

코어 비저항 측정에 미치는 영향요소에 대한 실험적 고찰

김영화 · 최예권

강원대학교 자연과학대학 지구물리학과

요 약

암석의 비저항값은 암석 자체의 성질뿐만 아니라 유체의 종류, 온도, 물 포화율, 접촉상태, 유도분극, 측정기기 및 사용전원의 주파수 등, 여러 요인에 의하여 영향을 받는다. 이 연구는 암석의 비저항을 정확하고 정밀하게 측정하기 위한 기초 연구의 일환으로서, 비저항 실측자료를 비교 분석하는 과정을 통하여 비저항 측정에 영향을 주는 다양한 요소들을 추적하고, 아울러 비저항 측정에 있어서 최적의 환경 조건을 찾고자 하였다. 특히 온도, 물 포화율, 시료와 전극의 접촉상태, 측정 주파수의 영향 등이 종합적으로 분석되었으며, 전도성 접촉제와 절연 테이핑 방법 그리고 시계열 비저항자료의 이용이 비저항 측정의 정확도와 정밀도 향상에 크게 기여할 수 있음을 보였다.

주요어: 코어 비저항, 물성 측정, 물 포화율, 주파수 효과, 온도 효과

Kim, Yeonghwa and Choi, Ye Kwon, 1999, Experimental Verification on Factors Affecting Core Resistivity Measurements. Journal of the Korean Geophysical Society, v. 2, n. 3, p. 225-233.

ABSTRACT: Electrical resistivity of a rock-sample is dependant on not only formation factor of rock itself but also many parameters such as fluid type, measuring device, temperature, water saturation, electrical contact between electrode and core section, induced polarization, and frequency of electric source. In this study, we attempt to verify various affecting factors in core resistivity measurements and to find a better environment for core resistivity measurement. Particularly great attention has been paid to understanding the effects of temperature, water saturation, contact condition between sample and electrodes, and frequency of electric source. Precise measurement of resistivity can be achieved by utilizing silver paste for better contacts, taping samples for constant moisture contents, and using time-series resistivity data.

Key words: core resistivity, physical property, water content, frequency effect, temperature effect

(Kim, Yeonghwa and Choi, Ye Kwon, Department of Geophysics, Kangwon National University, 192-1 Hyoja-2-dong, Chunchon 200-701, Korea. email: yhkim@kangwon.ac.kr)

1. 서 론

비저항은 암석 또는 지질에 따라 달리 나타나는 주요 물성치 중의 하나로서 탐사 현장에서의 암반 비저항과 실내측정에 의한 암석 비저항 또는 코어 비저항으로 구분될 수 있다. 일반적으로 지전기 비저항탐사에 의하여 얻어지고 있는 비저항이 암반의 비저항 분포에 대한 일반적인 인식이라고 할 수 있으나 탐사에 의해 얻어진 비저항 분포가 올바른 지질학적 의미를 가지기 위해서는 조사지역 구성 암석에 대한 암석 단위의 물성 연구가 뒷받침되어야 한다. 지표에서의 전기비저항탐사나 시

추공에서의 물리검층 결과에 대한 해석에 있어서 지질도와 시추단면도 등의 지질 정보와의 대비에 의한 정성적 해석 외에도 조사 지역에서의 시추 코어 또는 노두에서 채취한 암석시료를 이용한 비저항 측정자료는 매우 중요한 역할을 하게 된다. 특히 국부적인 암상변화, 풍화정도, 물 포화율의 차이, 절리발달 여부, 공극율, 투수계수나 오염의 정도 등 응용지질학적, 환경지질학적 중요 관심사에 대한 올바른 해석은 조사 지역의 암석 비저항에 대한 정확한 이해가 전제되어야 가능하다.

그러나 일반적으로 구해진 암석 비저항의 값은 측정 방법이나, 측정자의 숙련 정도, 측정 조건에

따라 상당한 오차를 내포하고 있으며 지금까지의 코어 비저항 측정 방법에 대한 여러 연구 결과 (Patnode · Wyllie, 1950; Vinegar · Waxman, 1984; Park · Matsui, 1998)에도 불구하고 암석 비저항의 정밀 측정은 아직까지도 많은 부분에서 미해결의 장으로 남아 있다. 이것은 비저항이 암석의 물성 연구 분야에 있어서 지니는 중요성에도 불구하고 실제의 활용이 저조한 근본 원인이 되고 있다. 암석 비저항의 정밀 측정에 있어서는 무엇보다도, 비저항의 측정과 결과의 종합적 비교 분석에 의거한 각종 영향 요소의 추적과 최적의 환경 조건을 찾는 일이 중요하며 이는 지구물리탐사 및 지구물리검층의 효율적인 결과 해석에 크게 도움을 줄 수 있다.

