

Electrical Resistivity Characteristic of Soils

¹⁾, Sam-Gyu Park, ²⁾, Jung-Ho Kim, ¹⁾, Seong-Jun Cho,
¹⁾, Myeong-Jong Yi, ¹⁾, Jeong-Sul Son

1)
, Senior Researcher, Geotechnical Engineering
Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources

2)
, Principle Researcher, Geotechnical Engineering
Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources

SYNOPSIS : The resistivity of soils depends on grains size, porosity, water saturation, pore fluid resistivity, caly contents and son on. It is very important to understand the relationship between resistivity and such physical properties of soils, in order to interpret and evaluate ground conditions by using resistivity data obtained from electrical resistivity prospecting.

In this paper, to study the relationship between resistivity and physical properties of soils, the resistivity of glass beads and compacted soil samples both in saturated and unsaturated conditions is measured. As the results, the resistivity of saturated soils depends mainly on porosity and clay contents, while that of unsaturated soils is sensitive to compaction conditions, and decreases with increasing water content until the optimum water condition, that is the maximum dry density. But, the relationship between resistivity and water saturation for soils is unique, being independent of compaction energy. Also, the resistivity ratio decrease with increasing water saturation, followed by no significant change of resistivity ratio over 80 percent of water saturation (the optimum water content).

Key words : electrical resistivity, soils, physical properties,

1. 서 론

물리탐사 기술이 전자기기 및 컴퓨터의 발달에 힘입어 짧은 시간에 많은 양의 데이터를 획득할 수 있을 뿐만 아니라 해석 결과의 신뢰성이 높아지면서 지반조사에 널리 보급되고 있다. 물리탐사법 중에서 전기비저항탐사는 국내에서 가장 많이 이용되고 있으며, 산악터널, 교량기초 및 댐 사이트 등의 사전지반조사로 적용되어 탐사결과로부터 단층파쇄대 및 변질대 등의 지질구조, 지하수 분포상태, 암반등급 구분 등 구조물의 설계 시 유용한 지반정보를 제공하고 있다(박삼규 등, 1999).

최근 들어 환경오염문제가 사회적으로 대두되면서 쓰레기 매립장, 폐광산, 지하 유류저장 시설 등 환경오염부지 조사에도 전기비저항탐사가 이용되고 있으며 탐사결과로부터 오염물질의 분포범위와 유동경로 등을 추정하는데 유용한 지반정보를 제공한 사례가 증가하고 있으며, 저수지 및 방조제의 정밀안전

진단 시 누수구간을 탐지하기 위하여 전기비저항탐사가 유용한 방법으로 알려져 있다(이철효 등, 2001; 송윤호 등 2001; 박삼규 등, 2002; 박삼규 등, 2003). 전기비저항탐사 결과로부터 얻는 지반의 전기비저항은 지반의 전기적 성질에 관련된 물리량으로 지반을 구성하고 있는 흙과 암석의 물성에 따라 현저한 차이를 나타내고 있으며, 주로 포화도, 공극률, 간극수의 전기전도도 및 점토함유량 등에 따라 전기비저항이 좌우된다. 그러나 탐사결과와 전기비저항은 지반의 여러 가지 물성의 복합체로 나타나기 때문에 어떠한 요인이 얼마만큼 전기비저항에 영향을 미치고 있는지 파악하기 어렵다. 그래서 탐사결과로부터 정확한 지반정보를 추출하기 위해서는 지반의 전기비저항과 물성의 관계를 정확하게 밝히는 것이 무엇보다도 중요하다.

따라서 본 논문은 지반의 물성과 전기비저항의 관계를 정확하게 밝히기 위하여 실내에서 여러 가지 종류의 흙 시료의 전기비저항을 측정하고, 그 결과로부터 흙의 전기비저항을 좌우하는 물성요인과 이들 요인이 전기비저항에 미치는 영향에 대해서 서술한다.

2 전기비저항 측정 시스템

흙 시료의 전기비저항을 측정하기 위하여 그림 1과 같은 전기비저항측정 시스템을 구축하였다. 이 시스템은 전류를 흘려 보내는 송신부(function generator), 전위차를 측정하는 신호조정부(signal conditioner), 전류 및 전위차로부터 전기비저항을 산출하는 자료처리부(data processor) 및 측정용기로(mold)로 구성되어 있다. 측정용기는 그림 2에 표시한 것과 같이 내경 80mm, 높이 165mm의 원통형으로 아크릴수지를 사용하여 제작하였다. 전극은 몰드 양 단면에 동판의 전류전극(C1, C2)과 몰드 내측에 직경 1mm의 동선 4개(P1, P2, P3, P4)를 이용하여 전위전극으로 했다. 시료의 전기비저항 측정에 있어서 양 단면의 동판으로부터 전류를 흘려 보내고 전위전극 4개를 2개씩 조합하여 총 6회를 측정하여 이들의 평균값을 시료의 전기비저항으로 했다.

