

전국의 암석, 토양층에 대한 토양비저항 조사

이현구, 배정호, 하태현, 김대경, 최상봉, 정성환
한국전기연구소

Investigation of Resistivity for Rock and Soil in South Korea

H.G. Lee, J.H. Bae, T.H. Ha, D.K. Kim, S.B. Choi, S.H. Jeong
KERI

Abstract - 토양에 대한 연구는 오래 전부터 시작되었으며, 여러 가지 방법으로 토양의 특성을 조사하고 이를 적용하기 위한 분류법이 제안되어 왔다. 국내에서도 해방 전부터 토양에 대한 연구가 시작되었으나, 농업에 이용하기 위한 연구가 대부분을 차지하고 있으며 각각의 연구결과는 물리, 화학적으로 정량화되어 있지 않기 때문에 환경에 따른 특성의 변화를 예측할 수 없다. 또한 접지설계 등의 전기관련 분야에 활용하기 위한 연구는 전무한 실정이다.

본 논문에서는 토양의 개념, 생성인자, 분류 및 전기적 특성 등의 개요를 알아보고, 지질학 및 지구물리학적 방법을 통하여 국내의 암석 및 토양에 대한 비저항의 물리적, 화학적 특성을 측정하기 위한 방법을 조사하였다. 이를 바탕으로 암석과 토양에 대한 개략적인 토양비저항도를 작성하여 접지설계 및 지하매설 금속물의 방식설계 등에 활용하기 위한 토대를 마련하고자 한다.

1. 서 론

국내에서의 토양에 대한 연구는 해방 전부터 시작되었으나, 대부분 농업에 이용하기 위한 연구에 국한되어 있는 실정이다. 대표적인 예로 1971년에 농업진흥청에서 발간한 1:50,000의 한국개략도양도를 들 수 있으며, 이 도양도는 현재까지 1:25,000의 축척으로 계속 발간되고 있다. 하지만, 육안에 의한 분류로 현장에서 작성되었기 때문에 토양의 성인별로 물리화학적인 체계성을 갖추고 있지 않다.

본 논문에서는 토양의 개념, 생성인자, 분류 및 전기적 특성 등의 개요를 알아보고, 지질학 및 지구물리학적 방법을 통하여 조사지역의 암석 및 토양에 대한 비저항의 물리적, 화학적 특성을 측정하기 위한 방법을 조사하였다. 상세 토양비저항 조사에 앞서 한국개략도양도를 토대로 선정된 전국 166개 지점에서 현장조사를 하였으며 그 결과를 바탕으로 현재까지 제안된 토양분류체계에 적용하여 개략적인 토양비저항도를 작성하였다. 또한, 외부 환경 변화에 따른 토양비저항 특성을 조사하기 위하여 현장에서 채취한 시료별로 온도, 습도, 이온함량 등의 변화에 따른 토양비저항 특성을 실험하기 위한 조사를 수행하였다.

2. 토양의 개요

2.1 토양의 개념

토양은 암석이 물리적, 화학적 그리고 생물학적 작용을 받아 부스러지고 분해된 물질로서 지표의 외곽을 덮고 있는 채설성 물질을 총칭하여 말한다. 따라서 토양은 물리적으로 약하고 공극이 많으며, 화학적으로는 토양수에 의해 이온의 이동이 가능하며, 생물학적으로는 생물체를 지탱시켜주고 양분을 공급하는 물질이다.

순수 토양학적 관점에서의 토양은 층의 분화가 나타나서 최외곽의 채설성 피복층으로서 다양한 물리적, 화학적 그리고 생물학적 작용을 받은 모재층의 변형에 의해

서 발달될 수 있는 것으로 정의한다.

2.2 토양의 생성인자

토양의 생성인자는 모재, 지형, 기후, 식생, 시간 등 5가지이다. 이 중에서 기후, 식생, 시간은 능동적 인자이며 모재와 지형은 수동적 인자이다. 따라서 열대기후 하에서는 특유의 열대토양이, 한대기후 하에서는 특징적인 한대토양이 기후대와 평행하게 생성된다. 하지만, 지구의 역사를 통해 볼 때 기후의 변화도 있었으므로 현재의 기후와는 관계없이 분포되어 있기도 하다.

우리나라의 경우 비교적 좁은 영토이지만 퇴적암, 변성암, 화산암 등 다양한 모암이 분포하고 있으며 봄, 여름, 가을, 겨울 4계절이 뚜렷하므로 토양의 분포 또한 다양하다.

