

자연전위의 효율적 측정을 위한 전극의 잡음요소 분석

송성호* · 권병두**

*농업기반공사 농어촌연구원 · **서울대학교 지구과학교육과

요 약

자연전위에 대한 환경 잡음요소로 기온, 강수, 토양수분함량 및 지중 온도 등을 분석하기 위하여 별도로 제작된 시험포장에서 Cu-CuSO₄ 비분극전극과 구리를 입힌 금속전극(CCE)에 대한 장기 모니터링 실험을 실시하였다. 온도 영향에 대한 실험 결과 Cu-CuSO₄ 비분극전극의 상부를 대기에 노출시킨 경우는 기존의 연구결과인 +0.5 mV/°F의 온도계수가 적용될 수 있지만, 15 cm 깊이의 지중온도 변화가 대기온도 변화에 대하여 약 8~11 시간의 지연효과가 나타남에 따라, 땅 속에 묻어 설치한 경우는 0.5 mV/°C 이하의 미약한 영향이 나타나는 것으로 밝혀졌다. CCE의 경우는 땅속에 묻어 설치하였을 때에는 대기온도와 무관하지만, 전극이 직사광선에 노출된 경우는 약 1 mV/°C 정도의 온도 편차가 있는 것으로 나타났다. 토양수분함량 변화 영향에 대한 실험에 의하면 Cu-CuSO₄ 비분극전극을 땅 속에 묻어 설치한 경우 토양수분함량 변화가 그대로 반영됨에 따라, 1~2 mV의 미약한 편차는 주로 토양수분함량 변화에 의한 것임이 밝혀졌다. CCE의 경우는 전체적으로 토양수분함량 변화와 유사한 주기를 가지며 약 5% 이내의 일변화에 대하여 금속전극 대부분에서 약 5 mV 내외의 변화가 나타났으며, 강수기간 동안에는 금속전극의 표면에서 발생하는 흐름전위의 영향이 나타남에 따라 토양수분함량의 영향이 상대적으로 크게 작용함을 확인하였다.

주요어: 환경 잡음요소, Cu-CuSO₄ 비분극전극, 구리를 입힌 금속전극, 온도계수, 토양수분함량, 흐름전위

Sung-Ho Song and Byung-Doo Kwon, 2002, Analysis of Environmental Noises on the Electrodes for Self-potential Measurement. Journal of the Korean Geophysical Society, v. 5, n. 1, p. 9-18

ABSTRACT: We performed a long-term monitoring of self-potential(SP) using the Cu-CuSO₄ non-polarizable electrode and copper-clad electrodes(CCE) in a test site in order to analyze the effects of surrounding environmental noises such as temperature, rainfall and soil moisture content on the electrodes. Analysis of the temperature dependence of the non-polarizable electrodes showed that its temperature coefficient was about +0.5 mV/°F when its end was exposed to atmosphere while it was less than +0.5 mV/°C when submerged into the subsurface, which reflects that there exists an 8 to 11 hour lag between temperatures at the depth of 15 cm and atmosphere. CCE was independent of atmospheric temperature in subsurface but showed temperature coefficient of 1.0 mV/°C when exposed to atmosphere. Drifts of 1 to 2 mV recorded with the non-polarizable electrode directly related to the soil moisture content when it was buried in subsurface. Drift with CCE also showed similar trend to the soil moisture content, and 5 mV drift was recorded according to 5% of daily variation. The soil moisture content had strong effects on the measurement with CCE in rainfall since the flow potential is generated on the surface of the electrode.

Key words: environmental noise, Cu-CuSO₄ non-polarizable electrodes, copper-clad electrodes, temperature coefficient, soil moisture content, flow potential

(Sung-Ho Song, Rural Research Institute, KARICO, Ansan 425-170, Korea(e-mail: shsong@karico.co.kr), Byung-Doo Kwon, Department of Earth Science Education, Seoul National University)

1. 서 론

자연전위(self-potential; SP)법은 다른 물리탐

사법에 비해 지형의 영향이 상대적으로 적고, 탐사기기나 야외 측정 방법이 간단하기 때문에 현장에서 경제적인 탐사를 수행할 수 있으며, 반복

적인 탐사나 장기간에 걸쳐 실시하는 모니터링 측면에서도 매우 효율적이다. 일반적으로 자연전위의 발생은 전기화학적 효과, 열전기적 효과 및 전기역학적 효과 등 다양한 기구에 의해 설명이 가능하지만(Fitterman, 1979a,b; Sato · Mooney, 1960; Corry, 1985; Sill, 1983; Corwin · Butler, 1989), 지질공학적인 경우는 지하수 흐름에 의해 발생되는 유동전위(streaming potential)가 다른 요인에 비하여 상대적으로 크기 때문에 유동전위를 이용한 해석이 가능한 것으로 알려져 있다(Corwin · Butler, 1989).

그러나 자연전위법은 신호대 잡음 비가 매우 낮아 정밀한 자료획득 과정이 필요하므로, 현장탐사시 고주파의 잡음을 차단하고 장기 모니터링이 가능한 측정장치와 전극과 대지간의 결합에 의해 발생하는 잡음의 영향을 최소화하기 위하여 온도, 강수 및 토양수분함량 등(Petiau · Dupis, 1980; Perrier *et al.*, 1997)의 환경잡음 요소에 대한 분석이 필수적이다.

이 연구에서는 현장에서 측정되는 자연전위에서의 잡음 요소를 평가하기 위하여 별도로 제작된 시험장치를 이용한 장기간의 모니터링을 실시하였고, 얻어진 자료를 이용하여 각 환경잡음 요소들을 종합적으로 분석하였다.