흙 시료의 전기비저항은 몰드의 축 방향으로 평행하게 전류가 흘렀을 때 전위전극으로부터 축 방향의 전위차를 측정하여 아래 (1)식으로부터 전기비저항을 산출하였다.

$$R = \frac{S}{L} \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

여기서 R 은 흙 시료의 전기비저항(ohm-m), S 는 시료의 단면적(cm^2), L 은 시료의 길이(cm), I 는 전류(A)이고, ΔV 는 전위차(V)를 나타낸다.

3 흙 시료

전기비저항 측정에 사용된 흙 시료는 입자의 크기가 다른 glass beads 3종류, 모래 2종류, 실트질 모래 2종류, 실트 1종류이며, 시료에 대한 입도분포 및 비중 등은 표 1에 나타난 것과 같다. 이들 시료 중 모래, 실트질 모래 및 점토질 모래에 대해서는 다짐에 의해 공극률 및 밀도 등의 물성치를 변화시켜 전기비저항을 측정하는데 사용했다.

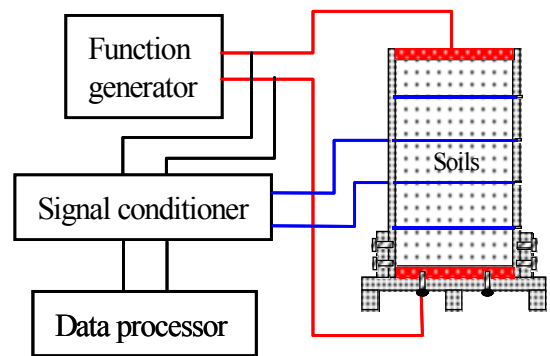


그림 1. 전기비저항 측정 시스템

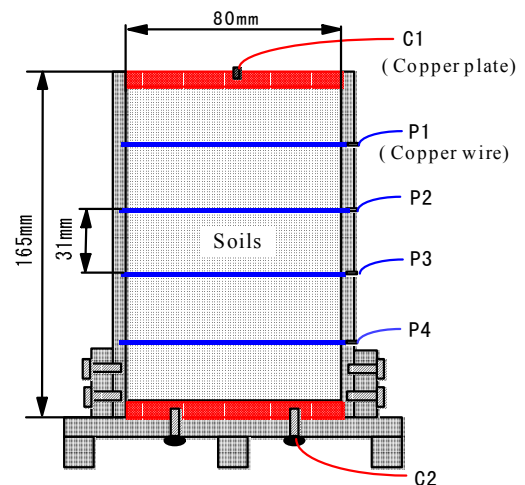


그림 2. 전기비저항 측정 몰드(Park et. al, 1999)

표 1. 전기비저항 측정에 사용한 흙 시료

Sample No.	Classification	Grain size range (mm)	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Specific gravity of soil particles (g/cm ³)
GB1	Glass beads 1mm	0.99 1.40	-	-	-	-	2.50
GB3	Glass beads 3mm	2.79 3.96	-	-	-	-	2.50
GB4	Glass beads 4mm	3.96 4.70	-	-	-	-	2.50
TS	Toyoura standard sands	0.10 0.42	0	100	0	0	2.64
S	Sands	0.10 4.75	9	91	0	0	2.64
S-M	Silt mixture sands	0.034 4.75	20	75	5	0	2.65
SM	Silty sands	0.0016 4.75	10	70	14	6	2.67
SC	Clayey sands	0.0017 4.75	11	62	13	14	2.75
M	Silts	0.0014 4.75	7	38	32	23	2.64

3 측정 결과

3.1 전기비저항의 이론적 배경

Archie(1942)는 저류암의 물성을 평가하기 위하여 지층의 전기비저항 R , 공극수의 전기비저항 R_w 및 포화도 S_w 사이의 관계를 아래 (2)과 (3)식으로 나타낸다.

