대지 비저항

1. 대지 비저항의 정의

대지비저항은 대지고유저항이라고도 하는데, 단일 성분의 토양에 대해서는 대지 고유저항이라는 용어를 사용할 수 있지만, 실제로는 여러 종류의 토양이 혼합되어 대지를 이루고 있기 때문에 대지비저항이라는 용어를 사용하는 것이 더욱 적합하다고 생각된다. 또한, 대지비저항은 대지도전율의 역수이기도 하며, 앞에서 설명되었듯이 저지저항을 결정하는 세가지 요소중 가장 중요하다.
대지비저항은 그림 2.24에서와 같이 정의된다.[4]

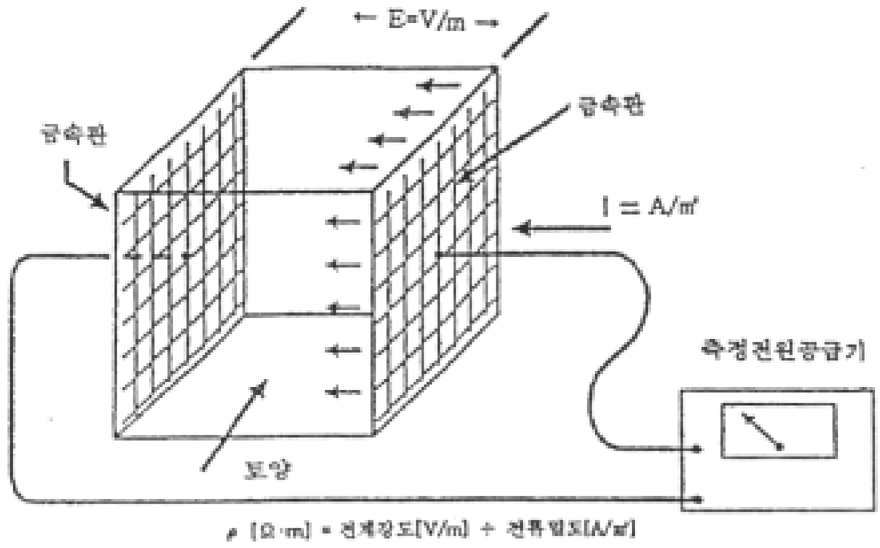


그림 2.24 대지 비저항의 정의

2. 대지비저항을 결정하는 요소

(1)토양의 종류

토양, 즉 토질의 종류에 따른 대지고유저항은 표 2.8과 같다. 각 토양에 대한 대지고유저항의 편차가 크게 나타나는 까닭은 토양의 습기함유율과 직접적인 관련이 있다.

(1) 토양의 종류

토양, 즉 토질의 종류에 따른 대지고유저항은 표2.8과 같다. 각 토양에 대한 대지고유저항의 편차가 크게 나타나는 까닭은 토양의 습기함유율과 직접적인 관련이 있다.

(2) 토양의 수분 함유율

일반적으로 땅 속 깊이 들어갈수록 토양의 수분함유량은 증가하게 되어 대지비저항이 감소하게 된다. 그림 2.25에서의 그래프와 같이 토양의 수분함유율이 15%이하에서는 함유율에 따른 대지비저항의 편차가 심하지만, 그 이상이 되면 충분하다. 여기서 한 가지 주의할 사항은 접지전극을 통하여 전류가 지속적으로 흐를 경우에는 발생하는 주울열에 의향 토양의 수분함유율이 낮아지게 된다는 것이다.

표2.8 토양(토질)의 종류에 따른 대지고유저항

토 질	대지고유저항(Ω · m)	토 질	대지고유저항(Ω · m)
粘土	5 ~ 51	花崗岩	800 ~ 100000
砂	0.5 ~ 1000	片麻岩	800 ~ 100000
(모래)岩	0.8 ~ 12	스레이트	60 ~ 1000
泥岩	8 ~ 16	水田濕地(粘土質)	~ 155
砂岩	0.8 ~ 1000	田地(粘土質)	10 ~ 200
礫岩	10 ~ 1300	田畓 (表土下, 砂利層)	100 ~ 1000
石炭岩	5 ~ 1500	山地	200 ~ 2000
玄武岩	800 ~ 100000	山地(岩盤地帶)	2000 ~ 5000
輝綠岩	800 ~ 100000	河岸, 河床跡 (자갈, 玉石積)	1000 ~ 5000

