

# 대지 저항률과 접지저항

글/井上一男(일본 중앙방위 기술부장)

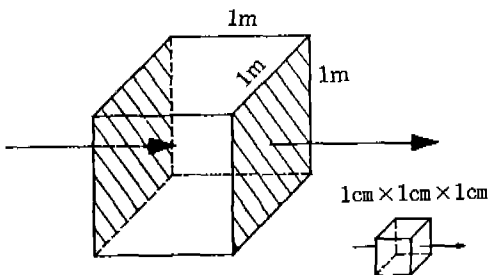
역/김대홍(해광방위 대표이사)

## 1. 대지 저항률이라 함은

대지 저항률(이하  $\rho$ 라고 약기한다)이라 함은 한마디로 말하자면 대지-토양의 일정 체적의 전기저항이며, 다른 명칭으로 대지 고유저항이라고도 한다(또한 물리학회 이외에는 대지 비저항을 사용하고 있지만 동일한 것이다). 일본의 문부성 「학술용어집·전기공학편」에서는 위의 두가지가 기록되어 있다, 단위는 「 $\Omega \cdot m$ 」 또는 「 $\Omega \cdot cm$ 」이다.

단일한 종류의 토양일 때 「고유저항」, 발·변전소 용지 등 넓은 부지의 복수종의 토양을 대상으로 하는 경우는 「저항률」을 사용하는 개념이 파악하기 쉬울지도 모르겠다. 물론 어느 쪽을 쓰더라도 지장은 없다.

최근에는 SI-MKS 단위계가 널리 사용되고 있기 때문에 본고에서도 「 $\Omega \cdot m$ 」를 사용한다. 「 $\Omega \cdot cm$ 」과의 관계는 그림 1처럼 「 $\Omega \cdot m$ 」은 단면이  $100 \times 100$  배(저항은 1만분의 1), 길이가 100배(저항도 100 배)가 되기 때문에  $100/10000$ 이 되고 「 $1 \Omega \cdot m$ 」은 「 $100 \Omega \cdot cm$ 」에 해당한다.



<그림 1> 「 $\Omega \cdot m$ 」와 「 $\Omega \cdot cm$ 」

## 2. 접지 전극 형상과 대지 저항률

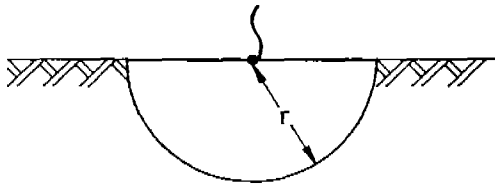
접지 전극에 대해서는 일본에서 전기설비의 건설이 시작되었을 때부터 견해에 따라서는 그다지 진보하지 않았다고 말할 수 있다. 즉 발·변전소에 있어서 망상(망 모양) 접지극 mesh 접지극·매설지선·전기 사용 장소에 있어서 동판 매설 등은 현재도 변함없이 사용되고 있기 때문이다.

그 이유는 이들이 다른 방법으로는 대응할 수 없는 뛰어난 장점을 가지고 있기 때문이라고도 말할 수 있다. 그렇지만 진보가 없다고 하는 것이 아니라 예를 들어 「연결식 타입봉 접지극」, 「boring 접지극」, 「구조체 구체접지(構造體 軀體接地)」, 「전기저항 저감제」 등 저항저감을 위한 기술 개발에 대해서는 관계자의 노력이 부지런히 기울여지고 있다.

여담이지만 필자는 약 20년 전 「boring 접지 공법」의 시험개발에 몸을 담았던 사람이지만, 그때는 「이것으로 이젠 접지의 문제는 해결이다!」라고 마음속으로 안심했던 것이다.

그러나 이것이 아무리 지레 짐작이었다지만, 예를 들어 현재 초고압변전소 등에 있어서 소수점 이하의 접지 저항률이 요구될 경우 등, boring 접지극을 몇 십개소 시공하여도 곤란하여 다시금 새로운 접지공법 기술이 기다려지고 있는 상황이다. 이 원인은 용지의 축소화라는 점도 있지만 이것은 어쩔수 없는 것이고 원인의 대부분은 「대지 저항률」에 귀결된 것이다.

접지저항은 땅속에 매설한 접지 전극의 형상에서 복잡한 전기 이론과 숫자를 이용하여 계산할 수 있



<그림 2> 반구 전극

다. 단지 어떤 형상이라고 할 것도 없이, 반구상 전극·환평판·사각평판·수직환봉타입 전극 등 소위 정형·대상형 등 형태가 갖추어져 계산하기 쉬운 형이다.

그럼에도 불구하고 완전한 이론을 세울 수 있는 것은 반구상 전극 정도이고, 그외는 근사식이다. 결국, 비슷한 방법에 따라 전극이더라도 다소 다른 식이 되는 것이다.

아래에 2~3개의 예를 든다.

