

비저항 모니터링에 의한 토양의 투수성 평가

박삼규^{1)*} · 김재곤²⁾ · 김정호¹⁾

1. 서 론

국내의 환경오염원은 주로 비위생 쓰레기 매립지, 산업 폐기물 처분장 및 유류저장 시설 등에서 유발되고 있으며, 장기간에 걸쳐 오염상태가 방치되고 있어서 정확한 오염원과 오염물질의 이동경로를 밝히는데 어려움이 있다. 또한 오염물질이 지하수를 따라 멀리 이동하거나 강우 등에 의해 토양층에서 확산되고 있기 때문에 지하수 분포와 토양특성에 따라 오염물질의 거동특성이 달라지고 있다. 그래서 토양 중 오염물질의 거동은 토양의 물리적 성질, 토양성분간의 상호작용 등의 물리 화학적 특징에 의해 결정되어 진다. 일반적으로 토양의 지표층인 상부는 유기물이 축적된 층으로서 몇 cm~몇 m정도의 깊이를 가지며, 그 바로 밑에는 해빙기나 비가 많이 오는 짧은 기간을 제외하고는 물과 공기가 포화되지 않은 상태로 있다. 이러한 불포화 토양 내에서 오염물질의 침투 이동은 토양을 구성하고 있는 다공질 매질의 유효공극률에 매우 큰 영향을 받으며, 투수성과 밀접한 관계가 있다.

이 연구는 토양의 투수성을 평가하기 위하여 실내에서 여러 가지 흙을 대상으로 투수계수와 비저항을 동시에 측정하여 토양특성에 따른 투수성과 비저항의 관계를 밝히고, 이를 바탕으로 현장에서 색소용액을 주입하면서 비저항 모니터링을 실시하여 시간경과에 따른 비저항의 변화비를 산출하여 토양의 투수성을 평가한 사례를 소개하고자 한다.

2. 토양의 투수성과 비저항의 관계

실험 장치는 그림 1과 같이 투수시험기의 원통 양단에 전류전극과 안쪽에 전위전극을 붙여 흙 시료의 투수계수와 비저항을 동시에 측정할 수 있도록 제작했다. 투수원통의 크기는 내경이 10 cm, 높이가 15 cm이고, 변수위 투수시험법을 이용했다. 비저항 측정에 있어서는 시료의 양단에 전류를 흘려보내고, 원통 내부에 설치되어 있는 전극을 통해서 전위차를 측정하여 전류와 전위차로부터 비저항을 산출하였다. 전류전극은 투수원통의 양단에 80 mesh의 구리망을 사용했으며, 투수원통 안쪽에 직경 1 mm의 구리선을 고정시켜 전위전극으로 사용했다. 흙 시료의 비저항은 투수시험이 끝날 때까지 계속 측정하여 그 평균치를 시료의 비저항으로 정했다. 시료의 비저항은 투수원통의 단면에 축 방향으로 평행한 전류가 흘렀을 때의 전위차를 측정해, (1)식으로부터 비저항을 산출했다.

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

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.

주요어 : 투수계수, 토양, 비저항 모니터링

1) 한국지질자원연구원 지반안전연구부 (samgyu@kigam.re.kr)

2) 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 (jgkim@kigam.re.kr)

표 1 비저항 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 04	0.35~0.50	-	-	-	-	2.50
GB2	Glass beads 06	0.50~0.71	-	-	-	-	2.50
GB3	Glass beads 08	0.71~0.99	-	-	-	-	2.50
TS	Standard sands	0.10~0.42	0.00	100.0	0.00	0.00	2.64
SM	Silty sands	0.005~4.75	24.50	73.60	1.62	0.28	2.71
PFD	Pyroclastic flow deposit	0.005~4.7	7.40	86.07	5.80	0.60	2.60

투수시험 및 비저항 측정에 사용한 흙 시료는 표 1에 표시한 것과 같이 입자의 크기가 다른 glass beads 3 종류, 표준사, 실트질 모래, 화산쇄설성 퇴적물로 모두 6 종류를 사용했다. 실험에 사용한 시료는 다짐 에너지에 의해 간극비를 조정하고, 포화도를 높이기 위해서 물을 채운 데시케이터에 투수원통을 집어넣어 진공 펌프로 기포가 나오지 않게 될 때까지 감압 흡수하여 시료를 강제 포화시켰다.