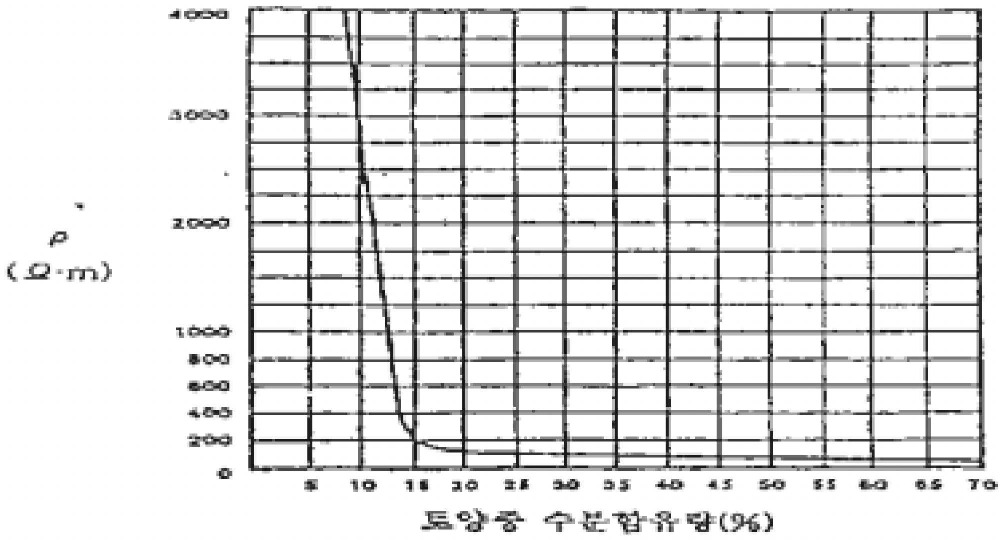


그림2.25 수분함유량에 따른 대지비저항

(3) 토양의 온도

토양의 온도에 따른 대지비저항의 변화는 수분함유율과도 밀접한 관계가 있는 것으로 분석되고 있다. 그것은 그림 2.26에 나타난 바와 같이 토양의 온도가 빙점 이하로 떨어졌을 경우 수분이 동결되어 대지비저항이 급격히 증가하게 된다. 따라서, 접지가 토양의 온도에 따른 영향을 받지 않게 하기 위해서는 지역에 따른 토양의 동결심도 이하의 깊이로 접지전극을 매설하는 것이 중요하다. 일반적으로 적용하고 있는 공법에 나타난 접지봉의 매설깊이 75cm(60cm+15cm)는 동결심도(국내 동결심도의 평균값 또는 외국의 기준을 적용한 것으로 판단됨)를 기준으로 설정되어 있다. 따라서, 실제적으로는 지역에 따라 그림 2.27의 동결심도 자료를 참고하는 것이 바람직하다. 단, 동결심도가 낮더라도 접지전극의 물리적인 손상을 방지하기 위하여 최소한 75cm를 준수하여야 한다.

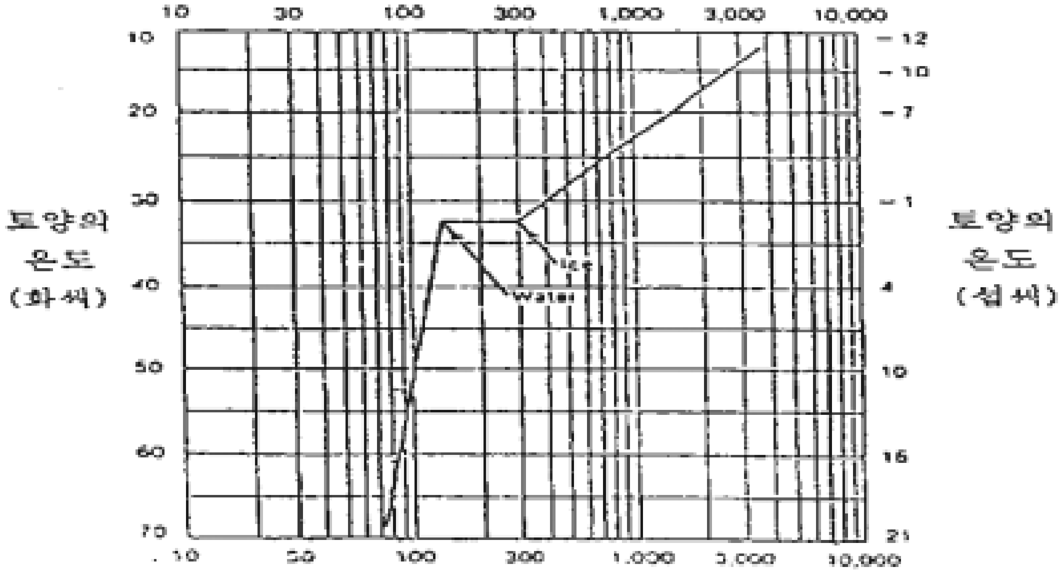


그림 2.26 온도에 따른 대지비저항

(4)토양의 무기물 또는 미생물체 함유량

대지비저항이란 전기적인 특성의 일종이므로 도전성에 영향을 줄 수 있는 무기물이나 미생물체의 함유량에 따라 변동될 수 있지만, 접지시공 입장에서는 특별히 고려할 필요가 없다.

지역명	심도(cm)	지역명	심도(cm)
서울	123.2	원성	117.3
강릉	70.3	제천	128.8
인천	103.8	진천	101.9
울릉도	26.6	괴산	107.7
추풍령	93.3	보은	115.4
포항	51.7	아산	85.0
대구	76.6	부여	72.1
전주	75.0	논산	72.1
울산	57.8	금산	86.8
광주	58.8	이리	54.4
부산	25.0	무주	76.7
목포	29.2	부안	54.4
여수	23.5	남원	64.7
수원	113.5	장성	50.0
춘천	140.7	구례	38.2
청주	107.7	함평	30.6
속초	48.4	울진	34.7
서산	75.0	안동	83.3
군산	44.0	청송	103.8
대전	80.0	김천	68.1
진주	64.7	영천	64.2
강화	100.0	경주	47.4
양평	116.8	합천	58.8
이천	107.7	울주	50.0
인제	136.5	함양	56.3
홍천	130.4	김해	30.6
대관령	191.4	남해	33.3