$$R = F R_w S_w^{-2} \quad (2)$$

$$F = \frac{R}{R_w} = a n^{-m} \quad (3)$$

여기서 a 는 실험정수로서 경험적으로 0.6~3.5사이의 값을 가지며, m 은 고결계수(cementation factor)로 공극의 기하학적 형태 및 고결의 정도에 따라서 다르지만, 일반적으로 1.4~2.2의 값을 가진다. F 는 지층비저항계수(Formation factor)라 하며 (3)식과 같이 나타낸다. 이 식을 이용하여 지층 간극수의 전기비저항을 알면 지층의 공극률을 평가할 수 있기 때문에 저류량 산출에 많이 사용되어 왔다. Archie의 경험식은 석유를 배태하고 있는 다공질 사암층 등을 대상으로 한 경험식으로 지층의 전기전도가 공극수에만 의존할 경우에 적용할 수 있다. 따라서 점토를 함유하고 있는 지층에 대해서는 공극수 자체의 이온 전도 외에 지층에 함유되어 있는 미립의 점토분이 전기전도성 물질의 역할을 하기 때문에 Archie의 경험식을 적용하기에는 적합하지 않다(Klein and Sill, 1982; Patnode and Wyllie, 1950).

한편, 포화된 지층의 구성물질이 전기전도성을 가지고 있을 경우, 즉 세립분이나 점토를 함유하고 있을 때 아래와 같은 병렬 저항 모델(parallel resistances model)을 Patnode and Wyllie (1950)가 제안하고 있다.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{FR_w} + \frac{1}{R_s} \quad (4)$$

여기서, R_s 는 지층 구성물질의 전기비저항을 나타내고 있으며, 지층 중에 함유되어 있는 세립분이 전기이중층 효과에 의해서 전기전도도 역할을 하고 있음을 의미한다. 이 경험식은 점토질 모래와 같은 토질에서 적용되어 왔지만, 최근 연구결과에 따르면 화강암과 같은 결정질 암석에도 적용될 수 있다는 사실이 검증되었다(Park and Matsui, 1998). 따라서 지층의 전기비저항은 간극수의 전기전도도, 공극률, 세립분의 함유량(구성물질의 전기비저항), 포화도에 의해서 크게 좌우됨을 알 수 있다.

3.2 흙의 물성이 전기비저항에 미치는 영향

3.2.1 공극율의 영향

흙 시료를 지하수가 들어 있는 데시케이트에 집어넣은 후 지하수의 전기비저항이 20 ohm-m가 되도록 증류수와 NaCl 용액을 사용하여 조절했다. 그 후 일정 시간 동안 진공펌프로 흡입하여 시료 및 지하수에 들어 있는 공기를 탈기시키고, 간극수의 전기비저항이 어느 정도 안정된 후에 5등분으로 나누어 몰드에 투입하였다. 각 층마다 플라스틱 해머로 몰드의 외벽을 두드리는 회수에 의해서 시료의 공극률을 조정했다.

전기비저항 측정 시료의 공극률은 아래 (5)식으로부터 산출했다.

$$n = \left(1 - \frac{\rho_d}{\rho_s}\right) \times 100 \quad (5)$$

여기서 n 은 공극률(%), ρ_d 는 흙의 건조밀도(g/cm^3)이며, ρ_s 는 흙 입자의 밀도(g/cm^3)이다.

그림 3은 물에 포화된 흙 시료의 공극률과 전기비저항의 관계를 나타내고 있다. 그림 중의 실선은 시료의 공극율과 전기비저항의 관계로부터 구한 회귀곡선이다. 측정 결과에 의하면 glass beads(GB)와 세립분을 5% 이하로 함유하고 있는 모래(TS, S)의 경우에는 회귀곡선의 상부에 대부분 분포하고 있다. 이에 비해서 세립분을 20% 이상 함유하고 있는 실트질 모래(SM), 점토질 모래(SC) 및 실트(M)의 경우에는 회귀곡선의 아래쪽에 분포하고 있으며, 세립분을 5% 이하로 함유하고 있는 시료와 비교해서 동일한 공극률이라 하더라도 전기비저항이 약간 낮게 나타나는 경향이 보인다. 그러나 회귀선과 각 시료의 공극률에 의한 전기비저항 측정치의 변화에는 거의 동일한 경향을 보이고 있으며, 전체적으로는 포화된 흙 시료의 입도 분포가 다르지만 공극률이 증가함에 따라 전기비저항은 낮아지는 경향을 보이고 있다.