2. 자연전위

일반적으로 다공질 매질을 통한 유체의 흐름은 전위를 발생시키는데, 이러한 전위를 유동전위 또는 자연전위라 하며, 자연전위법이란 이러한 자연적으로 발생하는 전위를 측정하여 지하광체나 지하수 유동 등을 탐사하는 방법을 말한다. 자연전위의 크기는 전기비저항, 유전상수, 유체의 점도, 유체와 매질간의 결합계수 등과 관련이 있다.

자연전위는 지층 내 전해질의 유동에 의한 전기역학적 전위, 이동성이 서로 다른 전해질의 접촉에 의한 확산전위, 세일의 반투막 작용 및 광화작용에 의한 광화전위 등으로 구분되며, 일반적으로는 전기역학적 또는 전기화학적 현상에 의한 배경전위와 광화작용에 의한 광화전위로 나뉜다. 배경전위는 보통 수 십 mV 정도의 양(+) 또

는 음(-)의 값을 가지나, 광화전위의 경우는 수 백 mV 정도로 상대적으로 큰 값이 나타난다. 또한 지형경사가 매우 급한 지역의 기반암 비저항 값이 수 만 ohm-m 이상인 경우 수 천 mV 정도의 매우 큰 자연전위값이 보고된 바 있다(Vagshal · Belyaev, 2001).

자연전위의 발생 기구 중 전기역학적 효과와 열전기적 효과에 대한 발생 기구에 대하여는 지속적으로 연구가 진행되고 있으며(Fitterman, 1979a,b; Corwin · Butler, 1989), 전기화학적 효과에 의한 자연전위 발생 기구에 대해서는 광화대 탐사의 자료해석과 관련된 일부 원인이 밝혀져 있다(Sato · Mooney, 1960; Corry, 1985). 열전기적 효과는 지층 내에 온도구배가 존재하는 경우에 상응하는 전위구배가 존재하는 일명 Soret 효과가 발생하는데, 이는 공극 내 전해질의 이온과 암석 matrix속의 전자가 서로 다른 열적 확산을 발생시키기 때문에 생기는 현상으로 알려져 있다(Sill, 1983; Corwin · Butler, 1989).

종래에는 자연전위 측정 자료를 주로 정성적으로 해석하여 왔지만, 1980년대부터 열전기적 효과 또는 전기역학적 효과의 일종인 유동전위 모형에 의거하여 이론적인 수치계산이 시도되고 이러한 결과들에 대한 해석이 실제 현장에서 응용되고 있는 추세이다(Fitterman, 1983; Sill, 1983).

국내에서는 전기역학적 자연전위를 발생시키는 단층의 파쇄대나 대수층을 대상으로 적용한 탐사와 각종 양수시험 및 저수지 제당 및 방조제의 누수 부위 탐사에 적용된 사례 등이 있다(정현기 등, 1989; 조진동 등, 1990; 1996; 권병두 등, 1993; 송성호 등, 2000a,b; 2001).

3. 각 전극에 대한 현장 잡음요소 분석

자연전위 측정에 사용되는 장치는 크게 측정부분과 전극부분으로 나뉘어 진다. 종래의 자연전위 측정은 기존의 탐사기나 임피던스가 큰 디지털 멀티미터를 이용하여 측정하였으나, 반복 측정방식을 이용한 모니터링의 경우는 측정에 소요되는 시간이 길어지는 단점이 나타난다. 따라서 정현기 등(1989)은 동일한 측정 방법으로 동시적

으로 계속할 수 있는 측정장치 개발을 통해 모니터링 작업의 경우에 자료의 정밀성을 높여주며, 신속한 자료처리도 병행할 수 있는 장점이 있다고 보고하였는데, 이에 따라 이 연구에서는 제어 장치와 출력 신호처리 등으로 구성된 다중채널 자연전위 자동측정 장치를 제작, 이용하였다.

3.1. 잡음(noise) 요소

한 쌍의 전극에서 측정되는 전위차는 전극을 구성하는 다공질 용기, 전해질 액, 전선 이외에 전극이 위치한 토양의 성질 등에 의한 영향을 받는데, 이러한 전위차 중에 포함된 잡음을 신호로부터 제거하는 일은 매우 중요하다. 특히 자연전위법은 기존의 물리탐사법 중 신호대 잡음 비가 매우 낮은 방법으로, 잡음 요소의 제거는 필수적이다.

자연전위는 측정하고자 하는 대상에서 발생하는 전위와 다양한 형태의 환경적인 잡음이 복합적으로 나타나므로 장기간의 자연전위 모니터링을 위한 전극 형태의 선택은 매우 중요하다. 자연전위 측정을 위한 다양한 연구결과는 다른 형태의 전극에 비해 비분극전극 형태가 상대적으로 유용한 것으로 알려져 있다(Petiau · Dupis, 1980). 그러나 최근 장기간의 전극쌍에 대한 연구결과로부터 비분극전극 제작에 대한 정량적인 방법을 제시하고 있지만 전기화학적 원인을 정확하게 규명하지는 못하고 있다(Perrier *et al.*, 1997).