그림 2.27 지역별 동결심도 분포

3. 대지비저항의 측정

대지비저항 측정에 가장 많이 사용되는 측정법은 웨너의 4전극법이며, 웨너의 4전극법의 기본조건은 대지가 균일한 대지고유저항을 갇는 지층구조로 되어 있다는 가정에서부터 출발한다. 그림 2.28에서와 같이 C_1, C_2, P_1, P_2 네 개의 전극을 동일한 간격 a로 설치하고 C_1, C_2 전극으로 전류 I를 흘려주면, P_1, P_2 전극 사이에는 전압 V가 나타난다. 측정원리에 적용되는 기본공식에 따라 깊이 a까지의 대지에 대한 대지고유저항은 $\rho=2\pi a(V/I)$가 된다. 실제로는 대지가 균일한 토양으로 되어 있지 않기 때문에 이 값은 깊이 a까지의 평균 대지비저항이 된다. 따라서, 여러 가지 깊이에 따른 평균 대지비저항을 측정하여 역으로 분석하여 대지 지층구조를 알아낼 수 있게 된다. 여기서주의 할 점은 측정을 위한 전극 설치시 그 기이를 이격거리의 1/20 정도로 낮게 유지하여야 하는데, 그것은 측정원리상 지표면위 한 점으로 전류가 유입되어야 한다는 것과 접지봉 설치시 접지저항의 분표율을 고려해야 하기 때문이다. 이 때 얕게 설치하면, 토양과의 접촉저항의 증가로 측정이 제대로 이루어지지 않는다.[4]

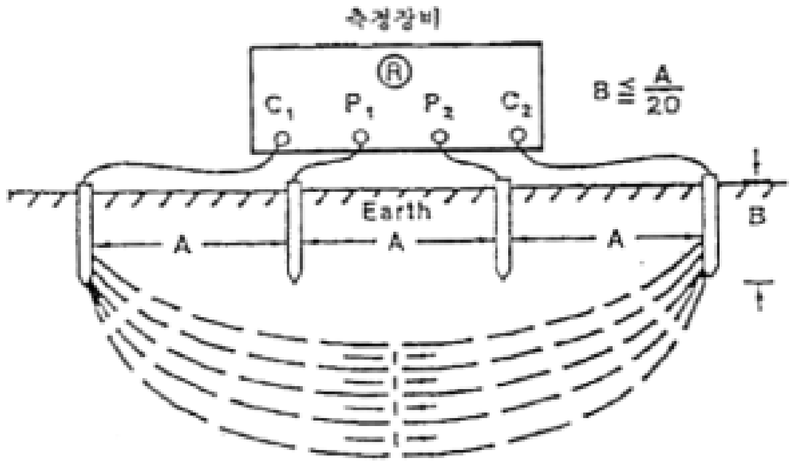


그림 2.28 웨너의 4전극법

접지저항 저감법

접지공사를 하는 장소에 따라 접지전극을 충분히 포설하여 소요접지 저항을 얻는 경우가 있다. 접지저항은 대지저항률의 대소에 따라 좌우된다. 따라서 접지공사지점의 토양에 화학적 처리를 시행하여 대지저항률을 낮추어서 접지저항을 감소하는 것을 고려한다. 이와 같이 화학적 처리를 하는 것이 접지저감제이다.

저감제로서는 여기서 합류된 화학성분에 따라서 여러 가지가 개발되고 있다. 여기서는 저감제의 화학처리 모델의 이론적인 검토로서 구비하여야 할 조건으로 기본적 사항을 설명하고자 한다.[1]

1. 저감제의 구상

접지저항을 낮추기 위하여 전극부근에 소금물을 뿌리거나, 목탄분말을 채우는 방법은 옛부터 많이 사용하여 왔다. 이것은 접지전극을 유사(類似)접지도체로 본다는 것과 대지저항률을 인위적으로 작게 한다는 두 가지 관점에서 출발하고 있는 것이다.

접지저항은 대지저항률, 전극모양 및 크기의 함수이면 대지저항률을 작게 하거나 전극의 크기를 크게 하면 접지저항은 감소한다.

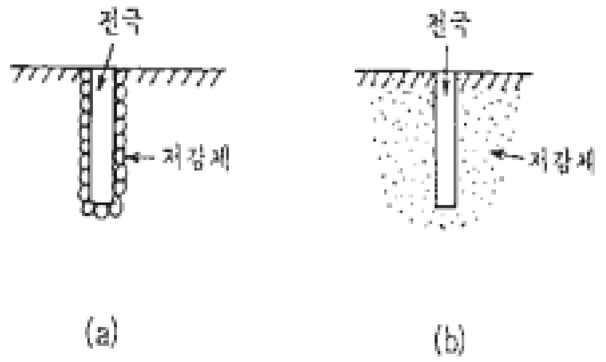


그림 2.29 저감제 처리방법

유사접지도체란 그림 2.29(a)와 같이 전극의 겉보기 반지름을 더한 상태를 말하며, 토양에 소름물을 주입한다는 것은 대지저항률을 작게 한다는 것을 뜻하고 있다.(그림 2.29(b)). 그런데, 소금물이나 목탄 등을 사용하는 방법에는 다음과 같은 결점이 있다. 즐 소금물을 주입하는 방법은 일시적인 효과는 크나 빗물이나 지하수 흐름 등에 의해 사라져 버려 연속적인 효과를 기대할 수 없고, 목탄을 채우는 방법은 전극재질이 구리일 때 침식작용을 일으켜 최악의 경우는 접지선의 잔선사고를 유발하기도 한다.