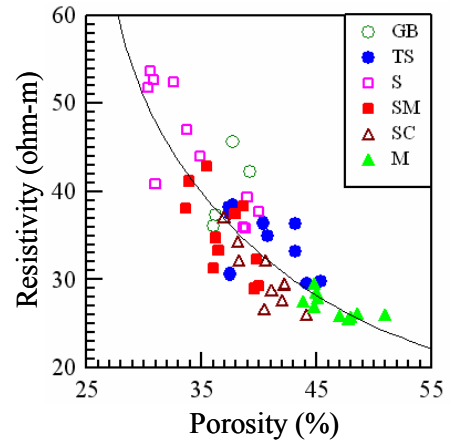


그림 3. 시료의 전기비저항과 공극률의 관계

3.2.2 공극수 전기비저항의 영향

동일한 흙 시료를 이용하여 전기비저항이 높은 수용액부터 낮은 수용액 순으로 간극을 포화시켜 전기비저항을 측정하였다. 이를 위해서는 간극수의 전기비저항은 변화해도 공극률이 일정하게 되도록 하기 위하여 동일한 방법으로 몰드 내의 흙 다짐을 하였다. 시료 제작 방법은 증류수 및 NaCl 농도가 다른 수용액에 시료를 포화시킨 후 5등분으로 나누어 시료를 몰드에 집어넣고, 전술한 방법과 같이 각 층마다 플라스틱 해머로 몰드의 외벽을 두드리는 회수에 의해서 시료의 공극률이 일정하게 되도록 조정했다. 그러나 동일한 방법으로 만든 시료라 하더라도 공극률이 일정하지 않은 경우가 많아 각 시료를 10~20개 준비하여 전기비저항을 측정하였다. 측정결과로부터 전체 시료를 대상으로 공극률의 평균치를 구하고, 그 평균치에서 $\pm 2\%$ 이내의 자료만 채용하였다.

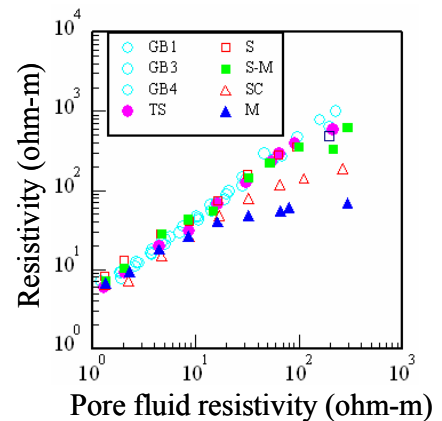


그림 4. 시료의 전기비저항과 간극수 전기비저항의 관계

거의 없는 (5%이하) 모래(TS, S, SM)의 경우는 시료의 전기비저항과 간극수의 전기비저항의 관계는 거의 선형적이며, 이들 시료의 전기비저항은 간극수의 전기비저항에 크게 의존하고 있음을 알 수 있다. 또 시료의 종류나 입자 크기에 따른 전기비저항의 차이는 거의 보이지 않는다. 이것과는 달리 세립분이 20% 이상 포함되어 있는 점토질 모래(SC)와 실트(M)의 경우는 간극수의 전기비저항이 높아짐에 따라 비선형적인 변화가 보이고 있으며 전기비저항의 증가 폭도 작아지고 있다.

glass beads와 세립분의 함량이 5% 이하인 시료의 전기비저항은 전술한 Archie의 경험식으로 설명할 수 있다. 즉 glass beads와 같은 시료는 구성물질이 거의 절연체이기 때문에 전기비저항은 간극수의 전기비저항과 공극률에 의해서 지배됨을 알 수 있다. 그러나 점토 등의 세립분이 포함되어 있는 시료의 전기전도는 간극수 자체의 이온전도 외에 미립의 점토입자와 간극수의 경계면에서 생기는 전기화학적인 표면전도에 의한 영향을 고려할 필요가 있다. 그림 5는 흙 시료의 전기비저항 측정치와 Archie 및 Patnode and Wyllie에 의한 경험식으로부터 구한 계산치를 비교한 것이다. glass beads의 경우에는 Archie의 경험식으로부터 구한 계산치가 측정치와 잘 일치하고 있으며, 점토질 모래에 대해서는 병렬 저항 모델에 의한 Patnode and Wyllie의 경험식으로부터 구한 계산치가 측정치와 잘 일치하고 있다.

3.2.3 함수비의 영향

불포화 흙의 전기비저항은 함수비에 의하여 크게 변화하기 때문에 시료의 전기비저항과 함수비의 관계는 중요하다. 흙 시료는 실트 및 점토질 모래 등 4종류를 이용하였다. 시료의 함수비는 충분한 양의 시료를 자연 건조시킨 후 물을 조금씩 가하면서 시료 전체가 동일한 함수비가 되도록 끌고루 섞은 다음 시료를 4등분하여 그 중 한 등분을 사용했다. 시료를 몰드 내에 넣고 동일한 방법으로 다짐을 하였으며, 전기비저항을 측정 한 후에는 시료의 일부를 함수비 측정용으로 사용했다. 나머지 시료는 사용하지 않은 3등분 시료와 섞어 전술한 방법과 같이 함수비를 조절하여 반복해서 사용하였다.

