[3-8]

4전극법에 의한 우리나라 국토의 대지도전율 측정 및 분석

송 용 순 ° , 백 경 훈 * , 이 상 설 *
° 한국전기통신공사 * 한양대학교 전자통신공학과

The measurement and analysis of earth conductivity of this country by four-electrode method

Youngsoon Song , Kyunghoon Baek , Sangseol Lee
Korea Telecommun. Authority , Dept.of Electronic Commun.Eng.Hanyang Univ.

ABSTRACT

In this paper, We measured earth conductivities in all parts of this country of ours.

In general, erath conductivities represent low values in mountains range and high values in plain area. It is found that earth conductivity values in the paleozoic zone is lower than in the cenezoic zone.

1. 서 론

대지도전율은 통신선과 전력선의 상호 인덕턴스 계산과 통신시설의 접지저항을 얻기위하여 구하여야 하는 가장 기초적인 자료이다.

전력선에 가까이 있는 통신선에는 정전유도 및 전자유도에 의하여 선로방향으로 기전력이 유기되며, 그 크기는 전력선과 통신선의 기하학적 상호배치 및 전자장에 영향을 주는 주위의 매질에 따라 결정된다. 이러한 유도전압은 평상시에는 잡음 기전력으로 통신에 장애를 주며 사고시에는 높은 위험전압이 나타나는 때도 있으므로 이로부터 통신계통을 적절히 보호하여 주어야 한다. 따라서 전력선과 통신선에 의한 상호 인덕턴스를 계산하여야 하며 이를 위해서는 각 지역의 대지도전율 수치를 보다 정확히 분석할 필요가 있다.[1][2]

일반적으로 암층이나 암석등은 단위길이당 수만 Ohm이 되지만 지하수가 존재하고 이 지질에 도전성 유기물이 포함되어 있으면 수 Ohm에서 수백 Ohm으로 대지저항이 감소하여 같은 지질적 구조를 갖는 지역일지라도 지하수의 유무에 따라 대지도전율은 큰차이를 보인다. 따라서 복잡한 구조를 갖는 토질에 대한 정확한 대지도전율을 측정하기란 매우 어려운 일이며 더욱이 계절에 따라서 또는 강우량에 따라서 대지도전율은 변하게 되므로 지역과 측정 계절에 따라 여러가지 측정 방법중 적당한 방법을 택하여 측정하여야 한다.[3][5]

대지도전율 측정 및 분석에 대하여 일찌기 미국, 일본, 서구에서는 국토전체를 대상으로 그 분포도를 작성하여 통신시설 및 전력시설 또는 전철 건설사업등 광범위하게 사용되어 오고 있다. 반면에 우리나라의 경우에는 국토전체의 대지도전율에 대한 자료가 미비한 상태이고 기존의 몇몇 지역의 측정치에 대하여도 기기의 기능이 고도화, 소형화, 고밀도화됨에 따라서 많은 오차를 수반하고 있다. 따라서 상호 인덕턴스 계산이 부정확하여 통신선에 유기되는 전압에 대한 대책방안을 강구하는데 문제가 되었고, 또한 접지설계의 불합리로 인한 소요자재(접지봉, 접지리드선등)와 인력이 과다하게 투자되는 어려움이 있었다.[3][7][8]

본 연구는 우리나라 전국토의 대지도전율을 반경 1 Km~2 Km 간격으로 측정 분석한 것으로서 통신시설이나 여러가지 전력시설에 대한 기초자료를 제공한다. 또한 전력선에 의하여 통신선에 미치는 유기전압을 정확히 계산함으로써 전력선 사고로 인한 통신계통의 피해를 최소화 하고 전자파 간섭문제(EMI)및 통신선로의 차폐문제 해결에도 도움이 될 수 있게 한다.

2. 4 전극법(Four-electrode Method)

대지 도전율 측정방법에는 탐사선법(Pilot Wire Method) 탐사선륜법(Search Coil Method) 4전극법(Four-electrode Method) 그리고 타입식 접지봉에의한 방법등이 있다.