(1) 반구 전극의 경우(그림 2)

$$R = \frac{\rho}{2\pi\gamma} \dots\dots\dots(1)$$

여기서  $\rho$  : 대지 저항률( $\Omega \cdot m$ )

$\gamma$  : 반구의 반경(m)

R : 접지저항( $\Omega$ )

(2) 수직환봉전극(그림 3)

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \log_e \frac{2L}{a} \right) \dots\dots\dots(2)$$

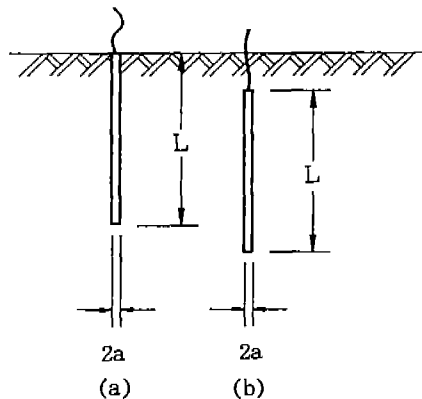
여기서 L : 봉의 길이(m)

a : 봉의 단면 반경(m)

$\rho$  : R은 (1)식과 같음

(3) 정방형 평판 전극·수평 매설(그림 4)

$$R = \rho \cdot \frac{\sqrt{\pi}}{8a} \dots\dots\dots(3)$$



<그림 3> 수직환봉전극(계산식은 (a)의 경우)

여기서 a : 정방형 한변의 길이(m)  
 $\rho$ , R은 (1)식과 같음  
 덧붙여, 이 식의 경우 매설 깊이는 충분히 깊게 매설하는 경우라고 되어 있다.

(4) 구조체의 지하 부분(그림 5)

그림 5에 있어서 지하 부분의 총표면적 A(m<sup>2</sup>)는,

$$A = 2(a \cdot c + b \cdot c) + a \cdot b \text{ (m}^2\text{)}$$

이것을 같은 표면적을 가지는 반구로 환산한다. 반구의 반경을  $\gamma$ (m)이라 한다면,  $2\pi\gamma^2 = A$ 이기 때문에  $\frac{\sqrt{A}}{\sqrt{2\pi}}$  이것을 (1)식에 대입한다.

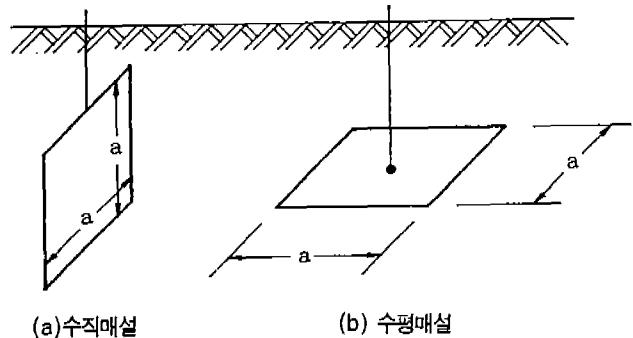
그 외에 다른 방법도 많지만 여기에서는 생략한다. 어쨌든 어느 쪽의 식에도 최초로  $\rho$ 가 실린 것을 강조하고 싶었을 뿐이다.

3. 대지 저항률과 토양

우리들이 알고자 하는 대지 저항률의 대상은 말할 필요도 없이 그 대부분이 토양이다(혹은 암석). 그러면 그 토양이라는 것은 무엇인가. 어디에서 비롯된 것인가, 이것은 하나의 학문 체계가 되며 간단히 설명할 수 없는 것이라 생각한다.

그러나 실제로 어떤 용지(用地)에 서서, 그곳에 접지 공사를 시공하려 한다면, 그 토양에 대한 대강의 개념은 필요하다고 생각한다.

먼저 토양의 생성, 이것은 주지하고 있는 것처럼 암석이 상상할 수 없을 정도의 아주 오랜 기간 동안 물리적, 기계적(습도 변화에 의한 팽창·수축·동결, 식물 뿌리의 침입 등)에 파괴되고, 세립화, 입상화(물리적 풍화라고 한다)되고, 게다가 물을 매개(용



<그림 4> 정방형 평판전극(계산식은 수평매설)

해와 침전)로 하여 점토화(화학적 풍화라고 한다)된 것이다. 물론 그 과정이 진행중인 것도 다수 존재한다.

따라서 그 토양의 본 모습인 암석의 구분에도 여러가지 분류 방법이 있어, 처음 배우는 사람에게는 이해하기 어려울 듯하다. 이곳에서는 「토목 공학 핸드북(handbook)」을 기준으로 하여 작성하였다. 암석은 「퇴적암」과 「화성암」, 「변성암」으로 나뉘어진다. 변성암은 퇴적암·화성암, 마그마 등의 높은 압력과 습도를 받아 새로이 변성된 것이기 때문에 여기에서는 생략하고 처음의 두 종류에 대해서 설명하겠다.