그림 6은 흙 시료의 함수비와 전기비저항의 관계를 나타낸다. 이 그림에 의하면 시료의 종류에 따라 전기비저항과 함수비의 변화 곡선이 다르게 나타난다. 이것은 동일한 함수비라 하더라도 시료에 따라 공극률과 공극수의 전기비저항이 다르기 때문으로 판단된다. 그러나 전체적으로 보면 함수비가 증가함에 따라 전기비저항은 크게 저하되고 있으며 함수비가 최적함수비(W_{opt})보다 높으면 시료의 전기비저항이 일정하게 유지되는 경향을 보이고 있다.

그림 7은 점토질 모래에 대해서 각각 다른 에너지(첨자 S는 Standard compaction energy, M은 Modified compaction energy, R은 Reduced compaction energy를 나타냄)로 다짐한 시료의 전기비저항과 포화도의 관계를 나타낸 것

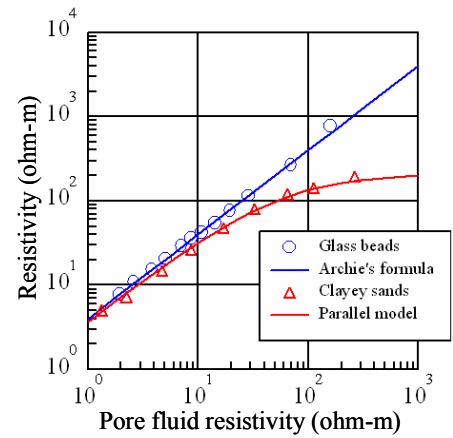


그림 5. 시료의 전기비저항 측정치와 계산치의 비교

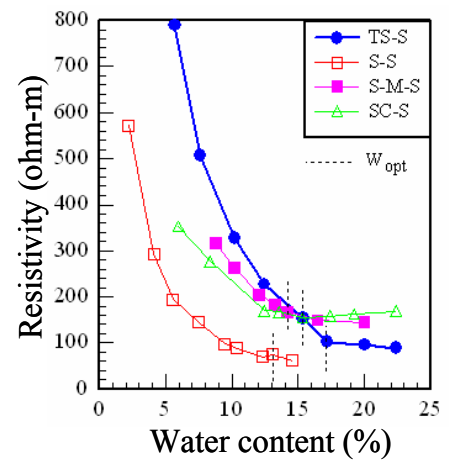


그림 6. 시료의 전기비저항과 포화도의 관계(첨자 S는 Standard compaction energy임)

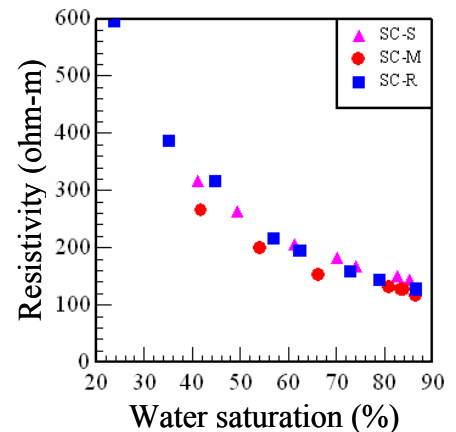


그림 7. 점토질 모래의 전기비저항과 포화도의 관계

이다. 시료의 포화도 $S_r(\%)$ 은 아래 (6)식에 의해서 구했다.

$$S_r = \frac{\rho_d w G_s}{\rho_w G_s - \rho_d} \quad (6)$$

여기서 ρ_d 는 흙의 밀도(g/cm^3), w 는 함수비(%), G_s 는 흙의 비중(g/cm^3), ρ_w 는 물의 밀도(g/cm^3)이다. 그림 7에 의하면 시료의 다짐 에너지가 다르지만 전체적으로 시료의 포화도가 증감함에 따라 전기비저항이 낮아지는 경향이 거의 동일하다. 또 시료의 포화도에 따른 전기비저항이 낮아지는 정도는 포화도가 높을수록 작아지는 경향이 있으며, 포화도가 78%(최적함수비의 평균치) 이상이 되면 포화도에 따른 전기비저항의 변화가 작아지는 것으로 나타난다.

Keller and Frishknecht (1966)에 의하면 불포화 흙의 전기비저항과 포화도의 관계식을 아래 (7)식으로 나타내고 있다.

$$R = S_w^{-e} R_{100} \quad (7)$$

여기서 e 는 실험정수이고, R_{100} 은 완전히 물에 의해서 포화된 흙의 전기비저항이다.

