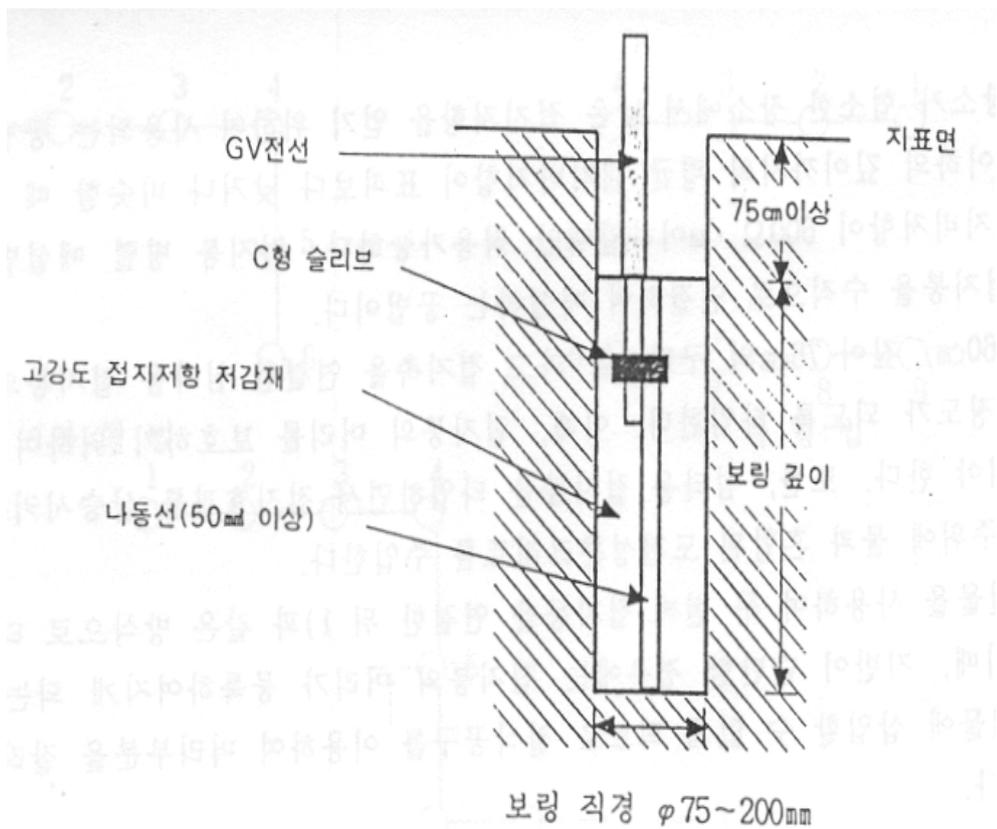
참고: 시방서에 제시된 그림 6-14-3, 그림 6-14-4방법과 그와 유사한 방법으로 제한 됨.

가. 보링공법을 이용한 시공법

대지고유저항은 토양의 깊이, 조밀도, 수분 함유율, 공기량 등에 따라 달라지므로 접지공사 시공전에 대지고유저항과 토양을 분석하여 최적의 깊이를 선정한다.