단지 퇴적암도 지구 탄생까지 거슬러 올라 가자면, 지구가 말랑말랑한 용암 상태에서 서서히 굳어졌다고 하는 설도 있는데, 그때는 지구 표면이 화성암으로 덮여 있었음이 확실하다. 그것이 퇴적암으로 구별된 것은 왜일까?

여기에서 암석의 시대적인 추이의 이미지를 파악하기 위해 지질시대를 복습해 보고 싶다. 단 상세한 부분은 제외하고 대강 정리하면, 그림 6과 같다.

시생대·원생대에 생겨난 화성암은 몇억년 동안에 풍화, 퇴적되고 변질·변성되어, 제3기, 제4기가 되어서는 마그마의 분출(화산 활동) 등에 의해 생성된 화성암과는 모양도 성질도 크게 변화해 온 것이라는 것은 납득할 수 있는 일일 것이다. 따라서 위와 같이 분류되는 것은 아닐까라고 생각할 수 있겠다.

또, 이외에 퇴적암에 속하는 것으로서 해저와 지표에 분포, 변성했던 무기물, 바닷속의 규소의 잔해, 동식물의 유해가 지층사이에 묻혀 퇴적·고결한 종류

<표 1> 퇴적암을 원류로 하는 토양

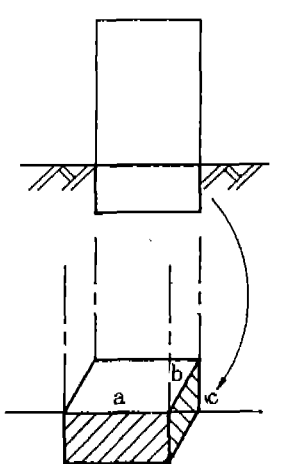
명 칭		입자반경(mm)	암 석
역질	거역(Boulder Gravel)	256 이상	역암 (Conglomerate)
	대역(Cobble Gravel)	256~64	
	중역(Pebble Gravel)	64~4	각역암 (Breccia)
	세역(Granule)	4~2	
사질	극조립사(Very Coarse Sand)	2~1	사암 (Sand Stone)
	조립사(Coarse Sand)	1~0.5	
	중립사(Medium Sand)	0.5~0.25	
	세립사(Fine Sand)	0.25~1/8	
	극세립사(Very Fine Sand)	1/8~1/16	
이질	실트(Silt)	1/16~1/256	이암 (Mudstone)
	점토(Clay)	1/256 이하	

- 주) 1. 그 외에 암석의 형태로 공암(Shale), 점판암(Slate)가 있다.  
 2. 이외는 화학적 침적암으로써, 석회암(Limestone)(탄산염질), 차트(Chert)(규질) 등이 있다.  
 3. 또 이 표의 입자 지름은 토질 공학에서 말하는 (JIS A1204)의 입자 지름 구분과는 다르다.

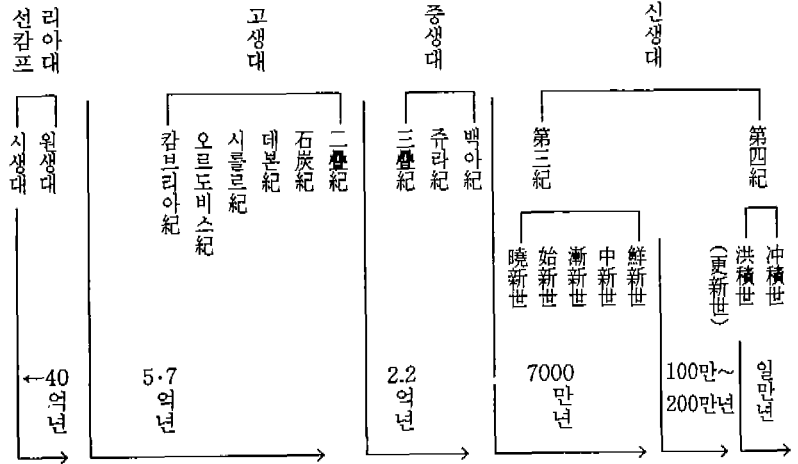
의 암석도 있다.

퇴적암은 풍화한 토양으로써 우리가 접지 공사에서 대면하는 형태로는 조약돌과 모래이므로 이와 관련하여 분류의 예를 표 1에 발췌해 둔다.

다음 화성암이지만 이것은 위에서 말한 것과 같이 비교적 새로운 제3기, 제4기의 것이다. 화산으로 부터의 분출물은 파편 상태의 것이고, 화산진 상태의



<그림 5> 구조체의 지하부분



<그림 6>

<표 2> 화산 쇄설물과 화산 쇄설암

구분	입자가 특정한 외형을 갖지 않는다	입자의 직경	(일괄하여) 입자가 다공질인 것
화산 쇄설물	화산암괴	>64mm	경석
	화산력	64~2mm	
	화산탄	<2mm	스코리아(화산암)
화산 쇄설암	화산각력암	>64mm	경석의탄암
	의암각력암		
	라피리스톤	64~2mm	스코리아의탄암
	화산력의탄암		
	의탄암	<2mm	