2. 코어 비저항 측정의 원리와 문제점

코어 비저항 측정은 보통 단면적이 S 이고, 길이가 L 인 코어시료에 축방향에 평행한 전류 I 를 보내고 시료 양단에 발생된 전위차 ΔV 를 측정 후 다음 식으로부터 비저항 ρ 를 산출하는 방법을 사용한다.

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

단, S 와 L 은 전류통과 단면적(m^2)과 측정구간의 길이(m)를 표시한다. 식 (1)은 비저항이 형상계수에 해당되는 S/L 와 저항값인 $\Delta V/I$ 의 곱으로 이루어짐을 보이고 있다. 형상계수는 시료의 성형 형태와 샘플홀더(sample holder)의 유형에 좌우된다. 이에 비하여 저항값은 계측시스템의 정밀도와 측정 조건에 좌우되는 항목으로서 측정 오차의 대부분이 이 영역에 포함되고 있다. 특히 매트릭스가 비전도성이며 공극율이 낮은 대부분의 암석인 경우에는 접촉저항, 과도현상 내지 분극현상 등이 매우 복잡한 양상을 보이고 있어 매우 다양한 형태의 오차가 측정 비저항값에 반영되고 있다.

간극수 문제는 가장 잘 알려진 영향요소로서 간극수의 비저항 크기(Archie, 1942), 물 포화율(Sen, 1997; Suman · Knight, 1997), 온도(Johnston, 1987; Evans, 1991)에 관한 연구들이 있다. 간극수의 비저항은 우선 간극수 내의 이온의 종류 및 양에 따라 달리 나타나는 것으로 간극수의 종류에 따른 비저항의 영향을 제거하기 위해서는 전도도가 동일한 유체를 비저항 측정에서의 간극수로 이용하는 방법과 Archie방정식(Archie, 1942)에 의한 간극수의 영향 보정 방법이 있다. 온도 변화에 따른

코어시료의 비저항 변화는 온도에 역비례하는 경향의 전해질전도 특성과, 비례하는 경향의 전자전도가 함께 존재한다(Bussian, 1983). 그러나 암석 비저항의 결정에서 매트릭스의 전자전도가 무시되는 반면에 간극수를 통한 전류 이동이 그 결정적 요인으로 나타나는 바, 실제로는 온도 증가에 따른 비저항 감소 경향을 예상할 수 있다.

암석의 비저항이 간극수를 통한 이온 이동의 용이도 또는 크기에 의하여 결정되고 있으며, 이온 이동의 크기가 공극율, 공극의 형태, 공극 유체의 성질과 함께 공극을 차지하고 있는 물의 비율에 크게 영향을 받고 있음에서 물 포화율이 매우 중요한 영향요소로 등장한다. 물 포화율의 영향을 제거하는 근본적인 접근 방법은 완전포화상태에서의 측정이다. 그러나 완전포화상태를 유지하기 위한 조치는 암석시료 표면에 여분의 물의 흡착상태를 초래하며, 비전도성 암석일수록 표면에 있는 전도성 유체를 통해 표면으로 전류가 흐르는 현상이 커진다. 그렇다고 표면을 건조시키면 표면전류의 문제 대신에 완전포화상태의 유지가 곤란하며, 결국 시료 내부에서의 평행 전류의 흐름이 교란되고 전류가 흐르는 단면적의 평가가 곤란해지는 또 다른 문제점이 발생된다.

코어시료의 양 단면과 전극 사이의 접촉상태는 코어 시료의 비저항 측정에 있어 측정된 값의 크기를 좌우하는 또 하나의 중요한 요인이다. 양호한 접촉상태의 유지는 평행전류 상태의 유지와 분극현상(Collet, 1959; Katsube, 1969; Vinegar · Waxman, 1984)의 방지와 직접 연관되고 있다. 일반적으로 코어 비저항 측정에 있어서 접촉상태의 유지를 위한 노력은 큰 접촉 면적과 양질의 전해질 용액을 적신 필터의 이용 및 적당한 압력의 유지에 집중되어 왔다(Marshall · Madden, 1959; Vinegar · Waxman, 1984; Chiba · Kumata, 1994). 그러나 이 경우에도 전해질 용액의 시료 내 침투와 압력에 따른 전해질 필터의 표면으로의 번짐과 전도도 변화 등의 문제는 해결을 못하고 있는 형편이다.