Petiau · Dupis(1980)는 장기관측 자료를 이용하여 여러 가지 형태의 비분극전극들에 대하여 잡음 스펙트럼, 온도계수, 시간 경과에 따른 안정성 등에 대한 연구결과를 제시하였고, 이러한 결과를 기초로 Ag-AgCl 비분극전극이 가장 안정적이지만 현장 적용에 적합한 전극으로는 Pb-PbCl₂ 비분극전극을 제안하였다. Perrier *et al.*(1997)은 프랑스의 Garchy 지방에서 1 년 동안 서로 다른 50 여개의 전극쌍을 대상으로 강수, 토양수분함량, 지전류의 일변화 등 다양한 형태의 잡음요소에 대한 전극의 안정성을 실험하였다. 이 결과 현장 적용에 적합한 비분극전극으로는 젓은 토양의 경우 0.5 mV/월, 건조토양의 경우 0.2 mV/월 정도의 편차 내에 해당될 수 있는 전극을 사용하여야 한다고 제시하였다.

한편 Corwin · Butler(1989)는 세가지 형태의 전극을 대상으로 1 년 동안 현장 및 실험실 내에서 각종 실험을 실시한 결과 Cu-CuSO₄ 비분극전극이 납 전극과 구리를 입힌 금속전극(copper-clad electrode; CCE)에 비해 짧은 시간 내에 안정화되며, 장기간에 걸쳐 안정된 전위값을 유지하는 것으로 보고하였다. 그러나 비분극전극의 경우 안정된 측정값을 보여주는데 비하여 전해액 보충 등의 추가작업이 소요되므로, CCE의 경우 잡음요소가 크다는 단점에도 불구하고 약 3~6 개월 동안의 장기간 안정화 기간을 거치는 경우 현장적용이 가능한 것으로 제시하였다.

3.2. 현장잡음요소 측정

환경에 의한 잡음 요소인 기온, 강수, 토양수분 함량 및 지중온도 등을 장기간 측정하고 분석하기 위하여, Fig. 1과 같이 12×26 m² 면적의 시험포장을 제작하여 Cu-CuSO₄ 비분극전극과 CCE를 매설하였다.

이 실험에서 기온, 강수 등의 기상요소는 시험포장에 설치된 자동기상관측 시스템(AWS)을 이용하여 측정하였으며, 전극과 토양의 접촉전위 영향을 검토하기 위하여 토양수분함량 측정을 위한 TDR(time domain reflectometry) 장비와 토양온도 측정을 위한 지중온도계를 10 m 거리에 심도별로 각각 설치하여 동일 장소에 매설한 각 전극들에서의 측정값과 상호 비교하였다. 이때 이용된 TDR 장비는 미국 Automata사의 AQUATEL-TDR로, 지표면에 노출된 부분은 태양으로부터의 직사광선을 차단하기 위하여 별도의 차광 장치를 설치하였다.

Fig. 2는 시험포의 토양 특성을 파악하기 위하여 토양시료 채취용 오거를 이용하여 격자망으로 채취한 시료에 대한 입도분포 곡선이다. 채취된 토양시료는 입경이 0.074 mm 이하로 KS F 2302 방법으로 비중계분석을 실시하였다. 그 결과 Fetter (1994)가 제시한 균등계수(uniformity coefficient; $C_u = d_{60}/d_{10}$)는 391.9로서 입도분포는 양호하지만 분급이 불량한 퇴적물로 분류되며, 유효입자 크기 (d_{10})가 0.0059 mm인 fine silt에 속한다. 토양의 입도 조성은 모래 74.1%, 실트 15.7%, 점토 10.2%로

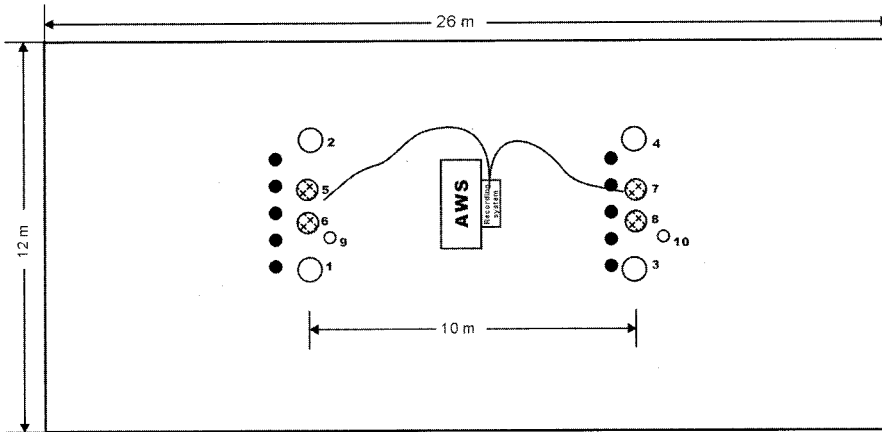


Fig. 1. Schematic diagram of experimental systems to measure electrodes stability. 1. TDR system ch1 (depth: 23 ~46 cm), 2. TDR system ch2 (depth: 0 ~23 cm) 3. TDR system ch3 (depth: 23 ~46 cm), 4. TDR system ch4 (depth: 0 ~23 cm) 5. Cu-CuSO₄ electrode P₁ (depth: 20 cm), 6. Cu-CuSO₄ electrode P₁ (depth: 10 cm) 7. Cu-CuSO₄ electrode P₂ (depth: 20 cm), 8. Cu-CuSO₄ electrode P₂ (depth: 10 cm) 9. Buried thermometer (depth: 15 cm), 10. Buried thermometer (depth: 15 cm) AWS: Automatic Weather System, closed circles : copper-clad electrodes.