<표 3> 특수토의 토질적 성질

토질명	층적점토	시라스	관동 로모	마사토
성인	해성점토	화산분출물	화산탄	풍화토
토립자비중	2.6~2.8	2.3~2.5	2.5~2.8	2.5~2.7
함수비(%)	30~80	10~50	70~150	50 이하
습윤밀도 (g/cm³)	1.5~1.7	1.1~1.5	1.2~1.6	2.6 이하
간극비	0.8~3.0	1.0~1.7	2.0~4.0	-

것은 화산 쇄설물이라 부르며 각각의 고결된 암석이 화산 쇄설암 또는 화쇄암이라 불린다. 핸드북에 따라 발췌한다면 표 2와 같이 된다. 이 화산 쇄설물 가운데 비교적 새로운 시대(주로 제4기)의 것은, 토목 공학상의 특성으로 거의가 다공질, 미고결의 특수한 성질을 갖고 있어 특수토라는 이름으로 불리며, 그 전형적인 것이 시라와 로모이다.

특수토라 함은 일반적으로(토목 공학에서는) '토질 기초 공학의 교과서 등에 쓰여있는 보통의 흙과는 그 성질에서 여러 의미로 다른 것이며, 또 현장에서 자주 마주쳐 취급이 문제가 되는 흙'(토목공학적으로, 확실히 하기 위함)이라 정의되어 있다. 핸드북에 나타나 있는 특수토의 특질적 성질의 일부를 발췌하자면 표 3과 같다. 비중과 함수비 등 나중에 기록할 대지 저항률의 수치와 비교하면 흥미가 있을 것이다.

자주 대면하는 것으로 이 두가지에 대해 조금더 언급해 두자면, 시라스에 대해서 「남큐스지방에 넓게 분포하는 경석질의 화산 분출물 및 그것에 유래하는 2차 퇴적암의 총칭」 시라스와 유사한 상태와 성질을 나타내는 화산재는 그 밖에 샛포르 주변(支勿, 칼데라)과 十和田 호 주변(十和田 칼데라) 등 칼

<표 4> 토질명(일본 통일 분류)

분류법	토질명					
조립	역(礫)	역				
		조력				
		중력				
		세력				
	사	사력				
		실트점토	혼합	역 조력 중력 세력 사력		
		점토				
		유기질토				
		화산탄				
		역질토	실트점토		질	역 조력 중력 세력 사력
유기질토						
토사	사	자갈 섞인 모래				
		사				
		조사				
		세사				
	사	실트점토	혼합	사 조사 세사		
		유기질토				
		화산탄				
		사질토	실트점토		질	사 조사 세사
			유기			
		세립토	실트		사력 실트	
실트						
점토질 실트						
점성토	사질 점토					
	실트 점성토					
	점토					
유기질토	유기질 실트					
	유기질 실트 점토					
	유기질 사력 점토					
	유기질 점토					
화산탄질점성토	흑색을 많이 띠는 관동로모(흑색) 등					
	탄토					
고유기질토	관동로모 등각지의 로모					
	이탄동					
	흑이암					

데라호 주변에 넓게 분포하고 있지만, 특별히 시라스라고는 불리워지지 않는다는 것이다. 「로모」에 대

<표 5> 대지 저항률 기준치, 그외 1

지 질	저 항 륭( $\Omega \cdot m$ )
점 토	5 ~ 51
사	0.5~ 1,000
공 암	0.8~ 12
이 암	8 ~ 16
사 암	0.8~ 1,000
역 암	10 ~ 1,300
석 탄 암	5 ~ 1,500
현 무 암	800 ~100,000
회 륭 암	800 ~100,000
화 강 암	800 ~100,000
편 마 암	800 ~100,000
SLATE	60 ~ 1,000

주) 지질 조사소 월보(도산저의 조사 데이터) (일본의 대지 도전율에 의해)

해서는 「본래 로브라 함은 모래와 점토, 실트가 거의 같은 양씩 포함되어 있는 흙의 토양학적 명칭이지만, 관동 로브가 화산재의 기원이라 판명된 후에도 특히 입도조성에 구애되지 않고, 관습적으로 관동 부근에 분포하는 화산재 점성토를 관동 로브라고 부른다. 강하 화산재를 주로하는 강하경석 스크리아(화산암재라고도 하는 다공질의 검정색기가 많은 cokes 상태의 것), 수중 퇴적한 화산재 등 이외에 화쇄류 퇴적물을 포함하는 것이 있다. 공급화산으로서 남관동에서는 부사·상근, 북관동에서는 천간·진명·적성·남체·여봉·적치 등을 들 수 있다」라고 설명되어 있다. 일본 토질공학회에서는 이상과 같은 종류의 토양을 분류하여 「일본 통일 토질분류」를 발표하고 있다. 표 4에 나타낸다.