2.3 토양의 분류

토양의 분류는 아직까지 통일된 체계를 갖고 있지 않은 상태이다. 국제적으로 구소련, 서부 유럽, 아메리카 등의 세 지역을 중심으로 세 개의 토양분류학파가 형성되어 있고, FAO/UNESCO에서는 1961년 이래 각국의 협력을 얻어 세계토양도 계획을 수립 1:500만 축척의 세계토양도를 1974년에 마련한 바 있다.

소련에서는 넓은 국토를 제한된 자료에 의해 분류해야 한다는 현실적인 제한 때문에 러시아평원의 기후, 식생 등의 생성인자와 기후대에 대응하는 생성과정을 기초로 토양을 분류하고 있으며, 이에 반해 서유럽에서는 소련과 마찬가지로 토양형을 기본단위로 하는 국가도 많지만, 토양단면의 발달과정이 중시되고 있으며 또한 기후보다 모재의 영향이 크기 때문에 토양단면의 구성 혹은 층위의 배열에 의해 토양형이 정의되는 등 모재를 중시하는 경향이 강한 것이 특징이다. 미국에서는 토양조사에서 식별된 토양 계열(Soil Series)을 기본단위로 하고 이를 대토양군(Great Soil Group)으로 정리하는 방식을 취하지만, 새로운 분류체계를 채택하고 있다.

세계적으로 널리 쓰여 왔던 토양분류체계는 1936년부터 미국 농무성 토양국(USDA)의 Thorp 등에 의해 제안된 뒤 1949년에 Marbut, Smith 등에 의해 체계화된 미농무성 구분류법이었으나 그 뒤 여러 가지 문제점을 보완코자 1950년부터 착수하여 1975년에 체계가 완성된 Soil Taxonomy가 신분류법으로 불리어지면서 현재 세계적으로 널리 쓰여지고 있다.

공학연구에서는 토양을 Unified Soil Classification System(USCS)이나 수정된 USCS에 따라 종종 분류한다. 일반적으로 모든 자연 토양은 거친 입자를 가진 토양, 세밀한 입자를 가진 토양 그리고 유기물 토양 등으로 나누어진다. 본 질에서 언급한 각각의 분류표는 지면 관계상 생략하였다.

2.4 토양의 전기적 특성

토양과 암석은 전위, 도전율(1/저항률), 투자율 그리고 분극전위 등의 다양한 전기적 특성을 나타낸다. 이 논문은 토양과 암석에 대한 저항률에 관한 것이다.

암석과 광물의 모든 물리적 특성 중에서 전기저항은 가장 큰 변화를 보인다. 은($1.6 \times 10^{-8} [\Omega \cdot m]$)에서 황산염($10^{16} [\Omega \cdot m]$)까지의 범위를 갖는다.

3. 토양비저항 측정

토양비저항에 영향을 미치는 주된 요인은 수분함량, 온도, 화학적 이온함량, 밀도, 재료에서의 물리적인 이방성 그리고 주파수 등을 들 수 있다. 대부분의 경우 토양과 암석에서의 전기저항 측정은 직류 혹은 매우 낮은 주파수(1[Hz] 이내)에서 측정되므로 주파수의 영향은 무시한다.

3.1 현장에서의 토양비저항 측정방법

3.1.1 Galvanic 방법

지면으로 전류를 흘려 보내고 전극에서 전위를 측정하여 저항을 측정한다. "DC 저항 측정"이라고도 한다.

$$\rho_a = \frac{V}{I}$$

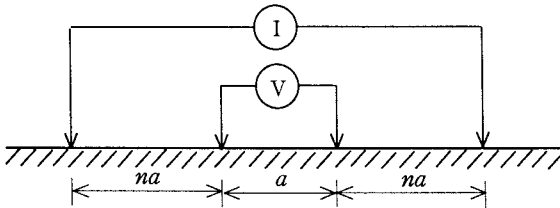
전극 배열방법에 따라 크게 Schlumberger 방법과 Wenner 방법으로 분류할 수 있으며 각각에 대한 수식은 다음과 같다.

Schlumberger array: 수직방향

$$n > 2 \quad \rho_a = n(n+1)\pi a \frac{V}{I}$$

Wenner array: 수평방향

$$n = 1 \quad \rho_a = 2\pi a \frac{V}{I}$$



(그림 1) 저항 측정에 사용되는 전극 배열

3.1.2 Inductive 방법

송신코일에서 일정주파수의 시변전자기파를 발생시켜 매질에 유도전류를 발생시킨 후 유도되는 2차전자기파를 수신코일을 이용하여 측정한다. 2차측과 1차측 자계의 비는 균일매질에서 도전율(저항률의 역수)에 비례한다.