비저항을 측정하기 위해서는 저항값(또는 전류-전위값)을 먼저 측정하게 된다. 측정된 저항값 또는 전류-전위값은 측정을 위한 전류원의 특성 즉 전류 타입, 측정 시간 등에 영향을 받으며 전위 또는 저항을 측정하는 기기의 유형에 따라서도 상당한 영향을 받게된다. 측정 기기의 유형은 휘스톤브리지(wheatstone bridge)를 사용하여 저항값을 직접 측정하는 방식, 멀티미터(multimeter)에 의한 전위-

전류 값의 분리 측정법, 또는 데이터 로거(data logger)를 사용하여 측정, 기록하는 방법 등이 있으나 시계열자료에 의한 정밀분석이 가능하다는 점에서 데이터 로거의 이용이 이점을 가진다.

어떠한 재질의 전극을 어떤 방식으로 배치하는가의 문제는 접촉상태 유지의 효용성 차원과 맞물려 매우 중요한 의미를 가진다. Katsube (1969)는 알루미늄, 구리, 은, 탄소 등 각 전극 재질의 과도 현상 특성을 연구하였으며 많은 연구자들이 다양한 샘플홀더를 고안하였다. 샘플홀더는 크게 샘플의 양단에 접촉시킨 한 쌍의 전극만을 이용하는 소위 2전극법(Patnode · Wyllie, 1950)과 두 쌍의 전극을 사용하여 각 쌍으로부터 전위값과 전류값을 따로 구하는 4전극법(Collet, 1959; Losito · Finzi-Contini, 1981)으로 나눌 수 있으며 특히 4전극법의 경우에는 연구자의 생각에 따른 많은 변형 샘플홀더가 제시되어 있다. Patnode · Wyllie (1950)에 의하여 제시된 2전극법 샘플홀더는 시료양단에 밀착된 두 개의 판상 전극만을 사용하는 간편한 방법이 장점이나 전극의 분극에 의한 과도현상이 시료와 측정기에 직접 전달될 가능성이 큰 것이 약점이다.

3. 측정시스템의 구성과 측정방법

본 연구에 사용한 측정 시스템은 크게 전원 발생부분과 시료와 측정 전극으로 이루어진 샘플홀더 부분, A/D 변환 및 기록 부분으로 구성된다 (Fig. 1). 전원 발생부분은 Hewlett-Packard사의 함수발생기(Model HP33120A)를 전원 발생장치로 사용하였으며 전원으로는 Duty Cycle 50%인 구형파를 사용하였다. 사용된 구형파는 주파수 3 mHz에서 30 Hz 사이의 9개(0.003, 0.01, 0.03, 0.3, 0.5, 0.8, 1, 2 및 30 Hz)이며 정전압형으로서 약 ± 4 V의 인가전압을 사용하였다.

샘플홀더는 2전극법 샘플홀더(Patnode · Wyllie, 1950)와 GS식 샘플홀더(Katsube, 1969)를 사용하였으며(Fig. 2), 전극간 또는 전극과 샘플 사이에는 NaCl 용액에 포화된 종이 필터가 삽입되었다. 2전극법은 한 쌍의 전극을 이용하여 전위와 전류값을 동시에 읽어서 비저항을 구하는 방법으로 본 연구에 있어서는 코어 시료와 전극 사이에 필터를 삽입시켰다. GS식은 두 쌍의 독립된 전극과 필터를 이용하여 비저항을 구하는 방식으로 전극과 필터의 배치는 전위전극-필터-전류전극-필터-코어시료-필터-전류전극-필터-전위전극의 순서로 구성된다.

코어시료는 길이가 71-75 mm 정도이고 지름이 약 48 mm인 원주형으로 양단면을 연마한 후, 25°C에서 120 Ω -m 정도의 비저항을 가진 물로 완전포화시켰다. 실험의 특성에 따라서는 표면건조의 방지를 위한 절연 테이핑 방법과 Dotite (type D-500)란 이름으로 시판되고 있는 전도성 접착제(Silver paste)를 시료 양면에 바르는 방법이 이용되었다. 단, 전도성 접착제의 사용은 측정의 마지막 단계에서 적용되었다.