그림 8은 실트질 모래와 점토질 모래에 있어서 포화도와 전기비저항비(R/R_{100})의 관계를 나타낸 것이다. 전기비저항비는 (7)식으로부터 구한 포화된 시료의 전기비저항(R_{100})과 불포화 시료의 전기비저항의 비로서 표시한 것이다. 그림 중의 실선은 두 시료의 전기비저항 측정치로부터 구한 회귀선을 표시하고 있다. 이들 회귀선에 의하면 포화된 실트질 모래(SC)와 점토질 모래(SM)의 전기비저항은 각각 135 ohm-m와 108.9 ohm-m이고, 포화도가 낮은 영역에서는 시료에 따라 전기비저항이 다르지만 포화도가 증가함에 따라 전기비저항비는 시료에 관계없이 거의 일정하게 된다. 이러한 이유는 흙 시료의 전기비저항은 포화도가 높은 영역보다는 낮은 영역에서 더 큰 영향을 받고 있음을 의미한다.

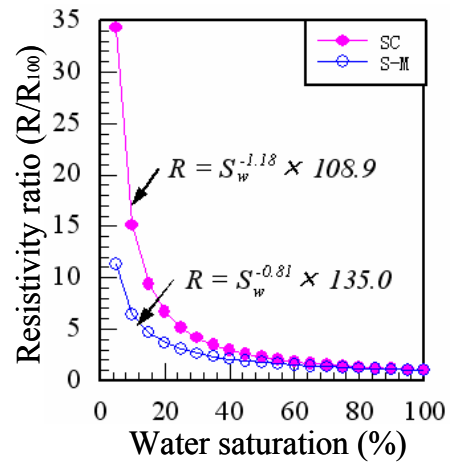


그림 8. 시료의 전기비저항비와 포화도의 관계

4 지반의 전기비저항 해석 사례

지반의 물성 가운데 전기비저항을 좌우하는 요인으로서는 포화도, 공극률, 간극수의 전기비저항, 세립분(점토)의 함유량 등을 들 수 있다. 물로 포화된 지층에서는 공극률과 간극수의 전기비저항이 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있으며, 불포화 지층에서는 함수비에 의해서 지반의 전기비저항이 크게 좌우되고 있음을 흙 시료의 전기비저항 측정 결과로부터 알 수 있다. 이러한 지반의 전기적 성질을 바탕으로 쓰레기 매립장에 전기비저항 탐사를 실시하고 그 해석 결과를 소개한다.

조사지는 매립이 종료된 비위생 쓰레기 매립지로 침출수에 의한 주변지역의 토양 및 지하수 오염상태를 조사하기 위하여 시추조사에 앞서 전기비저항탐사를 실시하였다. 전기비저항탐사 측선은 지표지질조사 및 지형 등을 고려하여 지하수의 유동이 예상되는 지역에 설치하였으며, 전극배열은 상대적으로 분해능이 높은 쌍극자 배열을 설정했다. 전극간격은 탐사심도를 고려해서 5m 간격으로 하고, 전위차를 측정하기 전에 접지저항 등을 체크하여 신뢰성 높은 측정 자료를 획득하였다.

그림 9는 탐사결과와 전기비저항 분포도를 나타내고 있으며, 측선의 A와 B는 각각 매립장 내부와 외부에서 탐사한 결과이다. 전체적으로 전기비저항은 2~10,000 ohm-m의 범위로 분포하고 있으며, 기반암과 지표부근의 불포화 지층은 전기비저항이 높고(적색 계열), 침출수의 영향을 받고 있는 지층은 전기비저항이 낮게(청색 계열) 나타나고 있다. 조사지의 침출수의 전기비저항은 0.9 ohm-m (25°C 온도로 보정한 값)로 해수와 거의 비슷한 전기전도도를 나타내고 있으며, 이 침출수에 의해서 지층이 포화되었을 경우 상기 (4)식에 의해서 지층의 전기비저항을 구하면 약 6 ohm-m 이다. 이 때 지층의 전기비저항 계수