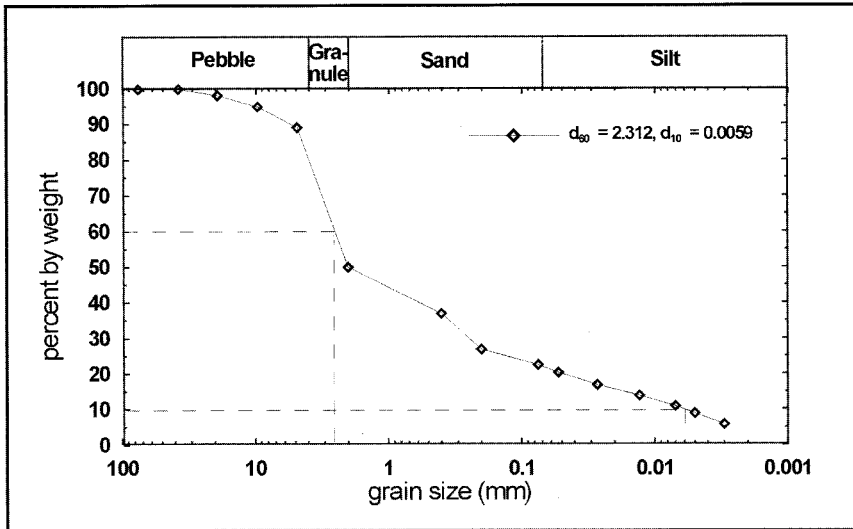


Fig. 2. Grain size distribution curve for soil of experimental station using hydrometer analysis. Effective grain size (d_{10}) is 0.0059 which belongs to fine silt.

통일흙분류(unified soil classification system)에 의하면 SM에 해당된다(U.S. Department of the Interior, 1974).

3.2.1 온도 효과

비분극전극에 대한 온도 효과는 다양한 해석적

인 방법으로 유도될 수 있는데(Ives · Janz, 1961), Morrison *et al.*(1979)은 실험실 조건 하에서 Cu-CuSO₄ 비분극전극에 대한 온도계수를 평균 약 +0.5 mV/°F로 보고하였다. 이러한 온도계수는 전극 주변 토양의 온도 영향 보다 비분극전극 내의 금속성분에 의한 영향이 커서 비분극전극

내의 금속봉의 가열에 의한 자연전위 변화와 토양의 온도 사이에는 약간의 시간 지연이 나타난다는 사실이 밝혀졌다. Corwin · Butler (1989)는 실험실에서 구리를 입힌 금속전극 한쌍을 대상으로 전극 하나를 가열하면서 두 전극의 온도차를 이용한 자연전위를 측정된 결과 평균 약 +1 mV/°F의 온도계수를 산출하였는데, 이는 비분극전극에 비해 약 2 배 정도 높은 결과이다. 한편 Petiau · Dupis(1980)는 장기관측 자료를 기초로 Pb-PbCl₂ 비분극전극을 사용한 경우 약 40 μV/°C의 매우 낮은 온도 계수와 약 1 mV/월의 장기간의 안정성을 제시하였고, 10 Hz 이하의 주파수 대역에 대한 매우 높은 적용성을 밝혔다.

Fig. 3과 Fig. 4는 대기온도와 15 cm 깊이의 지중 온도 변화를 심도별 자연전위와 비교한 결과이다. 30 일 동안의 지중 온도변화는 대기온도 변화에 대하여 약 8~11 시간 정도의 지연효과가 나타났으며, 대기온도가 약 15°C 이상으로 올라간 경우는 T9 지점의 온도가 T10 지점에 비하여 일변화가 약 3~4 배 정도 크게 나타났다.

Fig. 3은 지하 10 cm 깊이에 설치한 비분극전극의 전위 변화를 나타낸 결과로 전체적으로 2

mV의 일변화를 보여주며, 전위변화가 대기온도 변화와 거의 일치되게 나타났다. 이는 대기에 노출된 전극 상부를 통한 대기 온도의 전도 효과로 판단된다. Fig. 4는 지하 20 cm 깊이에 설치한 비분극전극의 전위 변화로 전체적으로 1 mV 이하의 미약한 변화를 보여주며, 지중온도 변화에 약 8~11 시간의 지연을 보이고 있다. 이러한 결과는 전극이 대기에 노출된 경우 Morrison *et al.*(1979)이 제시한 약 +0.5 mV/°F의 온도계수가 적용될 수 있지만, 이번 실험에서와 같이 지표하에 설치한 경우는 실험기간 동안에 측정된 2 mV 이하의 자연전위 변화 중 약 0.5 mV 이하의 미약한 영향만이 일정한 시간지연을 반영하는 것으로 판단된다.

Fig. 5는 CCE에 대한 온도 영향의 분석 결과로 전체적으로 대기 온도와 무관한 변화 양상이 나타나지만, 직사광선에 노출된 전극의 경우는 -5 ~ +15°C의 대기 온도 변화 중 약 10°C 변화에 따라 10 mV 정도의 온도 편차가 있는 것으로 나타났다. 그러나 직사광선을 차단하여 땅속에 묻어 설치한 경우는 강수 기간을 제외하고는 온도와 무관한 결과가 나타났다.