저감제의 개발은 토목공사에 사용하고 있는 토질안정처리제에 힌트를 얻어 이에 도전성 물질을 첨가제로 혼합하여 접지저항 저감제로 한 것인데 대지저항률을 화학적으로 작게 하는 저감제에는 비교적 고유저항이 작은 도전성 물질이 사용된다. 대표적인 물질로는 토양과의 접착력이 약할뿐더러 물에 녹기 쉽고 확산하여 지속성이 없다. 오늘날에는 이러한 결점을 보완하고 또한 물리적, 화학적으로 뛰어난 저감제가 개발되어 왔다.

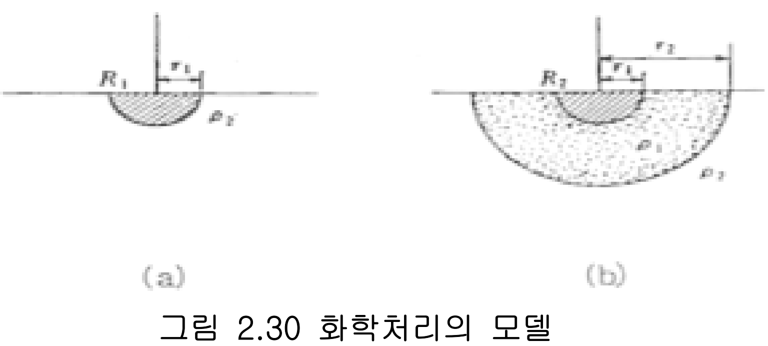


그림 2.30 화학처리의 모델

저감제 처리의 이론적 검토

토양에 화학적 처리를 하는 경우의 모델을 생각해 보자. 여기서는 저감제의 화학처리 모델로서 반구상 전극, 타원체상 전극을 사용하는 경우에 대해 설명하기로 한다.

(1) 처리모델 I

그림 2.30(b)와 같이 반지름 r_1의 반구상 전극이 저항률이 다른 2개의 축으로 싸여 있다고 하자. 여기서 각 층은 각각 그 속에 있어서 동질이고, 이들의 경계는 전극과 동심이며 이들의 경계는 전극과 동심의 반구로 한다. 또 경계의 반지름을 r_2, 안쪽층의 저항률을 ρ_1으로 하고 바깥층은 무한원점까지 이어져 그 저항률을 ρ_2로 하여 r_1까지를 접지전극, r_1에서 r_2까지를 화학처리를 한 부분이라 가정한다.
그림 2.30(a)에서 전극의 접지저항 R_1은 전극표면 r_1에서 무한원점까지의 합성저항이므로 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$R_1 = \oint_{r_1}^{\infty} \frac{\rho_2}{2\pi x^2} dx = \frac{\rho_2}{2\pi r_1}$$

그림(b)의 전극의 접지저항 R_1 은 전극표면 r_1 에서 r_2 까지의 저항과 r_2 에서 무한원점까지의 저항을 직렬이라고 볼 수 있으므로 다음 식으로 표현된다.

$$\begin{aligned} R_2 &= \int_{r_1}^{r_2} \frac{\rho_1}{2\pi x^2} dx + \int_{r_2}^{\infty} \frac{\rho_2}{2\pi x^2} dx \\ &= \frac{\rho_1}{2\pi}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) + \frac{\rho_2}{2\pi r_2} \\ &= \frac{\rho_1 \cdot r_2 + (\rho_2 - \rho_1) r_1}{2\pi r_1 \ r_2} \end{aligned}$$

즉, 가정모델에 있어서 R_1 은 화학처리를 하지 않은 경우에 해당하고, R_2 는 ρ_1 의 도전성 물질로 화학 처리한 경우에 해당한다.
R_1 과 R_2 의 비를 보면,

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{r_1}{r_2} + \frac{\rho_1}{\rho_2}\left(1 - \frac{r_1}{r_2}\right)$$

식에서 $\rho_1 < \rho_2$ 이면,

$$\frac{R_2}{R_1} \simeq \frac{r_1}{r_2}$$

$$R_2 = \frac{r_1}{r_2} R_1 = \frac{\rho_2}{2\pi r_2}$$

가 된다.

이와 같은 전극 근처의 저항률 ρ_1 을 주위의 대지저항률 ρ_2 에 비해 아주 낮게 해주는 것이 접지저항을 감소시키는 하나의 방법임을 알 수 있다.

즉, 위 식이 뜻하고 있는 것은 전극이 r_1 에서 r_2 까지 확장한 것에 해당하여 이를 유사접지체에 의한 접지저항이라 할 수 있다.