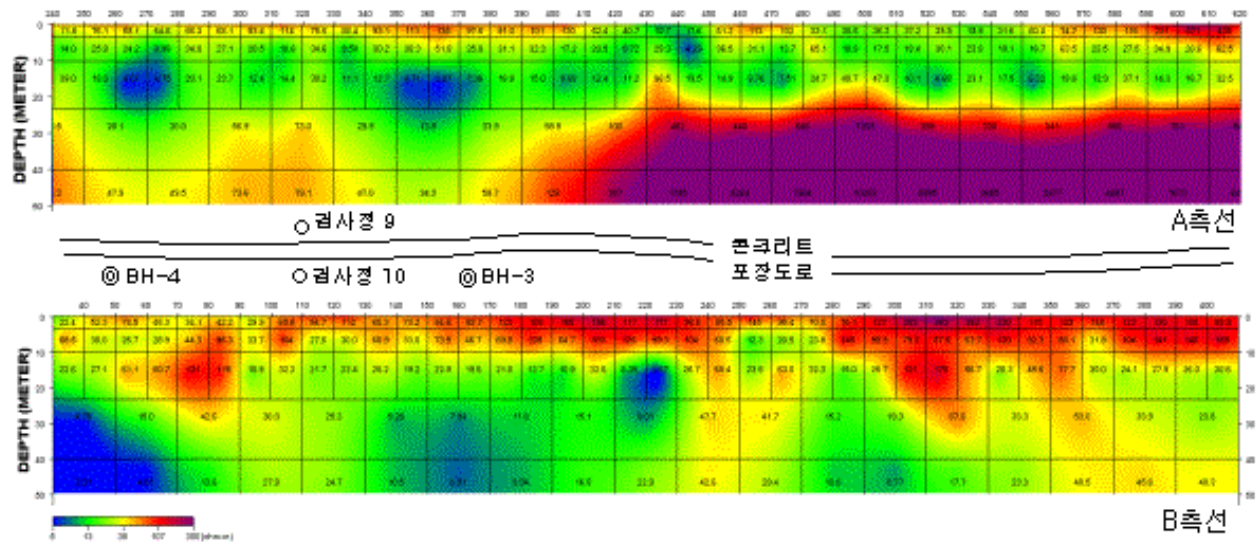


그림 9. 쓰레기 매립장 주변에서 실시한 전기비저항 탐사 결과

및 공극률은 일반 시험치를 사용했기 때문에 약간의 오차는 있을 것으로 생각되나 지층의 전기비저항이 10 ohm-m 이하의 저비저항대는 침출수의 영향을 받고 있을 것으로 판단된다. 따라서 A측선과 B측선에서 나타나는 10 ohm-m 이하의 저비저항대는 지질과쇄대 등을 따라 침출수가 유동되는 경로로 추정되며 이 지점에 시추조사(BH-3, 4공)를 실시하였다. 시추조사 결과에 의하면 상부는 자갈을 포함하고 있는 토사층이 분포하고 있으며, BH-4공의 경우 깊이 33m 까지는 core회수가 거의 불가능 할 정도로 심하게 풍화 파쇄되어 있다. 그 하부는 절리가 매우 발달되어 있고 깊이 43.5m 지점에서는 소규모 단층도 관찰되었다. 이러한 지질 파쇄대에 과거에 침출수가 유입되어 저비저항대를 형성하고 있는 것으로 판단되고 있으며, 침출수 이동경로의 가능성을 시사하고 있다. 그러나 조사당시 A측선과 B측선 사이에는 SGR공법에 의한 차수벽이 설치되어 있고, 검사정 9와 10에서 관측한 지하수의 전기비저항은 각각 3.3 ohm-m와 23.6 ohm-m (온도 25°C로 보정한 값)로 현저한 차이를 보이고 있다. 따라서 매립장 외부의 B측선에서 나타나는 저비저항대는 지반이 풍화파쇄대의 발달로 점토화되어 있고, 검사정 10에서 관측한 지하수의 전기비저항이 주변의 일반 지하수의 전기비저항(56.9 ohm-m)에 비해 낮게 나타나고 있어 이러한 요인이 복합적으로 기인한 것으로 판단된다.

5 토의 및 결과

흙의 전기비저항에 영향을 미치는 주 요인은 공극률, 포화도, 간극수의 전기비저항(전기전도도의 역수), 점토함유량 등이 있으며 그 외에도 입도조성, 성분 및 온도에 의하여 영향을 받고 있다. 이러한 요인들이 복합적으로 작용하여 흙의 전기비저항을 나타내기 때문에 어떤 요인이 어느 정도 영향을 미치고 있는지를 정량적으로 평가하기는 어려운 점이 있다. 그러나 어떤 일정한 조건하에서는 기존의 경험식(Archie, 1942; Patnode and Wyllie, 1950)을 이용하면 어느 정도 정량적 평가의 가능성도 있다.