탐사선법은 기유도선(起誘導線)과 평행하게 Pilot Wire를 설치하고 기유도선에 전류를 흘려 Pilot Wire에 유기되는 전압을 측정하여 등가 대지도전율을 역산해 내는 방법이다. 탐사선륜법은 탐사선법과 동일하나 Pilot Wire 대신 Search Coil를 이용하는 것이다. 즉 Coil면이 기유도선과 평행하도록 설치하면 Coil면과 대지표면과의 각도가 변하여 Coil과 기유도선의 상호임피이던스 Zm의 허수분이 zero가 됨을 이용하는 것이다. 그러나 위의 두방법은 기유도선이 무한장 도선일때 적용되는 것으로 유한장 선로에 적용할 경우 상당한 오차를 수반하게 되며 또한 지중에 도관 관로케이블등 매설도체가 있을때 대지도전율은 부분적 지역에 관한 수치가 되어 버릴 수 있다. 타입식 접지봉에 의한 방법은 금속접지봉을 타입하고 그 접지저항에서 대지도전율을 역산해 내는 방법이다. 그러나 이 방법은 P.W.법 S.C.법 및 4전극법에 비하여 접지봉 표면의 접지상태에따라 도전율 값에 큰 영향을 준다.[4]

4전극법은 상술한 다른 방법에 비하여 측정이 정확하고 접지설계에 곧바로 활용할 수 있다. 또한 지층이 다른 여러 다층구조에 대하여 측정이 가능하며 다층구조의 지층구조를 파악할 수 있는 장점이 있다. 4전극법에 의한 측정원리는 다음과 같다.

2-1. 기본원리

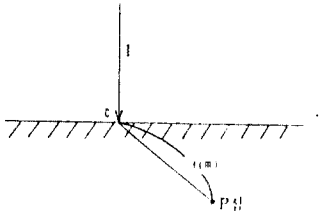

그림 1. 균일지질에서 전류분포에 의한 전위

그림 1 에서 전류 I(Amp)를 흘릴때 C점에서 r(m) 떨어진 점 P에서의 전류밀도는 $I/2\pi r^2$ (Amp/m²)이 된다. 그러므로 전류I에 의한 P점에서의 전위 V는 다음과 같이 표현된다.

$$V = -\int_{-\infty}^{r} \rho \frac{I}{2\pi r^2} dr = \frac{\rho I}{2\pi r} \text{ (volt)} \qquad (1)$$

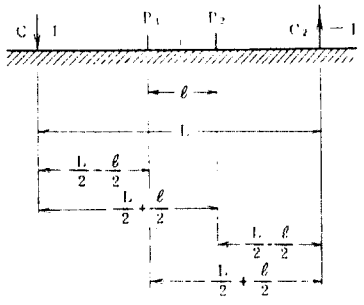

그림 2. P_1 , P_2점에서의 전위

따라서 그림 2 와 같은 구조에서 P_1점과 P_2점의 전위를 구하면 식(1)에서

$$V_{P1} = \frac{\rho I}{2\pi}\left\{\frac{1}{(L/2 - \ell/2)} - \frac{1}{(L/2 + \ell/2)}\right\} \qquad (2\text{-a})$$

$$V_{P2} = \frac{\rho I}{2\pi}\left\{\frac{1}{(L/2 + \ell/2)} - \frac{1}{(L/2 - \ell/2)}\right\} \qquad (2\text{-b})$$

이 되며, 점 P_1과 P_2사이의 전위차 V_{P1-P2}는

$$V_{P1-P2} = V_{P1} - V_{P2}$$

$$= \frac{\rho I}{2\pi}\left\{\frac{2\ell}{(L/2 + \ell/2)(L/2 - \ell/2)}\right\}$$

$$= \frac{\rho I}{\pi} \cdot \frac{4\ell}{(L^2 - \ell^2)} \qquad (3)$$

이 된다. 따라서 비 저항 ρ는 식(3)으로 부터 다음과 같이 된다.

$$\rho = \frac{V_{P1-P2}}{I} \cdot \frac{(L^2 - \ell^2)\pi}{4\ell} \qquad (4)$$

대지 비저항 ρ는 P_1~P_2 의 대지저항을 구함에 따라서 얻어진다. 3ℓ = L로 취한 전극배치를 Wenner배치라 하며 접지설계 등의 비저항 측정에는 이 배치가 사용되지만 ℓ의 변화는 0.5~50m의 범위가 되므로 지표층(심도 약 10m)의 비저항만이 측정 가능하다. 이 배치의 측정에는 L-10형 대지 비저항 측정기, Type 3244 대지 비저항 측정기를 사용한다. 이 배치에서 ℓ을 최대한 길게 취하면 대지에 흐르는 전류분포가 넓어지는 심층의 영향이 생기기 때문에 지층심부의 구조까지 해석할 수 있다.