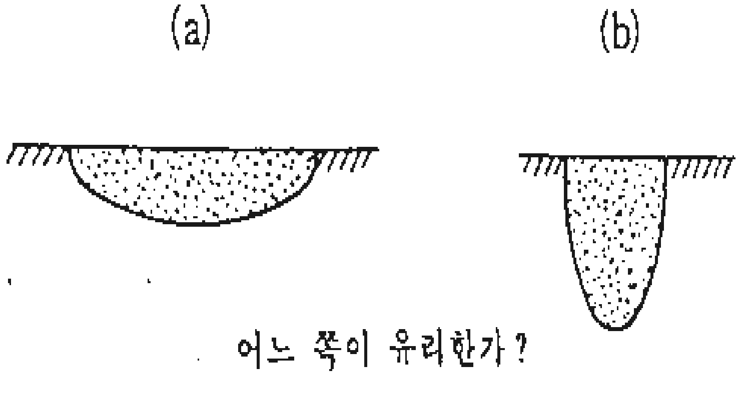


그림 2.31 저감제 시공법

(2)처리모델 II

저감제의 시공법에는 여러 가지 방법을 생각할 수 있으나 여기서는 회전타원체를 이용하여 가장 유효한 시공형상을 보기로 하자. 그림 2-18 (a), (b)

의 모양 중 어느 쪽이 유리한지를 이론적으로 검토하여 보는 것이다.

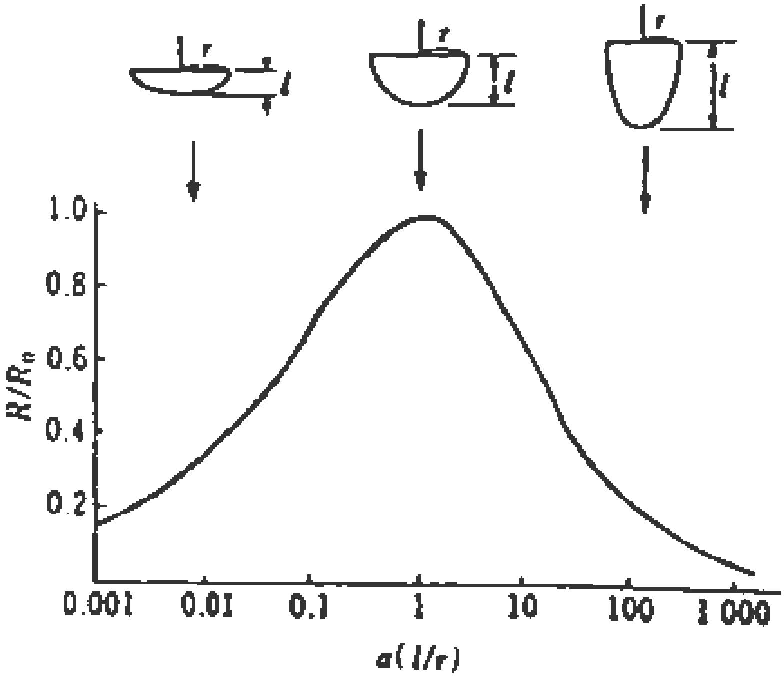


그림 2.32 전극모양과 접지저항

회전타원체 전극계의 접지저항 계산식은 앞에서 소개한 바 있으나 그 식의 전극반지름 r, 길이l 의 제원은 전극의 체적($V=4\pi r^2 l/3$)이 일정하다는 조건에서 여러 가지 경우의 r과 l을 결정하도록 했다. 예를 들어 반구상 전극을 기준으로 하여 그 반지름을 1[m]라 하면, 체적은 $4\pi/3[m]^3$가 되고 이것과 같은 체적의 편평상(扁平狀) 전극은(r=5, l=0.04[m]), 편장상(編長狀)전극은(r=0.5, l=4[m])가 된다.

이들의 r과l을 접지저항 계산식에 대입해서 반구상 전극과 비교해 보면 그림 2.32와 같이된다.

이 그림에서 수평축은(l/r)이고,$\alpha=1$이 반구, $\alpha<1$이 편평, $\alpha>1$이 편장의 저극을 나타내며 수직축은 R/R_0이며 반구상 전극의 접지저항과 회전타원체 계의 접지저항 R과의 비를 나타내고 있다.

이 그림 2.32에 의하면 같은 체적, 즉 감소제의 사용량이 같은 경우 접지저항은 반구상이 가장 크고 편평, 편장으로 됨에 따라 작아지는데 편평과 편장을 비교하면 편장쪼이 작다. 즉, 저감제의 시공모양은 편평보다 편장형으로

하는 쪽이 유리하다고 할 수 있으며 그림 2.31의 답은(b)이다.
이상과 같이 두 개의 모델을 검토한 결과 여기서는 저감제가 있는 타입을 가정한 것으로서 저감제가 토양중에서 게르화(고체와 액체의 중간상태)로서 어느 정도의 모양을 갖고 있는 것으로 보고 있다.

3. 저감제가 구비해야 할 조건

저감제를 사용할 때는 다음 항목을 만족해야 할 필요가 있다. 즉,

① 안전할 것
②전기적으로 양도체일 것
③지속성이 있을 것
④전극을 부식시키지 않을 것
⑤작업성이 좋을 것

등인데, ①은 공해에 대하여 ②, ③은 감소효과에 대하여 ④, ⑤는 관리, 경제효과에 대해 각각 고려해야 할 문제를 내포하고 있다. 다음은 이들 항목에 대해 기술 하기로 한다.