예를 들어 포화된 흙의 전기비저항에 영향을 미치는 주 요인으로는 공극률, 간극수의 전기비저항 및 세립분의 함유량을 들 수 있다. 이들 요인 중에서 동일 지층의 경우 간극수의 전기비저항이 거의 일정하기 때문에 그림 3과 그림 4에 나타난 것과 같이 흙의 전기비저항은 공극률과 세립분의 함유량에 의해서 크게 좌우될 것이다. 흙의 공극률이 크면 체적함수율(공극률×포화도)이 높아져서 흙의 전기비저항을 저하시키는 역할을 한다. 또한 전도성을 가진 세립분의 함량이 많으면 많을수록 더욱더 흙의 전기비저항을 저하시키는 역할을 할 것이다. 한편, 쓰레기 매립장과 같이 침출수의 전기비저항이 일반 지하수의 전기비저항에 비해 상대적으로 아주 낮기 때문에 침출수에 의하여 포화되어 있는 지층은 전기비저항이

낮게 나타나게 될 것이고, 이로부터 침출수의 유동경로 등을 추정할 수 있을 것이다.

불포화된 흙의 전기비저항은 포화도에 의하여 크게 좌우된다는 것을 그림 6과 그림 7로부터 이해할 수 있다. Keller and Frisknecht (1966)의 경험식을 이용하면 불포화된 흙의 전기비저항으로부터 흙의 포화도를 평가할 수 있을 것이다. 그러나 그림 8에 나타난 것과 같이 흙의 포화도가 증가하면 전기비저항이 낮아지지만, 포화도에 의한 전기비저항의 변화폭은 작아짐에 주의할 필요가 있다.

본 연구에서는 여러 가지 흙 시료의 물성을 변화시키면서 전기비저항을 측정하여 그 결과로부터 흙의 물성과 전기비저항의 관계를 밝혔다. 그 결과를 요약하여 정리하면 표 2와 같다.

표 2. 흙의 전기비저항에 영향을 미치는 물성 요인

Influencing factors		Influencing degree		Soil conditions
		Low resistivity	----- High resistivity	
Porosity	Saturated condition	Large	----- Small	Grain size and sorting
	Unsaturated condition	Small	----- Large	
Pore fluid resistivity (Resistivity of groundwater)		Low	----- High	Components of groundwater
Water saturation		Large	----- Small	Groundwater table
Water content by volume (Porosity and water saturation)		Large	----- Small	Grain size and sorting
Clay content		Much	----- Little	Grain size

참고문헌

1. 박삼규, 김희준(1999), “일본에서의 토목·건설 지반조사를 위한 물리탐사의 활용 현황”, 한국물리탐사학회, 제2회 학술발표회, pp.1~20.
2. 박삼규, 박용기, 김을영, 최보규, 이병호(2003), “비위생 매립장의 침출수 유동경로 탐지를 위한 물리탐사의 적용성”, 한국지하수토양환경학회, 2003년 춘계학술발표회, pp.180~183.
3. 박삼규, 송성호, 최종학, 최보규, 이병호(2002), “수리시설물의 누수탐지를 위한 물리탐사의 적용성”, 한국물리탐사학회, 제4회 특별 심포지움, pp.179~195.
4. 송운호, 박삼규, 설순지, 조성준, 정승환(2001), “물리탐사를 이용한 국내 유류오염지역의 조사 사례”, 한국물리탐사학회, 제3회 특별 심포지움, pp.122~140.
5. 이철효, 박삼규(2001), “매립지 오염 평가를 위한 물리탐사의 적용 사례”, 한국물리탐사학회, 제3회 특별 심포지움, pp.104~121.
6. Archie, G.E. (1942), “The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristic”, Trans, A.I.H.E., Vol. 146, pp.54~67.
7. Keller, G. and Frischknecht, F. (1966), *Electrical method in geophysical prospecting*, Pergamon Press, New York, pp.28.
8. Klein, D.J. and Sill, W.R. (1982), “Electrical properties of artificial clay-bearing sandstones”, Geophysics, Vol. 47, pp.1593~1601.
9. Park, S.G. and Matsui, T. (1998), “Basic study on resistivity of rocks”, Butsuri-Tansa, Vol.51, No.3, pp.201~209. (in Japanese)
10. Park, S.G., Fujiwara, H., Park, M.K., Matsui, T. (1999), “Fundamental study on resistivity of soils”, Butsuri-Tansa, Vol.52, No.4, pp.299~306. (in Japanese)
11. Patnode, G.E. and Wyllie, M.R.J. (1950), “The presence of conductive solids in reservoir rocks as a factor in electric log interpretation”, Trans, A.I.M.E., Vol. 189, pp.47~52.