1) 고강도 접지저항 저감재를 이용한 보링공법

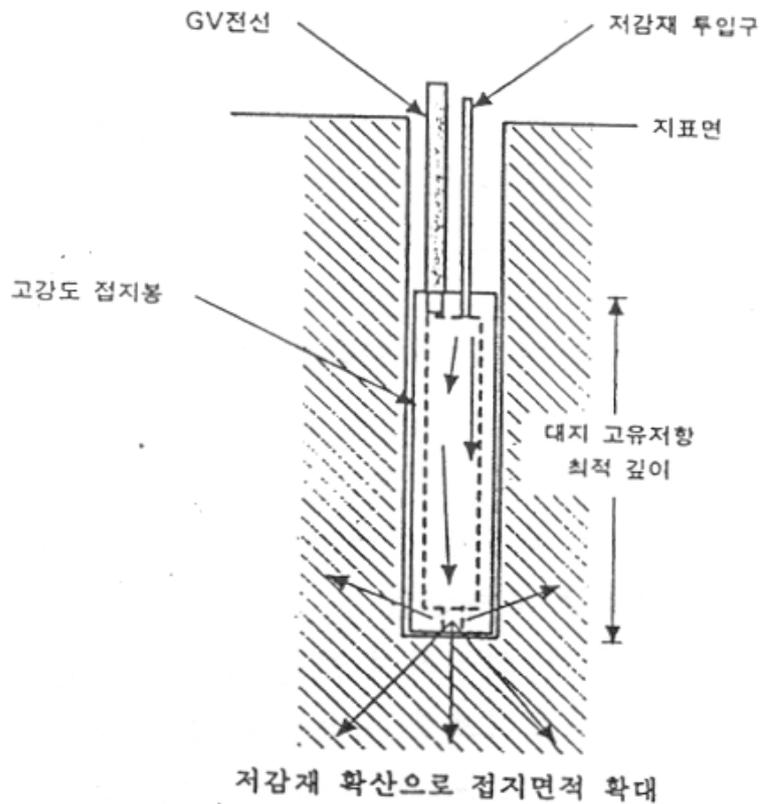
- (가) 대지고유저항이 최적인 깊이를 선정하여 보링 후 38mm²이상의 연동연선을 넣는다.
- (나) GV 전선과 나동선을 c형 연결슬리브를 사용하여 접속후 부식방지를 위하여(그림 6-14-3)과 같이 고강도 접지저항저감재 내에 삽입되도록 한다.



(그림 6-14-3) 고강도 접지저항 저감재를 이용한 보링공법

나. 고강도 접지봉을 이용한 보링공법

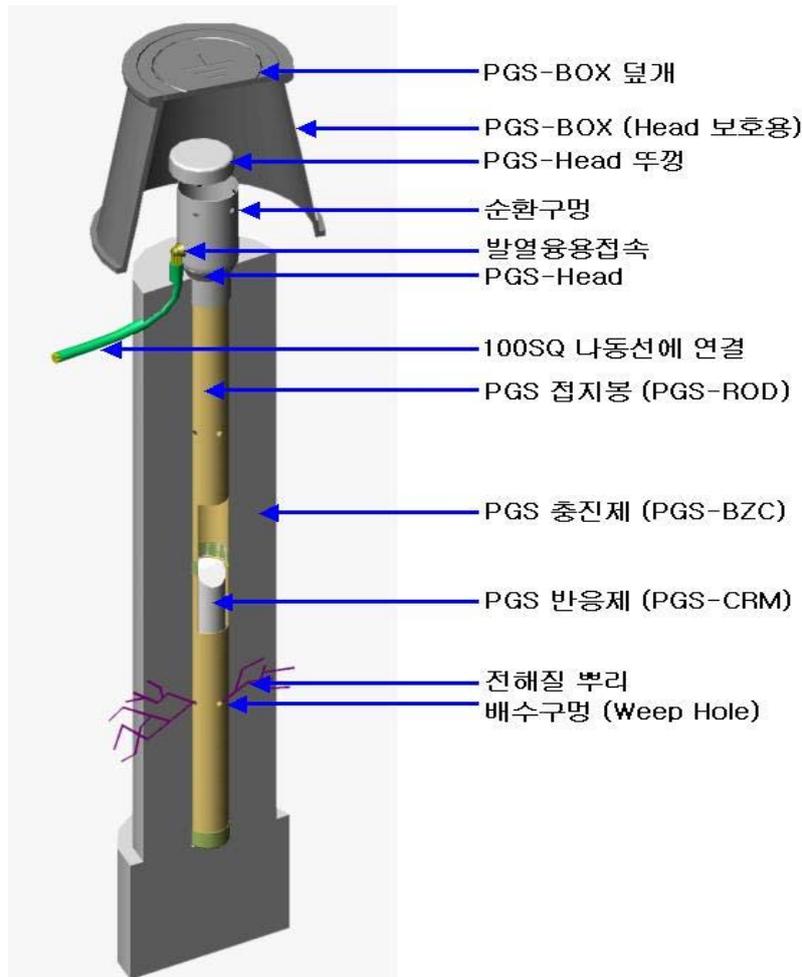
- (1) 대지고유저항이 최적인 깊이를 선정하여 보링 후 원통형의 고강도 접지봉을 넣는다.
- (2) 고강도접지봉을 넣은 후 흙으로 되메우기 작업을 하여 압축공기로 충전시 저감재가 지표면으로 분출되지 않도록 한다.
- (3) 고강도 접지봉의 상부에 설치되어 있는 저감재 투입구에 고강도접지저항 저감재를 물과 혼합하여 압축공기로 불어 넣어 밑에서부터 (그림 6-14-4)와 같이 충전되도록 하여 접지면적을 확대시킨다.
- (4) 충전중 접지저항계로 측정하여 규정된 접지저항값에 도달하면 저감재 투입을 종료한다.