(1) 안전성

접지저항은 화학적 처리를 한 것이기 때문에 사람과 가축, 식물에 대한 안전성이 염려되는데 토양을 오염시켜 생명체에 유해한 것을 사용해서는 안된다. 원래 토양의 오염원인이 되는 물질에는 카드뮴이나 동으로 대표되는 바와 같이 그 물질이 토양에 함유된 경우에 확산, 분해되지 않고 장기간 잔류해서 영향을 미치는 것이 있다. 오염원인 물질에는 아연 등의 중금속류, PCB(폴리염화비닐) 등의 유기화합물이 있고 이 밖에 질소 및 그 화합물, 황산염 등도 토양 속에 다량으로 유입했을 경우에는 토양오염의 원인이 된다. 또 황산소다와 같은 무기화합물은 중금속류와 비교해서 토양 속에서 축적성은 적으나 다량인 경우가 위험하다.
그런데 여기서 저감제의 뿌리가 볼 수 있는 토질안정처리제에 대해 약간 언급하면 안정처리법은 다음과 같이 분류된다.

① 폴트랜드 시멘트에 의한 방법

②석회 혹은 석회·플라이아슈에 의한 방법
③역청재에 의한 방법
④화학적 재료에 의한 방법

처리제에 쓰이는 첨가제의 효과는 크게 나누어 흙의 접착효과(흙입자간의 접착제로서 사용한다)와 흙의 함수량조절효과(흙입자에 작용하는 것으로 보수와 방수제가 있다)가 있는데 이 첨가제에는 여러 가지가 있으나, 주된 성분으로 무기질에는 폴트랜드 시멘트, 소석회, 규산(소다) 황산, 알루미늄, 탄산소다, 황산소다, 염화나트륨, 황산마그네슘, 황산동, 염화마그네슘, 염화칼슘, 황산암모늄, 초산나트륨, 황산칼륨 등이 있다.
이들은 실험실에서 무해한 것일지라도 토양 속에서 다른 물질과 반응하여 유해한 물질로 될 수 이으므로 가급적이면 유기물질은 쓰지 않는 것이 바람직하다.

(2) 도전성

저감제는 주위의 토양에 비해 저항률이 작다. 즉 도전도가 좋아야 한다. 접지저항 저감제로서 필요한 첫째 성분은 물을 다량으로 함유하고 또 이것을 쉽사리 빠지게 하지 않는 성분을 말한다. 이하 이러한 재료를 체류제라 부른다. 이 체류제로서 실제 쓰이고 있는 것에는 적토 및 벤트나이트(팽윤성이 풍부한 점토의 일종)가 있다.

이들 재료가 물을 함유했을 때의 저항률은 대략 10[Ω·m]정도로 쉬위 고저항률 지대(10^3[Ω·m]이상) 저항률의 1/100정도이다(표 2.9참조). 따라서 이들 주가지 재료는 이것만으로도 나름대로의 감소효과를 얻을 수 있는데 이것에 전해액을 혼합하면 더욱 효과적이다. 저감제로서 필요한 도전도는 금속과 같을 필요는 없고 높은 것이 좋다.

표 2.9 각종 물질의 저항률 정도표

물　질	저항률의 정도
고저항률 지대	10^3이상
수분을 함유한 점토	10^1
저감제	10^{-1}
전해액	10^{-2}
동	10^{-8}

물론 강전해질이라 해도 그 전기전도가 분자(이온)전도이기 때문에 자유전자에 의해 전기가 전도되는 금속에 비하면 그 저항률은 훨씬 높아 표 2.9와 같이 동이 10^{-3}[Ω·m] 정도의 저항률인데 비해 가장 좋은 전해액이라도 그 저항률은 10^{-2}[Ω·m]정도이다. 그러나 이것이 합성수지를 이용한 체류제와 같이 사용하면 저항률이 올라가 10^{-1}[Ω·m] 정도이다. 그러나 고저항률 지대의 저항률에 비하면 만분의 1이므로 접지저항 저감제로서의 효과는 충분히 기대할 수 있다.

(3) 지속성

접지전극에 저감제 처리를 한 경우 그 직후는 접지저항이 크게 감소하여 처리전보다 수십[%] 낮은 접지저항이 지속된다. 이것은 저감제가 완벽하게 효과를 나타내는 경우이다. 그러나 실제로는 저감제가 토양속에서 그성분이 흩어지거나 해서 효과가 감소되는 경우도 있다. 여기서는 어떤 겔모양의 저감제를 써서 감소효과가 지속되는 경우를 조사한 자료를 소개하고자 한다.