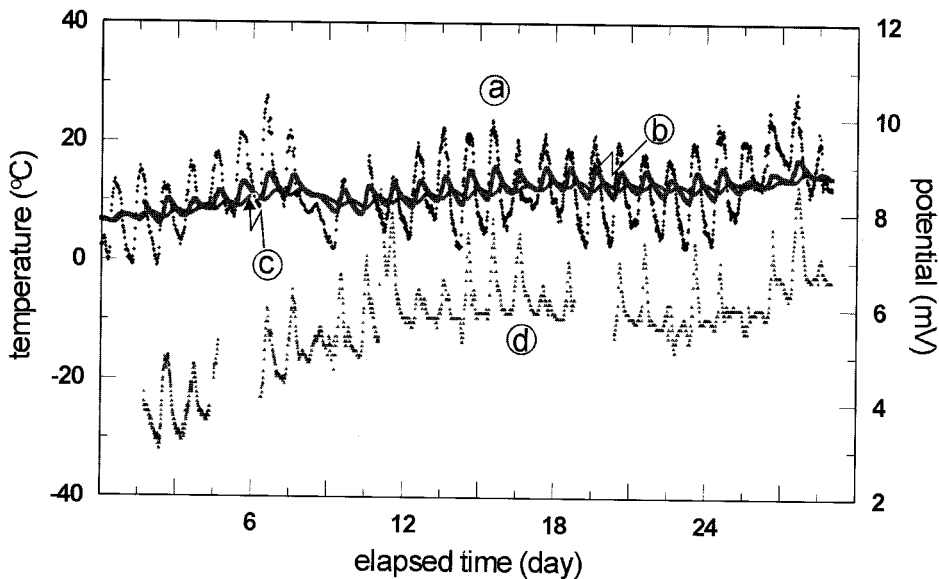


Fig. 3. Comparative diagrams during thirty days between temperature at depth of 15 cm and self-potential at depth of 10 cm. Period of SP at 10 cm in depth coincide with that of atmospheric temperature. (a) atmospheric temperature, (b) temperature at T9, (c) temperature at T10, (d) SP at 10 cm in depth.

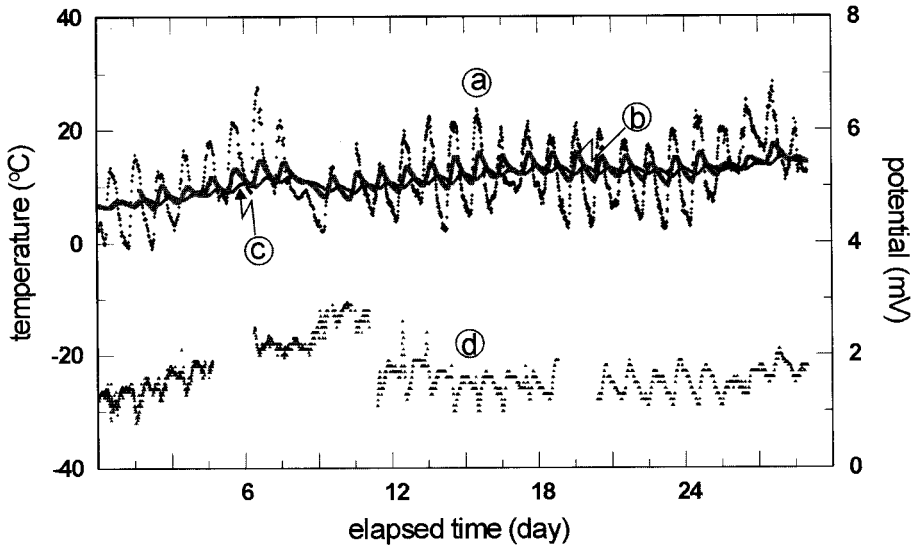


Fig. 4. Comparative diagrams during thirty days between temperature at depth of 15 cm and self-potential at depth of 20 cm. Period of SP at 20 cm in depth is independent of the variation of atmospheric temperature and coincide with time lag of about 8-11 hour. (a) atmospheric temperature, (b) temperature at T9, (c) temperature at T10, (d) SP at 20 cm in depth.

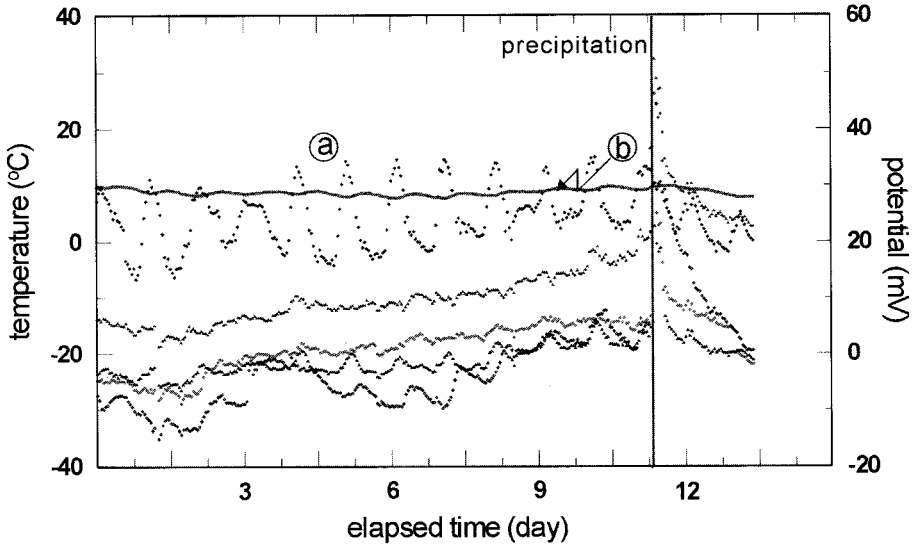


Fig. 5. Comparative diagrams during fourteen days between temperature at depth of 15 cm and self-potential of CCEs. Period of SP of CCEs are independent of the variation of atmospheric temperature. (a) atmospheric temperature, (b) temperature at T9. The rest curves are SP variation of CCEs.