(그림 6-14-4) 고강도 접지봉을 이용한 보링공법

다. PGS접지봉과 충전제 및 반응제의 화학반응을 이용한 접지저감 PGS공법

- (1) 컴퓨터 Simulation으로 대지고유저항률을 분석하여 접지봉의 길이 및 보링의 깊이, 보링의 직경을 산출하며, 아울러 충전제 및 반응제의 물량을 산출 설계한다.
- (2) 보링한 구멍에 PGS접지봉을 넣은 후 충전제를 PGS접지봉 주변에 되메우기 작업을 하여 PGS접지봉과 대지와 접촉저항을 낮추어 접지저항을 양호하게 한다.
- (3) PGS접지봉 Head의 투입구에 PGS반응제를 투입하여서 공기 중의 수분흡수와 화학반응에 의하여 알칼리성 전해질을 생성하여 충전제와 주변의 토양에 방출되도록 하여 주변의 토양의 저항률을 낮추고 접지면적을 확대시켜서 접지저항을 저감한다.
- (4) PGS 충전제와 반응제의 화학반응에 의하여 생성된 알칼리성 전해질이 지속적으로 접지봉의 주변과 대지에 공급되기 때문에 시간이 경과(준공 후 약 1년간)하더라도 지속적으로 접지저항값은 낮아진다.

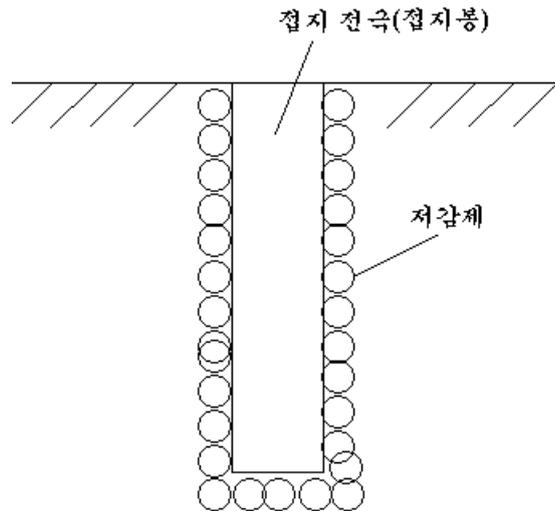


(5) PGS접지공법의 시공도 및 접지저항 저감방법

라. 저감제 접지의 구조 및 시공방법으로 분석

(1) 저감제 접지의 구조

① 저감제 유입방법(유사접지전극을 만드는 방법)



$$\text{식1} : R_0 = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot \left(2.3 \log_{10} \frac{4L}{a} - 1 \right)$$