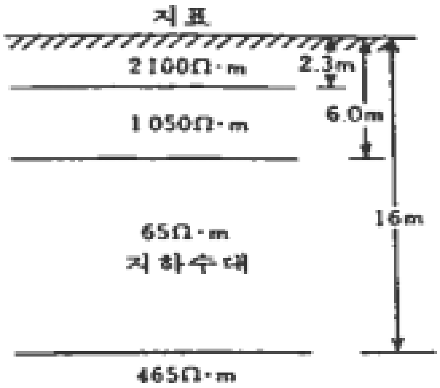


그림 2.33 실험지점의 대지구조

실험지점의 대지구조는 그림 2.33처럼 지표 아래6[m] 정도에 대지저항률이 극단적으로 작은 곳에 있어서 이 지점에 막대모양 전극(길이5.3[m], 선모양 전극(길이 10[m], 매설깊이 0.75[m])을 포설해서 각기 저감제 처리를 하여 접지저항의 경년변화를 살펴보았는데(그림2.21 막대모양의 전극의 경우) 그림에서 전극 A는 100[%], B는 20[%]의 저항비를 나타내고 있다.

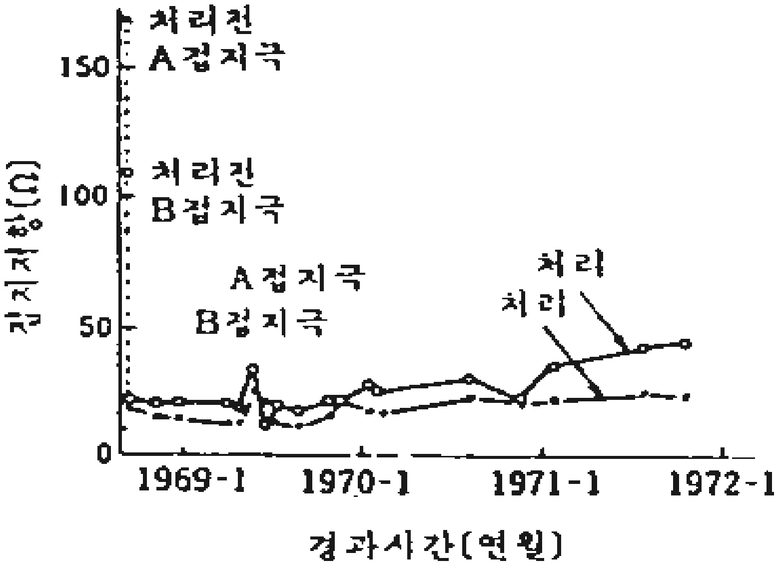


그림 2.34 막대모양 전극의 경년변화

이것은 처리효과가 나타난 것으로 처리후의 경년변화를 보면 약간 상하의 변화가 있고 점차 증가하는 경향은 볼 수 있으나 처리전의 접지저항에 비하면 역시 낮다.

매설지선의 경우는 그림 2.35와 같다. 이 그림은 1년간의 계절변동도 함께 고려되고 있는데 처리전과 처리직후의 저항비는 19[%]이다.

이 그림에서 A는 저감제 처리를 하지 않은 경우의 접지저항, B는 처리가 된 경우이다. 처리하지 않은 경우 계절의 영향을 직접적으로 받고 있는 것이 뚜렷한 반면에 저감제로 처리한 전극은 1년을 통해서 거의 일정한데 그림 2.34과 그림 2.35를 보면 처리하지 않은 경우 어느 것이나 뚜렷하게 겨울에는 저항이 높고 여름에는 낮다. 이것은 토양의 수분함유율이 겨울에는 낮고 여름에는 높다는 것을 나타내고 있다.

이것에 대해 화학처리를 한 접지극은 접지저항이 계절변동의 영향을 거의 받지 않는다는 것을 알 수 있다.

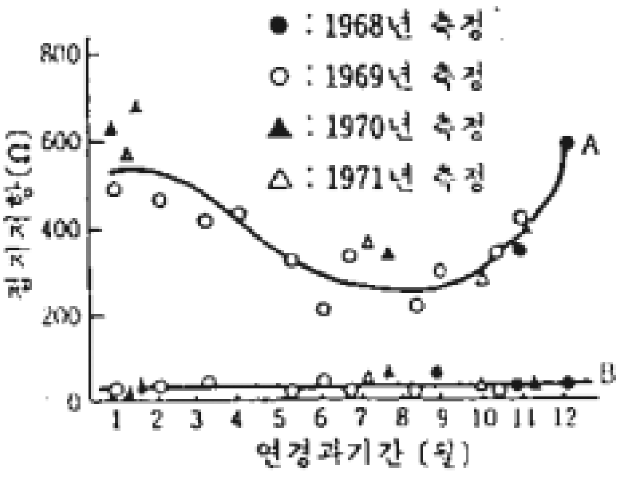


그림 2.35 매설지선의 경년변화

(4)부식성

접지전극 주변에 저감제를 처리한 경우는 그림 2.36과 같다. 접지전극이 저감제로 처리된 경우의 부식은 일반적인 토양속에서의 부식과는 다음과 같이 그 양상이 다르다.

① 보통의 토양은 그 물리적, 화학적 성질이 장소에 따라 현저하게 다르나 저감제인 경우 비교적 균질하게 유지되어 이것은 부식을 억제하는 효과를 갖는다.