대표적인 예로 Geonics Limited사의 "Geonics EM 31" 등을 들 수 있는데 코일면이 수평일 때 침투깊이는 계측기로부터 약 7[m]까지이며 수직일 때는 1.5[m]까지 감소한다.

3.1.3 Galvanic과 Inductive 방법의 기술적 제한

토양층이 일반적으로 동질이며 등방성이 아니기 때문에 각층의 저항률과 두께가 수학적인 관계로 결정되어야만 한다. 그리고, Inductive 방법의 경우 $1000[\Omega \cdot m]$ 이상의 비저항이 나타나는 토양에서는 부정확하다.

따라서, 본 논문에서는 Galvanic 방법을 사용하여 측정하였다.

3.2 실험실에서의 토양비저항 측정방법

3.2.1 Galvanic 측정의 원리

미분형 Ohm의 법칙에 의해

$$E = \rho \cdot J$$

이며, 균일한 전류가 동질의 원통을 통해 측방향으로 흐른다고 가정하면

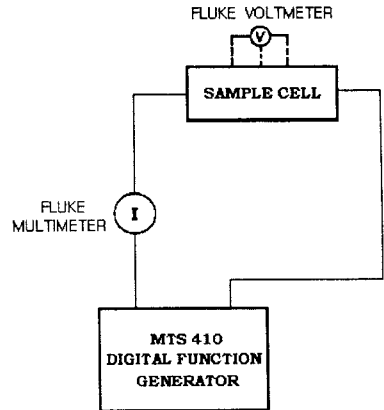
$$R = \rho \frac{L}{A}$$

샘플의 저항률은 다음 식에 의해 계산되어진다.

$$\rho = \frac{V}{I} \frac{A}{L}$$

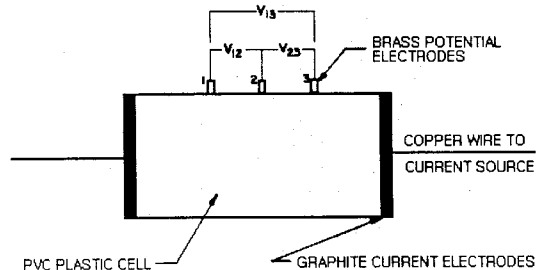
3.2.2 실험실 측정과정

그림 2에는 실험실 측정장치의 개략도를 나타내었다. 전류는 8[V] 구형파를 공급하는 MTS 410 Digital Function Generator에 의해 공급된다. 전류의 주파수는 스위치로 선택가능하다. 전압은 큰 입력단 임피던스(>10[MΩ])를 갖는 계측기로 측정한다.



(그림 2) 실험실 토양비저항 측정장치의 개략도

그림 3에는 이 연구에서 사용한 샘플장치를 나타내었다. 전류는 균일한 전계를 공급하기 위해 그래파이트 양단 전극을 통해 토양샘플로 흘려진다. 샘플에서의 전압강하를 측정하기 위해 황동전극을 사용하였다. 전극 근처의 비등방성 물질에 의한 효과를 감소시키기 위해 3개의 전위 전극을 사용하여 3개의 전압을 측정할 뒤 평균값을 사용한다.



(그림 3) Sample Cell의 개략도

4. 전국의 개략적인 토양비저항 현장조사

4.1 현장조사 개요

농업진흥청에서 발간한 한국 개략토양도(1971년, 총 21종으로 분류)를 기준으로 토양을 분류하여 전국 9개도, 7개 광역시 그리고 3개 화학단지의 166개소 측정지점에서 토양비저항 현장측정을 수행하였다.

토양비저항 측정을 위한 전극배열은 Wenner array를 사용하였으며 편간격은 0.8, 1.6, 2.4, 3.2 그리고 5(m)로 하였다. 또한 각각의 현장에서 지표 토양에 대한 pH를 측정하였다.