ρ : 토양의 고유저항(Ω -m)

l : 접지봉의 길이(cm)

a : 접지봉의 반경(cm)

R_0 : 접지봉의 저주파접지저항(Ω)

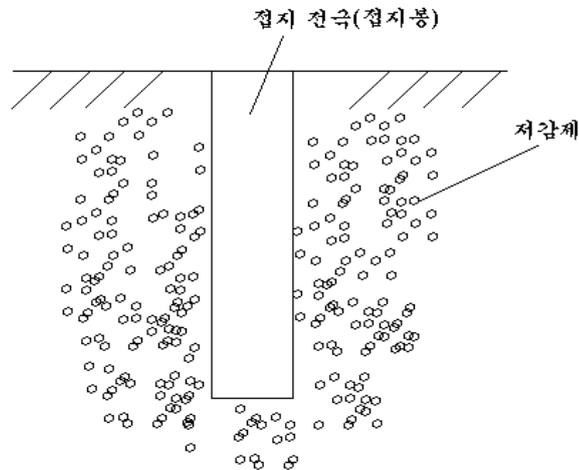
접지전극 주위에 저감제를 충전하여 유사접지전극을 만드는 방법으로 접지봉이 대지와 접촉되는 단면적이 확대되도록 하는 방법.

설명 : 상기 식에서 r : 접지봉의 반경(cm)을 크게 하면 접지저항값 R_0 를 적게 할 수 있다. 여기서 저감제의 전도율(전기적 도전율)이 매우 중요함을 식1로 알 수 있다.

시사점:

- 1) PGS공법은 상기 식1에서 알 수 있듯이 접지봉의 단면적(r : 접지봉의 반경(cm), l : 접지봉의 길이(cm))을 확대시키는 것이 접지저항값을 저감시키는 방법이다.
- 2) PGS공법은 천공한 보링구멍 깊이만큼의 PGS접지봉을 넣기 때문에 대지와 접촉되는 단면적이 타 공법에 비교하여 확대되기 때문에 경제적 효율성이 우수하다.
- 3) 장기적인 측면(장비운영의 안정성, 장비수명 보호 등)에서 검토 할 때 PGS 접지공법이 경제성과 시공의 편리성과 경년변화 및 내구성이 높은 것을 장점으로 한다.

② 주변토지저항률 저감방법(주변의 토지 저항률을 저감하는 방법)



*. 저감제를 이용하여 접지전극 주위의 토양을 양호한 전도성을 지닌 대지로 만들어 접지 저항값을 낮추는 방법.

$$\text{식1} : R_0 = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot (\ln \frac{4L}{a} - 1) = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot (2.3 \log_{10} \frac{4L}{a} - 1)$$

ρ : 토양의 고유저항(Ω -m)

L : 접지봉의 길이(cm)

a : 접지봉의 반경(cm)

R_0 : 접지봉의 저주파접지저항(Ω)

설명 : 상기 식1 에서 ρ : 토양의 고유저항(Ω .m)을 작게 하면 접지 저항 값 R_0 를 적게 할 수 있다.

여기서도 역시 중요한 것은 저감제의 전도율(전기적 도전율)이 매우 중요하다.

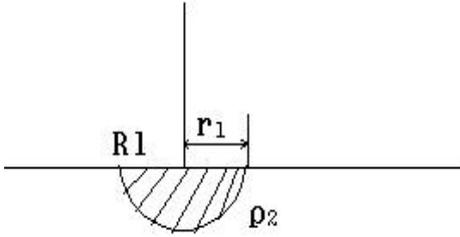
또한, 전해질을 방출하여 주변 토양의 전도성을 양호하게 하는 전해질방출 성능이 있는 저감제를 사용하는 것이 접지저항을 낮추는데 유리하다

시사점:

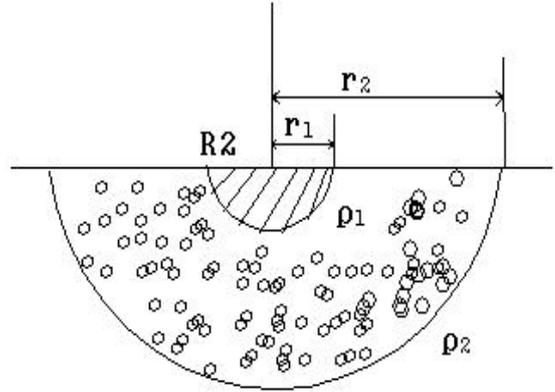
- 1) PGS공법은 상기 식1에서 알 수 있듯이 주변토양(ρ : 토양의 고유저항(Ω -m))의 저항률을 낮게 하는 것도 접지저항값을 낮추는 한 방법이다.
- 2) 장기적인 측면(장비운용의 안정성, 장비수명 보호 등)에서 검토 할 때 PGS 접지공법이 경제성과 시공의 편리성과 경년변화 및 내구성이 높은 것을 장점으로 한다.
- 3) PGS접지공법은 충진제와 반응제의 수분을 흡수하는 성질과 화학적 반응에 의하여 생성되는 알칼리성 이온 전해질을 지속적으로 대지에 공급을 하므로 접지저항을 낮추는 방식으로 일반 보링접지공법과의 차이점이다.
- 4) 공기중의 수분을 흡수하여 공급을 하는 방식으로 지속적으로 접지저항값이 저감된다.

마. 저감제 접지저항 값 계산으로 분석

1) 접지 저감제 효과 처리 모델



(a) 접지전극



(b) 저감제에 의한 유사접지 전극

저감제 사용하지 않은(a)접지전극

$$\text{식: } R_1 = \int_{r_1}^{\infty} \frac{\rho_2}{2\pi x^2} dx = \frac{\rho_2}{2\pi r_1}$$

ρ_2 = 대지저항률, r_1 = 접지전극의 반지름, x = 이격거리

$$(b) \text{ 식: } R_2 = \frac{\rho_2 * r_2 + (\rho_2 - \rho_1) * r_1}{2\pi r_1 r_2}$$

ρ_1 = 저감제 처리된 대지저항률, ρ_2 = 대지저항률, r_1 = 접지전극의 반지름,
 r_2 = 저감제 처리 접지 전극의 반지름

설명 : 상기 식에서 알 수 있듯이 ρ_1 = 저감제 처리된 대지저항률을 낮추어 즉, 주변의 대지저항률을 강제적으로 낮추어서 접지저항 값 R_1 을 감소시키는 방법이다.

정리 : 접지저항이란 접지전극이 대지와 접속의 정도를 나타낸다. 따라서 접지 저항 값을 낮추는 방법은 접지전극의 단면적을 넓히는 방법과 주변의 토지 저항률을 낮게 하여 접지저항을 저감하는 방법이다. 위의 식과 그림에서 알 수 있듯이 여기서 가장 중요한 사항은 접지 저감제의 성능(전기적 도전을, 전해질 방출하여 주변 토양의 전도성을 양호하게 하는 화학적 작용)이다.

바. 이론공식의 이해를 통한 효율적인 접지저항 저감방법

$$\text{식1 : } R_o = \frac{\rho}{2\pi l} \left(1n \frac{4l}{r} - 1 \right)$$

ρ : 토양의 고유저항(Ω -m)

l : 접지봉의 길이(cm)

r : 접지봉의 반경(cm)

R_o : 접지봉의 저주파접지저항(Ω)

상기 식1을 보면, r : 접지봉의 반경(cm)을 넓히거나, l : 접지봉의 길이(cm)를 길게 하면, 접지저항 값 R_o 을 작게 할 수 있다. 그러나 r : 접지봉의 반경(cm)을 넓히거나, l : 접지봉의 길이(cm)를 길게 하는 것은 비용적 측면에서 경제성이 낮고, 무엇보다 ρ : 토양의 고유저항(Ω -m)을 낮추는 것보다 비효율적임을 알 수 있다.