그럼 본래의 주제로 돌아와 이들 토양의 대지 저항률은 어떠한 값을 갖고 있는가? 표 4와 같은 토질의 분류마다 값이 세분되어 있는 것이냐 하면 유감스럽게도 우리가 바라는 형으로 발표된 것은 극히 적다. 예를들면, 여러 문헌에 여러 선생님들께서 고민하여 측정한 기록이 남아 있지만, 주변에 있는 자료에 발췌해 보면, 표 5, 6 및 그림 7과 같다. 표 5는 주로 암석에 대해 조사한 것이지만 같은 명칭의 암석이더라도 커다란 차이가 있다는 것을 알 수 있다.

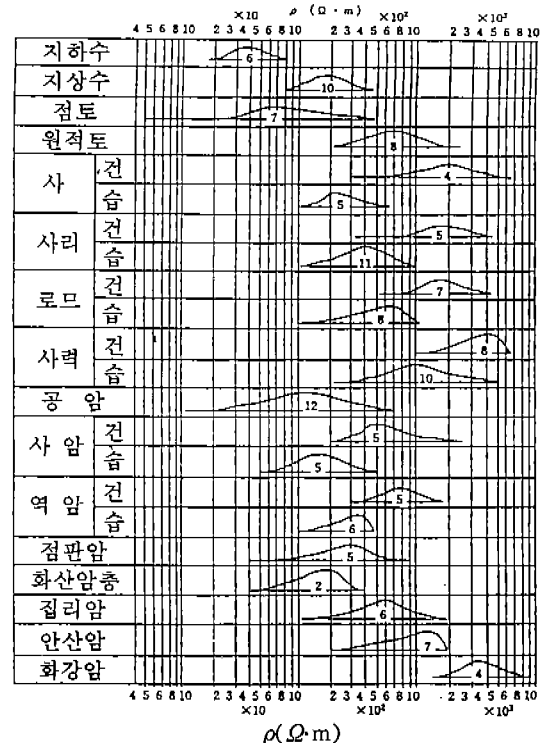
그럼 7은 조금 낡은 자료이지만, 측정 개소 수별로 빈도가 나타나 있어 중요한 것이다. 그림 7을 보면 가장 높은 것은 화강암의 약 9만( $\Omega \cdot m$ )이지만, 이것은 측정 실적이 있고 또, 높은 값이 우연히 나오

<표 6> 대지 저항률 기준치, 그외 2

지 질	저 항 륭( $\Omega \cdot m$ )
수 전 습 지 (점 토 질)	~ 150
전 지 (점 토 질)	10~ 200
수전·전(표토하·사리층)	100~1,000
산 지	200~2,000
산 지 (암 반 지 대)	2,000~5,000
하암·하상적(사리, 옥석적)	1,000~5,000

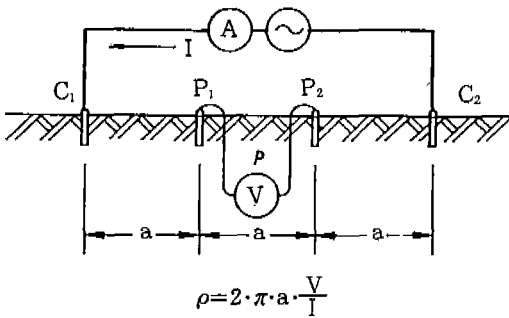
주) 전기 공학·핸드북 1988년판, 26편 7장

는 일도 드물지는 않다. 또 그림 7은 건과 습으로 나누고 있지만, 그 차가 큰 것에 놀라게 된다. 이것은 다음에 기록한 「계절 변동」에 의한 것만은 아니지만, 토양속의 수분이 대지 저항률에 크게 영향을 미치는 것도 접지 설계에 있어서 설계자를 괴롭히는 요인이다. 어차피 문헌에 발표되어 있는 차이를 갖는 대지 저항률의 값으로는 각각의 장소에 대한 접지 설계에 그대로 적용한다는 것은 불가능하며, 우리가 바라는 것은 그 장소에 대한 대지 저항률이다. 이 대지 저항률은 어떻게 하면 알 수 있는 것인가? 이것에 대해서는 다음 기회에 상세하게 해설하겠다.

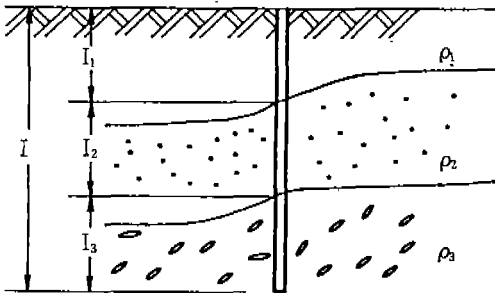


주) 숫자는 측정수(산구발지조 : 전기식 지하 탐사법·토목 지질 현장에 관한 대지 비저항)

<그림 7> 대지 저항률 기준치, 그외 3



<그림 8> 대지 저항률 측정법 원리도



<그림 9> 다음 지질에 박아 넣은 접지봉

대지 저항률의 조사 측정의 요점은 그림 8과 같은 네개의 소전극을 직선상에 같은 간격으로 박아 넣고, 바깥쪽의 두극을 전류극으로 하여 대지에 전류를 흘려 가운데 두극간의 전위차를 재는 것에 따라 측정 간격의 중심 지하 a.m까지의 등가 대지 저항률이 측정된다는 것이다(Wenner의 4전극법이라 한다). a를 변화시키는 것에 따라 땅속의 지층별 ρ가 분석되어지도록 되어있다.