3.2.2 토양수분함량 효과

Morrison *et al.*(1978; 1979)은 비분극전극을 이용한 자연전위 측정의 경우 가장 크게 영향을 미치는 요소가 전극 주변의 토양수분함량이며,

이는 토양수분함량 1% 증가에 따라 전위는 평균 약 +1 mV 정도 증가되고, 건조 토양에 설치된 전극에 비하여 습윤한 토양에 설치된 전극이 상대적으로 양의 값을 가진다고 밝혔다.

이 연구에서는 시험포장에 설치된 비분극전극 쌍 들과 동일한 위치에 두 구간(0~23 cm, 23~46 cm)으로 구분하여 TDR 장비를 설치하여 30 분 간격으로 토양수분을 측정하였다. 이 장비는 기존의 장력계를 이용한 모세관의 압력수두를 측정하는 전통적인 방법과 달리 현장의 천이상태 (transient state)를 반영할 수 있는 장점이 있어 최근 오염과 관련된 많은 연구에서 이용되는 추세이다(김동주 등, 1999; 박재현, 1998). 일반적으로 TDR이란 파형 발생기에서 발생하는 pulse 형태의 전자기파가 전송선을 따라 흐르다가 전송선 끝의 임피던스 변화에 따라 전자기파가 반사되는 특성을 이용하여 유전상수와 전기전도도를 측정하는 장비로, 이 연구에 이용된 장비는 9 inch 길이의 센서가 주변 토양의 수분함량과 밀접한 관련이 있는 유전상수를 측정하여, 4~20 mA의 전류로 전송하는 방식으로 측정 전류를 함수량으로 계산하게 된다.

Fig. 6과 Fig. 7은 TDR을 이용하여 심도별로 얻어진 토양수분함량과 깊이 10 cm와 20 cm에 각각 설치한 비분극전극의 자연전위를 비교한 결과이다. 측정된 토양수분함량은 상부가 하부에 비해 약 15% 정도 작으며, 각 위치별로 약 3%

의 변화폭을 가지는 것으로 나타났다. 또한 토양 수분함량의 변화가 대기온도 변화에 비해 약 8~11 시간 정도 시간지연이 되므로, 이것이 지중온도 변화의 원인임을 확인하였다.

지표 하 10 cm 깊이에 설치한 전극의 경우는 Fig. 3에서 밝혀진 바와 같이 대기온도의 변화가 그대로 나타나므로, 토양수분함량의 변화는 나타나지 않았다 <Fig. 6>. 그러나 지표 하 20 cm 깊이에 설치한 전극의 경우는 토양수분함량 변화가 그대로 나타남에 따라 <Fig. 7>, 전극을 묻어 설치하는 경우는 토양수분함량이 측정값에 주요한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 결과로부터 땅속에 묻어 설치한 비분극전극에서 1~2 mV의 미약한 편차의 주요한 원인은 토양수분함량 변화임을 알 수 있다.

CCE에 대한 토양수분함량의 영향 분석 결과, 전체적으로 토양수분함량 변화와 유사한 주기를 가지는 측정값의 변화 양상이 나타나는데, 약 5% 이내의 토양수분함량 일변화에 대하여 금속전극 대부분에서 약 5 mV 내외의 변화가 나타났다 <Fig. 8>. 그러나 강수기간 동안에 측정된 자연전위값은 급격한 상승이 관찰되었는데, 이러한 결과는 Corwin · Butler(1989)가 제시한 금속전극의 표

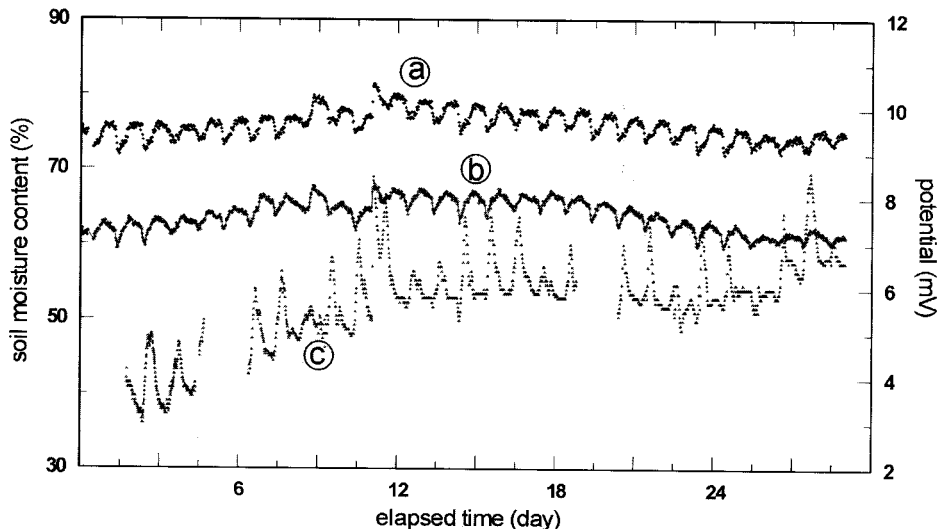


Fig. 6. Comparative diagrams during thirty days between self-potential at depth of 10 cm and soil moisture content at depth of 0-13 cm and 13-26 cm. (a) soil moisture content at 23-46 cm, (b) soil moisture content at 0-23 cm, (c) SP at 10 cm in depth.