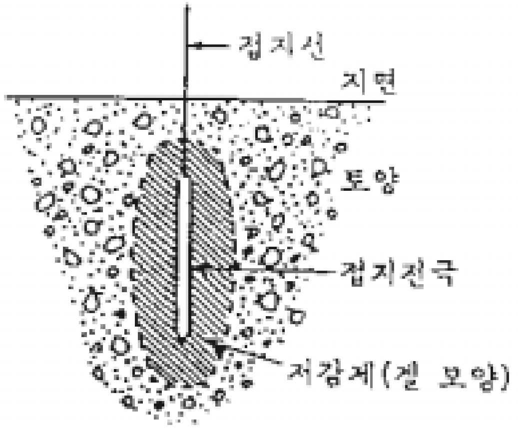


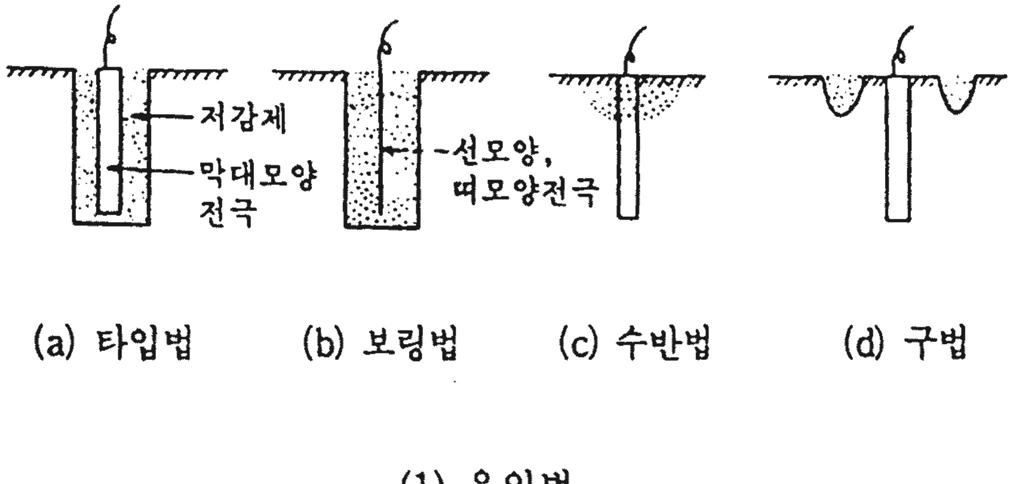
그림 2.36 저감제 처리상황

② 보통의 토양은 통기성이 있어 공기중의 산소가 전극 표면에 닿아 부식을

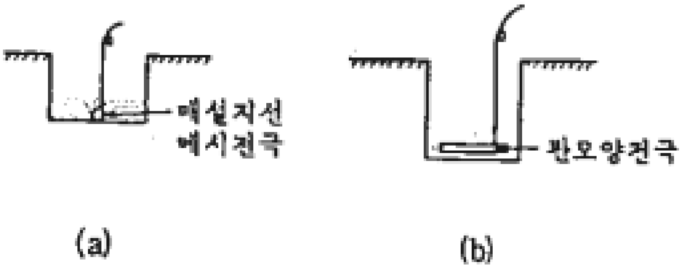
촉진하는데 저감제 처리를 한 경우나 겔의 존재로 통기성이 나쁘기 때문에 부식의 진행이 억제되는 효과가 있다.
③ 저감제 겔 속에 함유되어 있는 성분에 의해 복극작용 및 부동태피막의 파괴가 일어나 부식이 촉진된다.
이상과 같이 저감제 겔의 존재는 접지전극의 부식을 촉진하는 효과 억제하는 효과의 양쪽을 가지고 있다.

4. 저감제 시공방법

저감제의 성상에 따라 저감처리의 효과를 유사접지체로서 또는 대지저항률의 감소를 위해 사용방법이 결정된다. 어떻든 저감제는 접지전극 부근에 시공하게 되는데 시공에 있어서 저감제의 시공향상은 편평보다 편장쪽이 유리하다. 물론 이것은 막대모양 접지전극을 위한 저감제를 유사접지체로서 이용하는 경우이다.
시공방법으로서 생각할 수 있는 것은 대별해서 유입법과 체류조법이 있으며 그림 2.37와 같다.
그림 2.37에서 유입법의 (a)는 막대모양 전극에 대한 것으로 타입할 구멍에 저감제를 유입하는 방법인데 토질에 따라서는 보링하는 경우도 있으나 이때에도 전극의 틈새에 저감제를 주입한다. (b)는 막대모양 전극 대신에 선모양, 띠모양 전극을 포설하는 경우로 보링공법으로 구멍을 뚫어 전극을 설치한 후 그 속에 저감제를 유입시킨다. (c)는 전극 주위에 고리모양으로 홈을 파서 그 속에 저감제를 유입시키는 방법이 있는데 이것을 구법이라 한다.



(1) 유입법



(2) 체류조법

그림 2.37 시공방법

한편 체류조법(a)는 접지전극의 주위에 저감제를 넣어 되메우기를 하는데 구덩이의 바닥면, 벽면은 밀도가 큰 진흙 등으로 어느 정도의 수방을 하여 물의 침입을 막는 동시에 저감제가 흩어지는 것을 막는 역할도 갖게 한다. 또, (b)는 그물 모양 전극의 경우이다. 이상시공방법에 대하여 기술하였으나 그 방법에는 저감제 종류나 전극의 종류, 그리고 공사지점의 토질에 따라 다양하고 또 작업성이나 효과의 측면도 고려하여야 하므로 한마디로 어느 것이 좋다고 말할 수는 없다.