다음으로 근래 활발하게 실시된 「구조체 구체 접지」라고 하는 접지 기법에 대해서, 여기에 대도시에 건설된 대형 빌딩의 구체접지저항을 측정한 자료를 소개한다. 접지저항을 알 수 있다면 2항과 같은 계산식에 따라 ρ값을 역으로 계산할 수 있으므로 계산하면, 표 7과 같다. 대략 자갈이 섞인 사·사질토·로트 등이지만, ρ값은 대체로 납득이 가는 값이라 생각되어 진다.

다음은 암석, 그것의 대지 저항률에 대해서는 혼합 토양의 암반 지대에 접지 공사를 시공하는 일이 있더라도, 암석 그것에 전극을 묻는 공사는 거의 없다고 생각된다(다만, boring 접지 공사에 있어서 굴착<천공> 도중에 암석이 있어, 이것을 도려내는

<표 7> 구조체(구체) 접지저항에 따른 역산 ρ

청사명	바닥면적 m <sup>2</sup> (연지하표면적)	구조	실측저항치 (Ω)	역산 ρ값(Ω)
외무성청사	4,663 (21,431)	철골, 철근 콘크리트	0.2	83.3
총리부청사	3,239(21,431)	철근 콘크리트	0.2	73.4
호텔-뉴오타니	9,470 (102,500)	철골, 철근 콘크리트	0.31	248.8
동경전기회관	480(1,767)	철근 콘크리트	0.6	63.2
자바 대학 공학부 전기공학과	576(2,354)	철근 콘크리트	1.04	126.5
오사카합동청사 제3호관	3,405(39,579)	철골, 철근 콘크리트	0.21	104.7
영빈관	5,260(15,355)	철골 연외적	0.35	108.7
동아부동산 신교빌딩	4,742(52,015)	철골, 철근 콘크리트	0.01	57.2

일이 간혹 있다). 전극이 돌 사이를 뚫고 땅속으로 들어간 경우, 암석 부분의 대지 저항률이 접지저항에 영향을 미치는 일은 극히 적으며, 토양과 심층부의 점토 부분에서 (전류가 우회한다) 저항값을 감소시키고 있는 것이라 생각할 수 있다.

#### 4. 등가 대지 저항률

접지저항치의 추정, 지표면 전위 분포 상황의 모의 실험 등을 행하고 싶을 때에는 수조 실험을 행한다면 토양을 모의하는 물에 대해서 실험중 몇번이라도 그 고유저항-저항률을 측정·기록한다. 현지에 있어서의 접지 공사도 토양이 단일 종류라면 설계도 용이하고 또한 정확한 예측을 할 수 있다. 그러나 실제의 현장에서는 그와 같은 일은 전혀 없다고 해도 과언이 아니다. 만약 토양이 단종이라면 측정거리의 변화에도 불구하고 일정치가 계속되지만, 상하로 변동하고 있는 것은 서로 다른 토질층이 겹쳐 쌓여 있기 때문이다. 이와 같은 경우, 예를 들어 긴 수직전극봉을 2~3층에 걸쳐 박아 넣는다고 하면, 그때 (1) 등식의 계산식인 ρ는 어떤 값이 되는가?

어쨌든 전극봉을 박아넣고 접지저항값을 측정하면 계산식에 의해 ρ값이 역으로 계산되는 것이 확실하며, 그 값은 ρ<sub>1</sub>, ρ<sub>2</sub>와는 다르다는 것도 상상이 간다.

이 값을 등가 대지 저항률이라고 부른다. 우리는 공사를 행하기 전에 이 등가 대지 저항률을 알고 싶다. 그러나 이것이 어려운 문제이다.

간략한 식으로써는 각층마다의 두께를 써서 (이것은 4전극법에 의한 측정치로부터 분석되어 얻어진 다) 평균치를 구하는 방법이 있다. 즉 그림 9에 있어서

$$\frac{1}{\rho_e} = \frac{l_1}{\rho_1} + \frac{l_2}{\rho_2} + \frac{l_3}{\rho_3} \dots\dots\dots (5)$$

여기서 1 : 전체의 붕의 길이(m)

$\rho_e$  : 두께의 평균 대지 저항률( $\Omega \cdot m$ )

$\rho_1 \rho_2 \rho_3$  : 두께의 평균 대지 저항률( $\Omega \cdot m$ )

$l_1 l_2 l_3$  :  $\rho_1 \rho_2 \rho_3$  부분의 각 두께(m)

(5)식에 의해  $\rho_e$ 를 계산하며 등가 대지 저항률이 라는 방법이다.