ℓ을 1m~수천 m로 취하기 위해서는 대전압이 필요하고, 연결선도 아주 길게 하여 AC를 쓰면 연결 선간의 결합을 떨리하지 않음에 따라서 직류를 사용하지 않으면 안되는 문제가 발생한다. 직류를 쓸 경우 정합분극작용의 영향을 보상할 필요가 있으며 수 Hz이하의 극저주파를 쓸 필요가 있다.

2-2. Wenner 배치의 대지 비저항 측정회로

Schlumberger 배치[5]는 심층부의 비저항을 측정할 수 있는 것으로서 이 비저항의 변화에서 지하광상의 탐광이든가 암반층의 심도측정 등 토질공학, 탐광학에 사용되어진다. 여기서는 접지설계에 필요한 지표층 10m 정도를 측정하는 Wenner 배치에 대해서 기술한다.

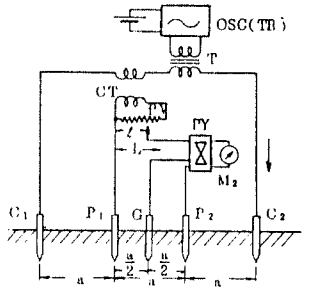

그림 3. 전위법에 의한 대지도전율 측정회로

그림 3 에 있어서 $\ell = \frac{L}{3}$ = a로 취하면 그림 2의 배치가 되며 상부는 Type-3244 대지 비저항 측정기의 원리도이

다. OSC의 발진전압은 승압되는 CT의 1차 권선을 통해서 지중에 교류 I(A)를 보낸다. 이때 대지의 저항 R에 의해서 P_1과 P_2간에 생기는 전위차 V = RI가 되며 CT의 2차 측에는 I에 비례한 전류가 흐르며 가감저항기 Rv의 길이가 ℓ일때, 유도전압 V_e는

$$V_e = K \cdot Rv \cdot I \cdot \frac{\ell}{L} \qquad (5)$$

이 되며, V와 V_e의 방향이 역으로 되도록 동기전류기 PY를 동작 시킨다. 이때 Rv를 가감하여 M_2의 진동을 0으로 하면 $V = V_e$ 에서 R은

$$R = K \cdot Rv \cdot \frac{\ell}{L} \qquad (6)$$

이 되어, ℓ/L 즉 ℓ의 위치로서 R을 측정할 수 있다. 식(4)로부터

$$\rho = \frac{V_{P1-P2}}{I} \cdot \frac{(L^2 - \ell^2)\pi}{4\ell}$$

$$= R \frac{\{(3a)^2 - a^2\}\pi}{4a} = 2a\pi R \qquad (7)$$

이 되며, 따라서 측정한 R과 a에서 ρ가 구해진다.

2-2-1. 지층이 2층 구조인 경우

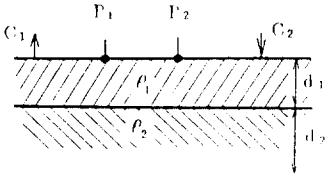

그림 4. 지층이 2층 구조인 경우

그림 4 와 같이 비저항 ρ_1, ρ_2인 2층 구조로 된 지층인 경우에 점 P_1과 P_2사이의 전위차 V는[4]

$$V = \frac{\rho_1 I_1}{2\pi a}\left[1 + 4\sum_{n=1}^{\infty}\frac{K^n}{\sqrt{1 + 4n^2(d_1/a)^2}} - 2\sum_{n=1}^{\infty}\frac{K^n}{\sqrt{1 + n^2(d_1/a)^2}}\right] \qquad (8)$$

이 된다. 이 식을 (7)식의 $R = V_{P1-P2}/I$에 대입하므로써

$$\frac{\rho}{\rho_1} = 1 + 4\sum_{n=1}^{\infty}\frac{K^n}{\sqrt{1 + 4n^2(d_1/a)^2}} - 2\sum_{n=1}^{\infty}\frac{K^n}{\sqrt{1 + n^2(d_1/a)^2}} \qquad (9)$$

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} = \frac{\rho_2/\rho_1 - 1}{\rho_2/\rho_1 + 1}$$

이 되며, K의 여러값 ρ_2/ρ_1에 대한 d_1/a와 ρ/ρ_1의 곡선을 얻을 수 있다. 이렇게 얻은 곡선을 표준곡선(Standard Curve)이라 하며 실제로 실측하여 얻은 ρ와 이 표준곡선으로 부터 ρ_1, ρ_2, d를 분석하여 대지 도전율을 얻는다.