4.2 각 지역별 토양비저항 특성

전국 166개 조사지점에서 측정한 토양비저항 값을 Contour Map으로 작성하면 그림 4와 같다. 서울-경기 지역과 한반도 남서부에서 북동부를 가로지르며 높은 토양비저항 값을 가지며 부산, 대구를 포함하는 경상남북도 지역과 동해안 및 남해안을 따라서 상대적으로 낮은 토양비저항 값을 나타내고 있다. 높은 토양비저항 값을 나타내는 지역은 한반도에서 변성암 가운데 가장 많이 변성을 받은 편마암들이 주로 분포하는 지역과 일치하고 있으며, 낮은 토양비저항 값을 보여주는 지역들은 변성 받지 않은 퇴적암과 화산암이 주로 분포하고 있는 지역과 일치한다.

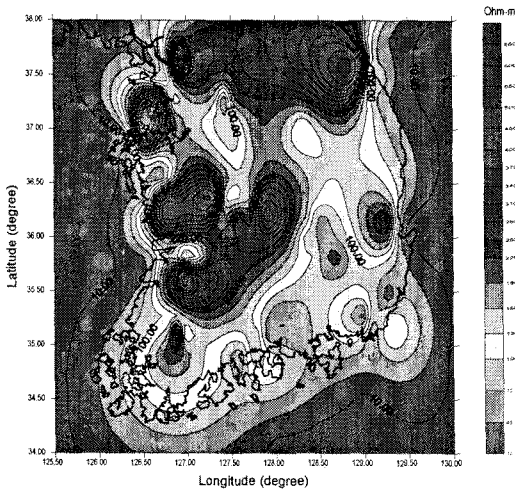
5. 결 론

본 논문에서는 토양의 개념, 생성인자, 분류 및 전기적 특성 등의 개요를 알아보고, 현장 및 실험실에서의 토양비저항 측정방법을 조사하였으며 이를 토대로 Galvanic 방법을 측정방법으로 선정하였다. 또한, 외부 환경 변화에 따른 토양비저항 특성을 조사하기 위하여 현장에서 채취한 시료별로 온도, 습도, 이온함량 등의 변화에 따른 토양비저항 특성을 실험하기 위한 조사를 수행하였다. 상세 토양비저항 조사에 앞서 한국개략토양도를 토대로 선정한 전국 166개 지점에서 현장조사를 하였으며 그 결과를 바탕으로 현재까지 제안된 토양분류 체계에 적용하여 개략적인 토양비저항도를 작성하였다. 그 결과를 요약해 보면 서울-경기지역과 한반도 남서부에서 북동부를 가로지르며 높은 토양비저항 값을 가지며 부산, 대구를 포함하는 경상남북도 지역과 동해안 및 남해안을 따라서 상대적으로 낮은 토양비저항 값을 나타내고 있었다.

향후에는 각 지역별로 암석과 토양에 대한 상세 토양비저항도를 작성하여 집지설계 및 지하매설 금속물의 방식설계 등에 활용하고자 한다.

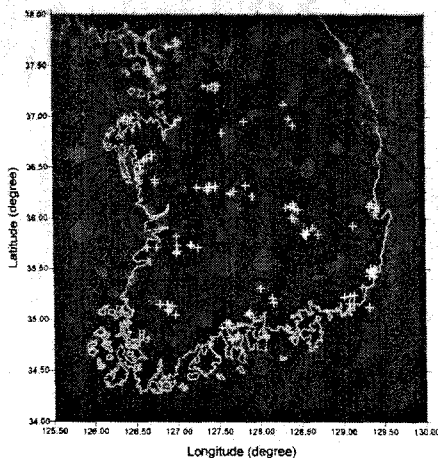
(참 고 문 헌)

- [1] W. J. Scott, A. E. Kay, "Earth Resistivities of Canadian Soils", Canadian Electrical Association Research Report, 1988
- [2] D. Mukhedkar, "IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System", IEEE Std 81-1983
- [3] "Standard Test Method for Laboratory Determination of Water(Moisture) Content of Soil and Rock", ASTM Designation: D 2216-92
- [4] 엄기태, "Soils of Korea", Agricultural Sciences Institute, 1985
- [5] FAO-UNESCO, "Soil Map of the World(1:500만)", 1974
- [6] USDA, "Soil Taxonomy Handbook No. 463", 1975



{그림 4} 전국의 개략적인 토양비저항도

각 조사지점의 pH 분포와 지형을 같이 표현하면 그림 5와 같다. 전국의 pH는 해안지역보다 내륙에서 상대적으로 높은 값을 나타내었으며 특히 서울-경기 일원에서 상당히 높은 값을 보여준다.



{그림 5} 전국의 개략적인 pH도