그러면 만약 이 경우  $\rho_3$ 의 아래에 또  $\rho_4$ 층이 있는 경우라면 어떻게 될까? (붕이  $\rho_4$ 에 들어가 있는 경우, 없는 경우), 영향을 받지 않는다고는 말할 수 없으며 결국 (5)식도 근사적인 것이다.

그렇다면, 어떻게 하면 좋을까?

현 시점에 있어서 다층  $\rho$ 를 일괄 처리하리 위해서는 대형 전자계산기를 써서 행하는 복잡한 방법이 있으나, 여기에서는 퍼스널 컴퓨터를 이용한 계산식을 소개한다. 2층의 계산이지만, 다층의 경우에도 기초가 되는 것이라 할 수 있다. 지층이 2층이 되는 경우는 당연히 경계선이 있다. 전류가 이 경계선을 넘을 때는 빛과 같은 반사가 생긴다. 이 반사의 상태를 반사율이라 하고 K는 다음과 같은 식이다.

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$$

또  $\rho_2/\rho_1 = \epsilon$ 라 놓으면, (6)식은,

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} = \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 1} \dots\dots\dots (6)$$

이 된다.

토질이 2층인 경우의 접지저항은 이 K를 이용하여 계산하는 것이다. 따라서 등가 대지 저항률은 역산으로 구하는 것이 된다.

#### 4.1 수직 타입 환봉의 경우

수직 타입 환봉의 경우는 그림 10과 같이  $\rho_1$  부분에만 박아 넣은 경우와  $\rho_1, \rho_2$ 에 걸쳐 있는 경우가 있는데 계산식은 각각 다음과 같다.

(1) 전극이 1층에만 있는 경우

$$R = \frac{\rho_1}{2\pi L} \left[ \log_e \frac{2L}{\gamma} + \sum_{n=1}^{\infty} k^n \log_e \left\{ \frac{1 + \frac{L}{2 \cdot n \cdot h}}{1 - \frac{L}{2 \cdot n \cdot h}} \right\} \right] \quad (7)$$

여기서 L : 전극의 길이

$\gamma$  : 전극 반경(m)

K : 반사율(따라서,  $\rho_2$ 의 값이 필요 (6)식)

h : 제1층( $\rho_1$ )의 두께(m)

대괄호 안의 제2항이 문제의 급수(수열) 항이지만, 수학을 복습해야 하는 독자를 위해 설명해 둔다.

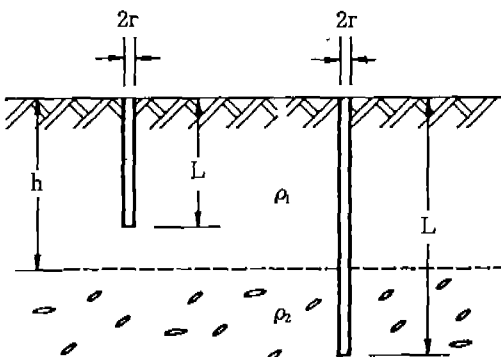
$$\sum_{n=1}^{\infty} k^n \log_e \left( \frac{1 + \frac{L}{2 \cdot n \cdot h}}{1 - \frac{L}{2 \cdot n \cdot h}} \right) = S \dots\dots\dots (8)$$

이라 놓으면,

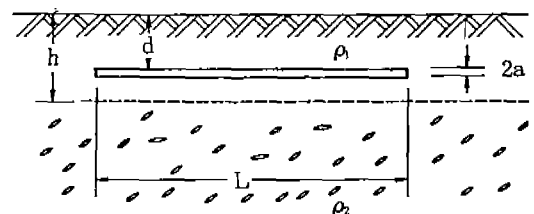
$$S = k \log_e \left( \frac{1 + \frac{L}{2 \cdot h}}{1 - \frac{L}{2 \cdot h}} \right) + k^2 \log_e \times$$

$$\left( \frac{1 + \frac{L}{2 \cdot 2 \cdot h}}{1 - \frac{L}{2 \cdot 2 \cdot h}} \right) + k^3 \log_e \left( \frac{1 + \frac{L}{2 \cdot 3 \cdot h}}{1 - \frac{L}{2 \cdot 3 \cdot h}} \right) + \dots\dots$$

즉 (8)식의 n부분에 1, 2, 3...을 대입하고 순차적으로 더해 나가면 된다. 식은  $\infty$ 까지이지만 필자의



<그림 10> 2층 지질에 박아 넣은 접지봉



<그림 11> 2층 지질에 설치된 매설 지선

<표 8> 접지저항 계절 변동 계수(매설 깊이 10m 이하)

측정월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
계 수	0.9	1	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8

경험으로는 20항 정도가 좋을 듯 하다. 그럼에도 불구하고 손으로 계산하는 것은 힘겨운 일이므로 끈기가 필요하다. 퍼스널 컴퓨터(프로그램으로도 할 수 있는 것이 있다)라면 40항 정도까지도 단시간에 계산해 준다.