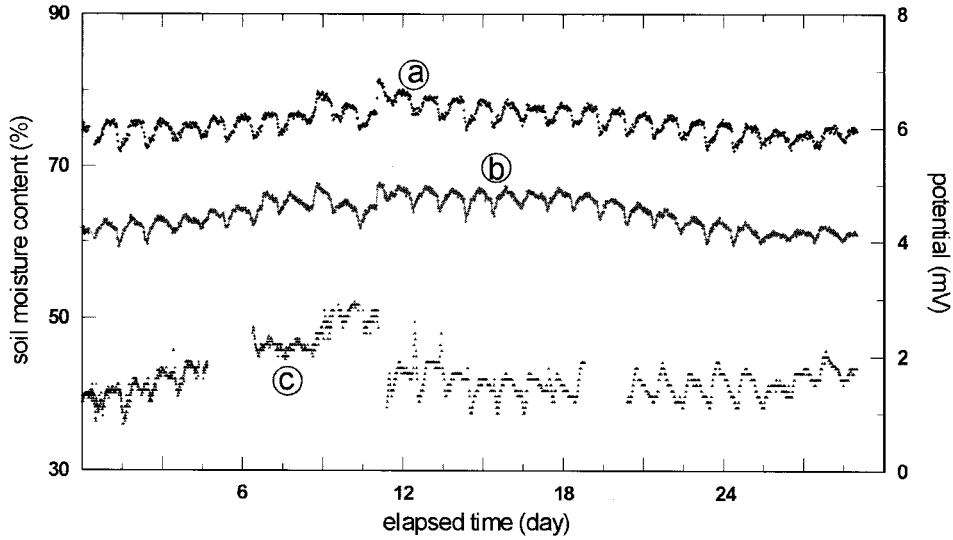


Fig. 7. Comparative diagrams during thirty days between self-potential at depth of 20 cm and soil moisture content at depth of 0-13 cm and 13-26 cm. (a) soil moisture content at 23-46 cm, (b) soil moisture content at 0-23 cm, (c) SP at 20 cm in depth.

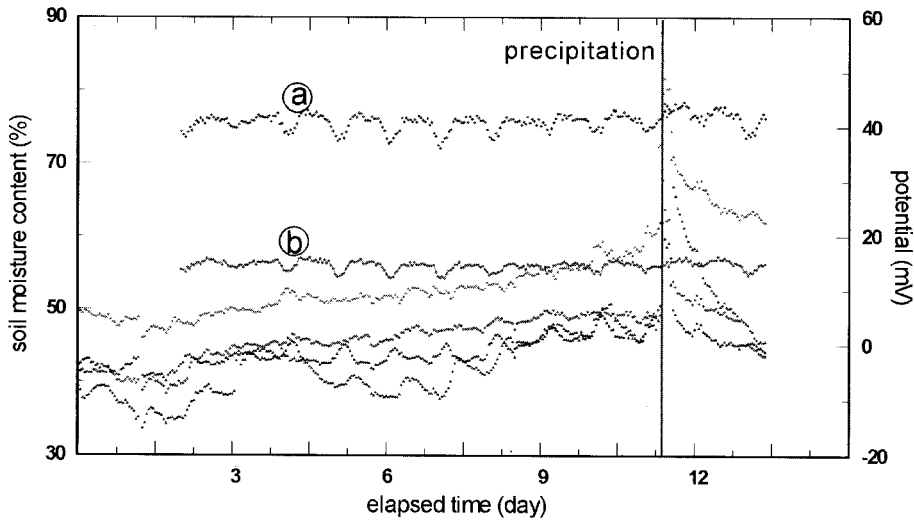


Fig. 8. Comparative diagrams during fourteen days between soil moisture contents at depth of 0-23 cm and 23-46 cm and self-potential of CCEs. (a) soil moisture content at 23-46 cm, (b) soil moisture content at 0-23 cm. The rest curves are SP variation of CCEs.

면에서 발생되는 흐름전위(flow potential)의 영향으로 판단된다.

4. 토의 및 결론

Cu-CuSO₄ 비분극전극과 CCE를 이용하여 측

정되는 자연전위 값에 대한 기온, 강수, 토양수분 함량 및 지중 온도 등의 환경 잡음요소 분석을 위하여 별도로 제작된 시험포장에서 장기 모니터링 실험을 수행하였다. 기온 및 강수량은 시험포장에 설치된 자동기상관측 장비를 이용하여 측정하였으며, 토양수분함량은 TDR, 지중 온도는 심

도 15 cm 깊이에 설치된 자동측정 지중 온도계를 이용하였다.

자연전위와 온도의 관계를 살펴보면, Cu-CuSO₄ 비분극전극의 경우는 전극의 상부가 대기에 노출되었을 때 대기 온도 변화에 대하여 지중 온도변화가 약 8~11 시간 정도의 지연효과가 나타남에 따라 기존 연구결과인 +0.5 mV/°F의 온도계수가 적용될 수 있지만, 땅 속에 묻어 설치하였을 때에는 0.5 mV 이하의 미약한 영향이 있는 것으로 밝혀졌다. CCE의 경우 땅속에 묻어 설치하였을 때에는 대기 온도와 무관하지만, 직사광선에 노출된 전극의 경우는 약 10°C의 기온 변화에 따라 10 mV 정도의 온도 편차가 있는 것으로 나타났다.