*. 접지저항 값을 낮추는 요소 정리

순번	접지저항 값 저감 요소	방법 및 효과
1	ρ : 토양의 고유저항(Ω -m)	저감제 사용, 매우 높음
2	l : 접지봉의 길이(cm)	단면적 넓힘, 긴 접지봉 사용
3	r : 접지봉의 반경(cm)	저감제 사용, 접지봉 단면적
확인 할 사항	접지 저감제의 전기도전율	순수한 접지봉의 단면적

표-1

바. 이론공식의 이해를 통한 효율적인 접지저항 저감방법

1. 접지저항 설계

1.1 접지설계 순서

- 1) 접지설계 장소의 대지비저항을 측정한다.
- 2) 측정된 대지비저항을 사용하여 대지의 지층구조를 분석한다.
- 3) 분석된 지층구조 및 확보가능한 접지면적을 고려하여 경제성을 검토한 뒤 적절한 접지시공방법을 선정한다.
- 4) 접지설계 식에 의거하여 접지를 설계한다.

2.2 접지설계 적용식

2.2.1. 접지봉 매설공법

- 1) 접지봉 1개 설치시의 접지저항

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot \left(2.3 \log_{10} \frac{4L}{a} - 1 \right)$$

단, L : 접지봉의 길이(m)

a : 접지봉의 반경(m)

ρ : 5m 평균대지비저항(Ω -m)

- 2) 등간격으로 다수의 접지봉 매설시 접지저항

$$R = \frac{\rho}{n} \left[\frac{1}{2\pi L} \cdot (\ln \frac{4L}{a} - 1) + \frac{1}{\pi s} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n} \right) \right]$$

$$= \frac{\rho}{n} \left[\frac{1}{2\pi L} \cdot (2.3 \log_{10} \frac{4L}{a} - 1) + \frac{1}{\pi s} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n} \right) \right] \cdot a$$

단, s : 접지봉 매설 간격 (m), ($L \leq s \leq 2L$)

n : 매설 접지봉 수

ρ : 5m 평균대지비저항 ($\Omega \cdot m$)

a : $1 + (2-s/L) \times 0.1$

2.2.2. 띠형 접지공법

$$R = \frac{\rho}{\pi L} \cdot \ln \frac{2L}{\sqrt{Wd}} = \frac{\rho}{\pi L} \cdot 2.3 \log_{10} \frac{2L}{\sqrt{Wd}}$$

단, W : 도전성 콘트리트의 포설폭 (m)

ρ : 5m 평균대지비저항 ($\Omega \cdot m$)

2.2.3. 심타 접지공법

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot (\ln \frac{4L}{a} - 1) \cdot M$$

단, M : 심타 접지 보정계수(1.5)

ρ : 2L 평균대지비저항($\Omega \cdot m$)

2.2.4. 보링 접지공법

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot (\ln \frac{4L}{a} - 1) \cdot M$$

단, M : 보링 접지 보정계수(1.5)

ρ : 2L 또는 50m 이상 깊이의 평균대지비저항($\Omega \cdot m$)

2.2.5. 복합 접지공법

$$R_{\text{total}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2 \cdot a}} \quad R_1 \leq R_2$$

단, a : 접지극 결합계수

접지극 결합계수 a는 다음과 같다.