흙 시료의 투수계수와 비저항 측정 결과를 기준 온도 25℃로 보정했다. 또, 비저항 측정치는 간극수의 비저항에 의해 흙 시료의 비저항이 다르기 때문에 다음의 Archie (1942)의 경험식을 도입해 지층 비저항 계수(F)를 구했다.

$$F = \frac{R_s}{R_w} \quad (2)$$

여기서, R_s 는 흙의 비저항(ohm-m), R_w 는 간극수의 비저항(ohm-m)이다. 그림 2는 흙 시료의 투수계수와 지층 비저항 계수의 관계를 나타낸다. 이 그림에 의하면 시료에 의해 투수계수와 지층 비저항 계수가 다른 경향을 나타낸다. Glass beads와 세립분이 대부분 포함되지 않은 표준사는 지층 비저항 계수가 증가함에 따라 투수계수가 감소하는데 비하여, 세립분을 포함하고 있는 실트질 모래와 화산쇄설성 퇴적물은 지층 비저항 계수가 증가함에 따라 투수계수도 비례하여 증가하고 있어 세립분이 포함되지 않은 시료와는 다른 경향을 보여 주고 있다. 이것은 시료에 포함되어 있는 실트나 점토의 세립분에 원인이 있다고 생각된다. 즉, 세립분의 존재는 투수계수를 저하 시키는 작용을 하며 동시에 지층 비저항 계수를 저하시키는 요인이 된다. 이 실험 결과로부터 실트질 모래와 화산쇄설성 퇴적물에 있어서의 투수계수와 지층 비저항 계수의 상관관계가 각각 0.93과 0.79로 높은 상관성을 얻을 수 있었으며, 지반의 비저항으로부터 투수성을 평가할 수 있을 것으로 생각된다.

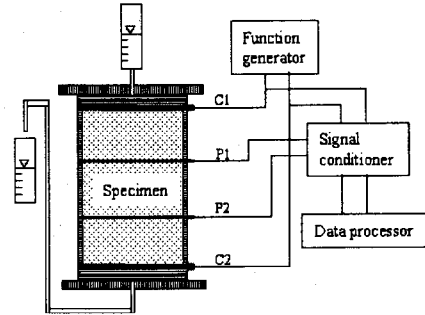


그림 1. 투수시험 및 비저항 측정 시스템 모식도. C, P는 각각 전류 전극과 전위전극임.

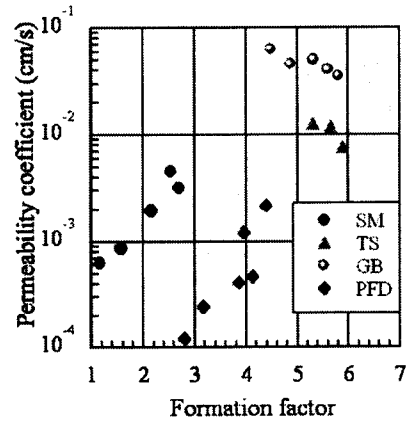


그림 2. 흙 시료의 투수계수와 지층비저항계수의 관계.



그림 3. Dye trace test를 위한 아크릴 박스.

3. 비저항 모니터링에 의한 투수성 평가

현장 실험장은 화강암의 풍화도가 분포하는 지역을 선정하였다. 지표부의 부식토를 제거하고 2.0×2.0 m의 크기로 평탄하게 조성한 후 dye trace test를 위해서 그림 3과 같이 아크릴 재료를 사용하여 1.0×1.0×0.3 m 크기의 4면체 박스를 만들어 지면 위에 설치했다. 토양 표면에 주입할 용액은 수돗물 1ℓ에 청색 1호 식용색소 5g을 용해시켜 총 300ℓ를 만들었으며, 색소용액을 100ℓ씩 3회 주입했다. 비저항 토모그래피탐사는 색소용액 100ℓ씩 주입한 직후에 각 3회를 실시하였으며, 최후 주입 후 상당한 시간차를 두고 1회 비저항 모니터링을 실시하였다.