토양수분함량 변화에 대한 실험 결과에 따르면 Cu-CuSO₄ 비분극전극을 땅 속에 묻어 설치한 경우는 토양수분함량 변화가 그대로 나타나므로, 1~2 mV의 미약한 편차의 주요한 요소는 토양수분함량 변화로 밝혀졌다. CCE의 경우는 전체적으로 토양수분함량 변화와 유사한 주기로 약 5% 이내의 일변화에 대하여 금속전극 대부분에서 약 5 mV 내외의 자연전위 변화가 나타났으며, 강수기간 동안에는 금속전극의 표면에서 발생하는 흐름전위의 영향이 나타남에 따라 토양수분의 영향이 상대적으로 크게 작용함을 확인하였다.

따라서 자연전위법의 현장 적용 시 환경잡음 요인인 온도 및 토양수분함량의 영향을 최소화하기 위해서는 전극을 땅속에 묻어 설치하는 것이 바람직하며, CCE의 경우는 강수에 의해 전극 표면에서 발생될 수 있는 흐름전위를 최소화하기 위한 전극 상부에 별도의 차단장치가 필요한 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호3-3-1)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

권병두, 오석훈, 이희순, 정현기, 1993, 제주도 기생화산

의 자연전위 이상: 한국자원공학회지, 30, 352-360.
 김동주, 백두성, 박민수, 1999, TDR을 이용한 사질토양에서의 중금속 이동 추정: 한국토양환경학회지, 4, 109-118.
 박재현, 1998, 비포화영역에서 용존 오염물질 거동에 관한 실험적 연구: 공학박사 학위논문, 서울대학교.
 송성호, 이규상, 김진호, 장의용, 2000a, SP 및 단극배열 전기비저항탐사를 이용한 방조제 누수 지점 탐지: 농업현장에 필요한 물리탐사 기술, 한국지구물리탐사학회 2000 정기총회 및 특별 심포지움, 19-40.
 송성호, 이규상, 김진호, 권병두, 2000b, 방조제 누수지점 탐지를 위한 SP 및 단극배열 전기비저항 탐사의 적용: 자원환경지질, 33, 417-424.
 송성호, 권병두, 최종학, 김경만, 2001, 저수지 누수문제에 대한 수리지질 및 지구물리 방법의 적용: 한국자원공학회지, 38, 292-300.
 정현기, 최종호, 김정호, 정승환, 신인철, 1989, 자동연속 기록 및 PC전송 가능한 디지털 SP측정기 개발 및 응용연구: KR-89-(B)-26, 한국동력자원연구소.
 조진동, 정현기, 정승환, 김정호, 1996, 방조제 누수 부위 확인을 위한 SP/VLF 탐사법의 적용성: 자원환경지질, 29, 623-627.
 조진동, 정현기, 최종호, 정승환, 김정호, 1990, 128채널 자동연속 SP Monitor System 개발 및 응용연구: KR-90-(B)-18, 한국동력자원연구소.
 Corry, C.E., 1985, Spontaneous polarization associated with porphyry sulfide mineralization: Geophysics, 50, 1020-1034.
 Corwin, R.F. and Butler, D.K., 1989, Geotechnical applications of the self-potential method, report 3. Development of self-potential interpretation techniques for seepage detection. Technical Report REMR-GT-6: US Army Corps of Engineers. Washington. DC.
 Fetter, C.W., 1994, Applied Hydrogeology, 3rd ed: Macmillan College Publishing Company. New York. 99.
 Fitterman, D.V., 1979a, Theory of electrokinetic-magnetic anomalies in a faulted half-space: Journal of Geophysical Research, 84, 6031-6040.
 Fitterman, D.V., 1979b, Calculation of self-potential anomalies near vertical contacts: Geophysics, 44, 195-205.
 Fitterman, D.V., 1983, Modeling of self-potential anomalies near vertical dikes: Geophysics, 48, 171-180.
 Ives, D.J.G., and Janz, G.J., 1961, Reference electrode: Academic Press. New York. 651.
 Morrison H.F., Corwin, R.F., Harding, R., and de Moully, 1979, Interpretation of self-potential data from geothermal areas: Semi-annual Technical Process Report, April 30. USGS contract No. 14-08-0001-16546. University of California, Berkeley.
 Morrison H.F., Corwin, R.F., de Moully, and Durand, D., 1978, Interpretation of self-potential data from geothermal areas: Semi-annual Technical Process

- Report, October 31. USGS contract No. 14-08-0001-10545. University of California, Berkeley.
- Perrier, F.E., Petiau, G., Clerc, G., Bogorodsky, V., Erkul, E., Jouniaux, L., Lesmes, D., Macnae, J., Meunier, J.M., Morgan, D., Nascimento, D., Oettinger, G., Schwarz, G., Toh, H., Valiant, M.J., Vozoff, K., and Yazici-Cakin, O., 1997, A one-year systematic study of electrodes for long period measurements of the electric field in geophysical environments: *J. Geomag. Geoelectr.*, 49, 1677-1696.
- Petiau, G. and Dupis, A., 1980, Noise, temperature coefficient, and long time stability of electrodes for telluric observations: *Geophysical Prospecting*, 28, 792-804.
- Sato, M. and Mooney, H.M., 1960, The electrochemical mechanism of sulfide self potentials: *Geophysics*, 25, 226-249.
- Sill, W.R., 1983, Self-potential modeling from primary flow: *Geophysics*, 48, 76-86.
- U.S. Department of the Interior, 1974, Earth manual, A water resources technical publication, 2nd ed: U.S. Government Printing Office. Washington. 14-17.
- Vagshal, D.S. and Belyaev, S.D., 2001, Self-potential anomalies in Cerro de Pasco and Hualgayoc areas (Peru) revisited: *Geophysical Prospecting*, 49, 151-154.
-
- 2002년 1월 8일 원고접수
2002년 3월 25일 원고채택