2-2-2. 지층이 3층 이상인 경우

그림 5(a)와 같은 3층구조의 지층은 그림 5(b)와 같이 등가 2층으로 볼 수 있으며 이 때 제 1층의 깊이는 d_1, 제 2층의 깊이는 $d_2 - d_1$이 되며 등가 제 1층의 깊이는 d_2라고 볼 수 있다.

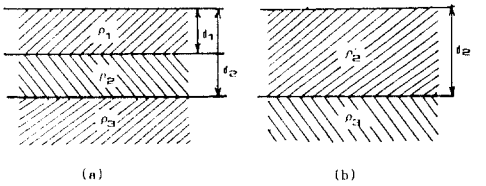

그림 5. 지층이 3층구조인 경우

그러므로 등가 제 1층의 등가 고유저항 ρ_2'은 다음식으로 표시된다.[4]

$$\frac{\rho_2'}{\rho_1} = \frac{\rho_2/\rho_1 \cdot d_2/d_1}{\rho_2/\rho_1 + d_2/d_1 - 1} \qquad (10)$$

여러 ρ_2/ρ_1값에 대하여 d_2/d_1와 ρ_2'/ρ_1의 관계를 도시한 곡선을 보조곡선(Auxiliary Curve)이라 하며 3층 이상의 지층에 대한 대지도전율은 실제로 실측하여 얻은 ρ와 표준곡선 , 보조곡선을 이용하여 구해진다.

3. 대지 도전율 측정 분석 및 결과

대지도전율은 토질이나 지질학적 구성 여하에 따라서 다르다고 말할 수 없다. 따라서 눈으로 볼 수 있는 지표층의 아래에는 충적층, 공적층 혹은 화강암층이거나, 현무암층 일

< 표 1 > 지역별 대지도전율 분포표

구분 / 지역별	대지도전율(σ)	특 기 사 항
해변지역	0.0033(ρ:3000 · ㎜)이상 ~ 0.01(ρ:1000 · ㎜)이하	0.01(ρ:1000 · ㎜)이상 지역 - 인천, 김포, 서산, 태안, 김제 고창, 영암, 장흥, 장양, 삼천포 부산, 울산, 경주, 포항, 울진 동해, 강릉
평야지역	0.0033(ρ:3000 · ㎜)이상 ~ 0.01(ρ:1000 · ㎜)이하	0.01(ρ:1000 · ㎜)이상 지역 - 김포평야
산악지역	0.001(ρ:10000 · ㎜) 이상 ~ 0.002(ρ:5000 · ㎜)이하	0.00142(ρ:7000 · ㎜)이하 지역 - 태백산맥 : 강원도 - 소백산맥 : 충청북도, 경상북도 전라남,북도 일부 지역 - 차령산맥 : 강원도 - 노령산맥 : 전라북도 일부지역
보통지역	0.002(ρ:5000 · ㎜) 이상 ~ 0.00332(ρ:3000 · ㎜)이하	

수 도 있다. 이들의 각 층은 각각 값이 다른 도전율을 갖고 있으므로 실제로 적용되는 대지도전율 수치는 지하 20~ 500m에서 구한 값을 평균하여 계산한다.

측정기기로는 Model 3244형 대지비저항 측정기(L-10의 TR 고압화) 1개, 금속 A 접지봉 10개, 측정용 리드선(100M × 2개, 50M×2개) 4개를 사용했으며 측정치에 대한 분석으로서 Log - Log 특성곡선[5], 표준곡선 그리고 보조곡선을 사용하였다. 위의 분석으로서 측정한 전국 각 지역의 대지 도전율 분포도는 그림 6 이며 지역별 대지 도전율 분포표는 표1 이다.

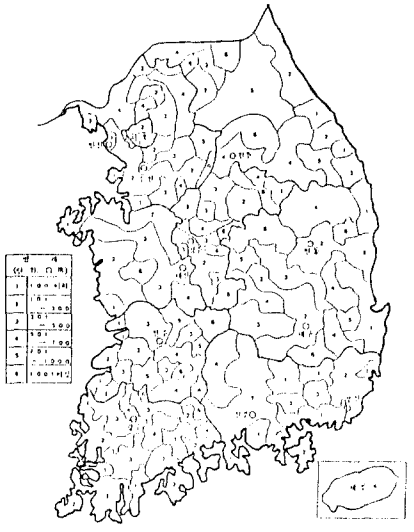

그림 6. 전국 각 지역의 대지도전율 분포도

4. 분석결과에 대한 검토

우리가 실제로 구하기 위한 대지도전율은 지하 20~ 500m의 평균적인 도전율이기 때문에 4전극법에 의한 실측치를 지질도의 지질분포에 그대로 맞추는 일은 위험성이 있다. 즉 눈으로 보는 지표층 아래에는 흥적층, 화강암층, 현무암층 등 표층과 다른 경우가 있기 때문이다. 그러나 대지도전율의 실 측정치와 지질분포와는 상당한 관련성이 있으므로 이를 이용하여 대지도전율도를 만들기도 한다.