(2) 전극이  $\rho_1, \rho_2$ 층에 걸쳐 있는 경우

$$R = \frac{\rho_1}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \frac{1+K}{1+K+2K \frac{h}{L}} \left[ \log_e \frac{2L}{\gamma} + \sum_{n=1}^{\infty} k^n \cdot \log_e \frac{2 \cdot n \cdot h + L}{(2 \cdot n - 2)h + L} \right] \dots\dots\dots (9)$$

부호와 단위에 있어서는 (7)식과 같으며, 대괄호 내의 급수도 (7)식과 같도록 계산하면 좋겠다. 3층 이상의 경우는 앞서 말한 것처럼 대형 계산기에 의존하는 것은 할 수 없는 일이지만 일반적으로 무리이기 때문에 필자는 안전한 쪽이 좋으리라 생각되며, 예를들어 3층까지의 경우는 2, 3층을 (7), (9) 식으로 계산하고, 얻어진 R에서 단층의 식을 써서 역으로 계산하여  $\rho$ 를 끌어내고, 이것을 제2층의 등가  $\rho$ 로써 제1층과의 사이에 2층 계산을 한다던가 아니면 각층의 두께에서  $\rho$ 값이 높은 쪽으로 대치하는 등 해서 비교하도록 하고 있다.

결국 시행착오를 거듭하고 있는 셈이며, 이것은 퍼스널 컴퓨터가 아니라면 곤란하리라 생각된다.

#### 4.2 매설지선(Counterpoise, 이하 CP라고 기록한다)의 경우

CP의 경우는 거의가 그림 11과 같이 제1층의 중앙에 매설되어, 그 아래에 제2층이 있는 형태이다.

### 5. 계절 변동 계수

마지막으로 대지 저항률의 계절 변동에 대해 언급해 둔다.

(1)~(4)식 이외에도 알겠듯이  $\rho$ 는 모든 접지저항의 계산식 가운데 1차 승수가 된다. 결국  $\rho$ 의 변동은 즉 접지저항의 변동이 된다. 따라서 일반적으로는 접지저항의 계절 변동 계수로써 사용되고 있다.

그림 7을 보면, 같은 토양이더라도 건·습지에서는

<표 9> 접지저항 계절 변동 계수(선단까지 매설 깊이 10m 이상)

측정월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
계 수	1	1	1	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	0.9

커다란 차이가 있다. 토양속에 수분이 많으면 저항값이 떨어지는 것은 당연한 일이며, 문헌에는 토양속에 포함된 수분이 2~3%일 때와 30%일 때에는 약 100배의 차이가 있다고 나타나 있다. 그러나 접지 공사를 시공한 곳의 토양 수분이 2~3%라는 것은 아니며, (토양 입자가 수분을 함유하고 있다. 표 3 참조) 그러한 커다란 변화는 없지만, 경험상으로 2배 정도의 변동이 있게 되어 있다(필자 측정으로는 1.9배까지 경험이 있다). 전극의 매설이 낮고 토양이 얼어 있는 것에서는 별도로 10배 이상이 된 예도 있고, 빙결의 염려가 있는 용지에 접지 공사를 시공하는 경우는 특별한 준비가 필요하다.

계절 변동 계수는 빙결의 염려가 없다면, 2배로 보면 좋겠고, 여기에 일본의 전자 기기 공업회「전자 계산기의 라인 필터 설치에 관한 기준」가운데 나타나 있는 수치를 표 8에 실어 둔다. 단 이 표는 주로 약전 기기의 접지이고, 전극의 매설 깊이가 비교적 얇은 곳의 값이라 생각되어 전기 설비 학외에서는 저접지저항 취득을 위한 연구를 행한 가운데「심매설 접지-boring 접지」를 실시하고 있지만 그 저항값의 계절 변동을 조사한 결과에서 접지의 매설 깊이가 깊은 경우에는 표 8의 값을 다소 완화할 수 있을 것이다 라고 하는 의견이 나와 있다. 그때에 하나의 안으로써 제시된 수치를 참고를 위해 표 9에 나타내 둔다.

★

대지 저항률과 접지저항과의 관련을 토양과 관련지어 설명했다. 토양에 대해서는 전문적인 것 외에도 처음 배우는 것이므로 잘못 오해하고 있는 부분도 많으리라 생각되지만, 질책과 가르침을 해 주시면 고맙겠다.

등가 대지 저항률에 대해서는 연구가 시작된 것 뿐이라고 말해도 좋겠고, 이후의 연구 진전이 확실히 고대되고 있는 상황이다. 한사람이라도 많은 현장 기술자의 연구, 체험의 발표를 바라마지 않는 형편이다.

• 본고는 일본전선공업협회의 양해하에 번역한 것으로서 저작권은 상기협회에 있고, 번역책임은 해광방뢰(주)에 있습니다 [출처 : 전선공업 1992년 7월호].