- 1) 수직형 접지공법 + 수평형 접지공법 : 3
- 2) 수직형 접지공법 + 수직형 접지공법 : 1.1

2.2.6. 보강접지 설계

접지저항이 여러 가지 요인에 의해 증가되었을 경우에는 접지를 보강하여야 하는데 이 때 보강되어야 할 접지저항 산출식은 다음과 같다.

$$R_E = \frac{R_A \times R_c}{R_A - R_c} \times \frac{1}{a}$$

단, R_E : 보강 접지저항

R_A : 현재 접지저항

R_C : 소요 접지저항

a : 결합계수(1.1 적용)

접지저항 예측 공식표(IEEE std-142-1982)

반구 반지름 a.	① $R = \frac{\rho}{2\pi a}$
접지로드(한점) 길이L, 반지름a	② $R = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot (\ln \frac{4L}{a} - 1)$
접지로드(두점) S>L : 간격 S	③ $R = \frac{\rho}{4\pi L} \cdot (\ln \frac{4L}{a} - 1) + \frac{\rho}{4\pi S} \cdot (1 - \frac{L^2}{3S^2} + \frac{2L^4}{5S^4})$
접지로드(한점) S>L : 간격 S	④ $R = \frac{\rho}{4\pi L} \cdot (\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{S} - 2 + \frac{S}{2L} - \frac{S^2}{16L^2} + \frac{S^4}{512L^4} \dots)$
지중선 길이2L,깊이S/2	⑤ $R = \frac{\rho}{4\pi L} \cdot (\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{S} - 2 + \frac{S}{2L} - \frac{S^2}{16L^2} + \frac{S^4}{512L^4} \dots)$
직각선 팔길이L, 깊이S/2	⑥ $R = \frac{\rho}{4\pi L} \cdot (\ln \frac{2L}{a} + \frac{2L}{S} - 0.2373 + 0.2146 \frac{S}{L} + 0.1035 \frac{S^2}{L^2} - 0.0424 \frac{S^4}{L^4} \dots)$
3선 접속점 팔길이L, 깊이 S/2	⑦ $R = \frac{\rho}{4\pi L} \cdot (\ln \frac{2L}{a} + \frac{2L}{S} - 1.071 + 0.209 \frac{S}{L} + 0.238 \frac{S^2}{L^2} - 0.054 \frac{S^4}{L^4} \dots)$
4선 접속점 팔길이L, 깊이 S/2	⑧ $R = \frac{\rho}{8\pi L} \cdot (\ln \frac{2L}{a} + \frac{2L}{S} + 2.912 - 1.071 \frac{S}{L} + 0.645 \frac{S^2}{L^2} - 0.145 \frac{S^4}{L^4} \dots)$
6선 접속점 팔길이L, 깊이 S/2	⑨ $R = \frac{\rho}{12\pi L} \cdot (\ln \frac{2L}{a} + \frac{2L}{S} + 6.851 - 3.128 \frac{S}{L} + 1.758 \frac{S^2}{L^2} - 0.490 \frac{S^4}{L^4} \dots)$
8선 접속점 팔길이L, 깊이 S/2	⑩ $R = \frac{\rho}{16\pi L} \cdot (\ln \frac{2L}{a} + \frac{2L}{S} + 10.98 - 5.51 \frac{S}{L} + 3.26 \frac{S^2}{L^2} - 1.17 \frac{S^4}{L^4} \dots)$
원선 원지름 깊이S/2	⑪ $R = \frac{\rho}{2\pi D^2} \cdot (\ln \frac{8D}{d} + \ln \frac{4D}{S})$
지중수평선 길이2L, a/b 깊이S/2, b<a	⑫ $R = \frac{\rho}{4\pi L} \cdot (\ln \frac{4L}{a} + \frac{a^2 - \pi ab}{2(a+b)^2} + \ln \frac{4L}{S} - 1 + \frac{S}{2L} - \frac{S^2}{16L^2} + \frac{S^4}{512L^4} \dots)$
지중수평원판 반지름 a, 깊이 S/2	⑬ $R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \cdot (1 - \frac{7a^2}{12s^2} + \frac{33a^4}{40s^4} \dots)$
지중수직원판 반지름 a, 깊이S/2	⑭ $R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \cdot (1 + \frac{7a^2}{24s^2} + \frac{99a^4}{320s^4} \dots)$

길이의 단위는 cm이다. ρ=대지저항률(Ω.m)