그림 4는 색소용액을 100ℓ씩 3회 주입한 직후와 최후 주입 후 10.65 시간이 경과한 다음 실시한 비저항 모니터링결과와 착색된 토양 단면을 비교한 것이다. 색소용액을 100ℓ 주입한 직후에 탐사한 결과로 색소용액을 주입한 구간에 100 ohm-m 이하의 낮은 전기비저항을 나타내고 있으며, 용액의 주입량이 많아짐에 따라 저비저항 영역이 더욱 확장되어 가는 경향을 알 수 있다. 이러한 색소용액에 의한 저비저항 영역은 트렌치 조사결과와 토양단면에서 dye trace에 의해 착색된 부분이 서로 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

그림 5는 4회 실시한 비저항 모니터링 결과로부터 산출한 비저항 변화비를 나타내고 있다. 이 비저항 변화비는 색소용액 주입에 따른 비저항 모니터링 결과를 단순히 나눈 것으로 1보다 작은 값은 전 단계보다 후에 실시한 비저항 모니터링 값이 낮아진 것을 의미하며, 반대로 1보다 큰 값은 전 단계보다 후의 것이 비저항이 높아졌음을 의미한다. 이러한 비저항 변화비의 양상은 토양에서 용액의 이동 양상, 즉 투수성을 나타내고 있으며, 그림 5로부터 지표면의 Matrix flow가 진행되는 과정을 해석 할 수 있다.

4. 앞으로의 과제

토양에서 용액이 지표로부터 침투되어 갈 때 시간에 따라 비저항을 모니터링하면, 그 변화비의 크기를 산출할 수 있을 것이다. 앞으로 실내실험과 현장실험을 통해서 경과시간에 따른 비저항 변화비를 이용하여 토양 내의 투수성을 정량적으로 평가하기 위한 기법을 개발하고자 한다.

참고논문

Archie, G.E. (1942) : The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics, *Trans, A.I.H.E.*, 146, pp.54-67.

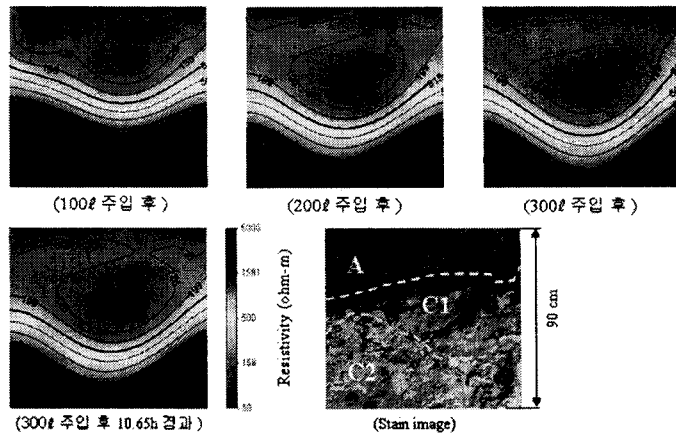


그림 4. 색소용액 주입에 따른 비저항 토모그래피탐사 결과와 착색된 토양단면의 비교.

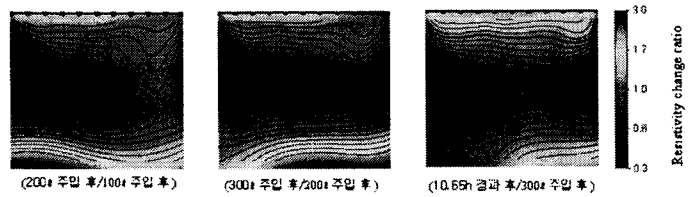


그림 5. 4회 실시한 비저항 모니터링 결과로부터 산출한 비저항 변화비.