그림 6에서 보는바와 같이 일반적으로 산맥을 따라서 대지도전율이 낮아지는 반면 평야지대에서는 높은 도전율을 나타내고 있다. 이는 도전성이 양호한 부식토로 덮여 있기 때문이다. 특히 태백산맥이 소백산맥 보다 높은 도전율 분포도를 나타내는 것은 동해의 해안지역 영향을 받은 것으로 생각된다.

시대, 암석구분별 도전율의 관계에 있어서는 고생대에 속하는 암석일수록 도전율은 큰 경향이 있다. 또한 고생대에서는 암석의 종류에 따른 상위(相違)가 작으나 신생대에서는 큰 상위를 보인다. 이것은 새로운 년대의 암석이 존재하고 있는 지역에서는 여러가지 종류의 지층이 교차하여 지하구조가 복잡해지기 때문이다. 고생대의 암석이 존재하고 있는 지역에서는 비교적 균일한 지하구조를 형성하고 있기 때문에 거시적으로 보아서 지하구조의 차가 나타나지 않는 것으로 생각한다.

특이한 것으로서 제주지역은 해변지역인 데도 전반적으로 대지저항 ρ가 501 ~ 700 Ω·m 로서 전도성이 낮은 분포를 하고 있는데 이는 제주지역이 현무암층으로 덮여있기 때문이라 생각한다. 특히 한라산 중턱의 영실부근인 경우에 ρ가 4,000 Ω·m 이상으로서 우리나라 전지역에서 도전율이 가장낮을 뿐만아니라 보통의 산악지대에 비하여 상당한 차이가 나고있다. 또한 도전율이 가장 높은 지역은 포항지역층 포항제철 주위로서 비저항 ρ는 대략 5 Ω·m 로 측정되었다. 이는 그 지역이 매립지역의 영향으로 생각된다.

5. 결 론

우리나라 전지역의 대지도전율을 4전극법에 의하여 측정 분석하였다. 해변지역과 평야지역은 대체적으로 도전율이 3.3 ~ 10.0 (mσ)로서 산악지역의 도전율 1.0 ~ 2.0(mσ)보다 대체적으로 높게 나타나고 있다. 그러나 김포평야인 경우에는 도전율이 10.0이상이고 해변지역인 인천, 김포, 울진 등 몇몇 지역은 10.0(mσ)인 특징을 보이고 있다.

이 연구결과는 통신시설이나 전력시설에 대한 기초자료를 제공하며 전력선에 의하여 통신선에 미치는 유기전압을 정확히 산출해 냄으로써 전력선 사고로 인한 통신계통의 피해를 최소화 할 수 있고 전자파 간섭문제(EMI) 통신선로의 차폐문제 해결에 도움이 될 것이다. 또한 측정치에 대한 분석 과정에서 특성곡선이 급상승 하거나 급강하 하는 특징에 의하여 광맥이나 지하수의 유무를 판별 할 수 있을 뿐 아니라 지하층의 구조를 파악 할 수 있다.

參考文獻

[1] Russ Gundrum, "Power Line Interference: Problem and Solution" Lee's abc of the Telephone, 1982.

[2] Gilbert Sharick, "Grounding and bonding" Lee's abc of the Telephone, 1981.

[3] 玄京鎬, 朴永文 "直接接地 送電線路에 따른 通信線路 誘導障碍防止를 위한 恒久對策樹立에 관한 技術用役" 韓國科學技術研究所, 1973.

[4] 電氣通信協會 誘導 (上·下 券) 四版, 1981.

[5] Yokogawa Electric Works, "Instruction manual for type 3244 specific earth resistance tester", 1975.

[6] S.Ramo, J.R."Whinnery and T.V. Duzer Fiells and Waves in Communication Electrouces, Chap 8, John Wiley & Sons Inc. 2nd ed. 1984.

[7] 官下一雄, 舟橋徹夫 "東海道 新幹線 周邊の 大地道電率 調査" 日本國有鐵道 鐵道技術研究所, 1961.

[8] 酒 井 祥 "誘導遮蔽の實際" 日刊工業新聞社 1974.