비저항의 측정작업은 두 전위전극 사이에 걸리는 전위차의 측정과 전류전극-필터-코어시료-필터-전류

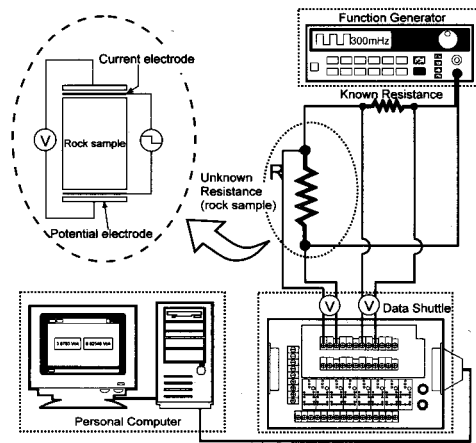


Fig. 1. Schematic diagram of the core resistivity measurement system.

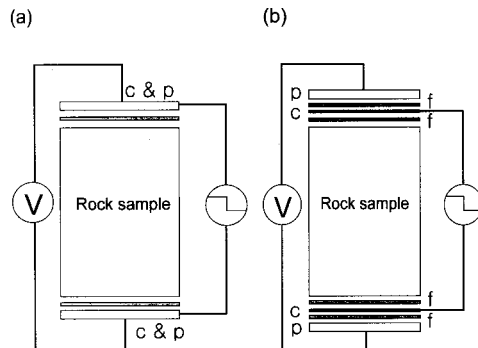


Fig. 2. Schematic diagram for two-electrode type and GS type sample holders (c: current electrode, p: potential electrode, and f: filter).

Table 1. The result of resistance measurements using a standard resistance of 10360 ohm and various frequencies of electric source.

Source frequency (mHz)	3	30	300	500	800	1000	2000
Resistance (ohms)	10,363	10,364	10,364	10,363	10,364	10,364	10,363

전극으로 연결되는 전체 회로에 흐르는 전류의 세기 측정으로 이루어진다. 전체 회로를 흐르는 전류의 세기는 회로에 직렬로 연결된 약 1kΩ의 저항체를 이용한 전위값으로부터 환산되었다. 측정 전위값의 A/D 변환을 위해서는 Strawberry Tree, Inc.사의 DS-12-8-GP 데이터 로거(Data Shuttle)를 사용하였고 샘플링 주파수는 주로 10 Hz를 사용하였다. 데이터 로거에서 A/D 변환된 자료는 ASCII 형태의 시계열자료로 PC에 저장하여 처리하였다. 데이터 로거의 input impedance는 약 20 MΩ, 해상도는 입력신호 ± 250 mV 범위에서 120 μV이다.

4. 비저항 측정 영향요소 분석

4.1. 측정 시스템의 정밀도

본 실험에서 구7성한 계측 시스템의 정밀도 검증은 표준저항(10.36 kΩ)에 대한 저항측정방식으로 이루어졌다. 측정에는 3 mHz, 30 mHz, 300 mHz, 500 mHz, 800 mHz, 1 Hz, 2 Hz 등의 구형파 전류가 사용되었으며 샘플링 주파수는 10 Hz로 이루어졌다. Fig. 3은 그 중에서 300 mHz, 800 mHz 및 2 Hz의 구형파를 사용한 경우에서 얻어진 시계열 저항자료의 +반주기 부분을 별도의 필터링 과정 없이 그대로 도시한 것이다. 상대적으로 고주파에 해당되는 2 Hz 주파수 영역에서만 주기적인 잡음(o 표시)이 관찰되고 있을 뿐 도시되지 아니한 자료를 포함하여 800 mHz 이하의 모든 주파수 영역에서 노이즈의 흔적이 전혀 나타나지 않으며, 나타난 노이즈 또한 신호성분과 뚜렷이 구분될 수 있어 제거가 용이하였다. 측정값의 크기는 +와 -반주기의 평균 저항값으로 도표화한 Table 1에서와 같이 표준 저항값에 매우 근접하고 있으며, 각 주파수를 달리하면서 얻어진 측정값간의 오차는 0.01% 이내의 정확도를 보인다.

4.2. 온도

일반적으로 암석 비저항에 있어서는 전자전도가 무시되는 반면에 간극수의 전도도가 주 영향요인으

로 나타나며(Archie, 1942; Park · Matsui, 1998), 간극수의 전기전도도는 이온의 종류나 양 외에도 온도에 따라 크게 달라진다. Fig. 4는 온도 변화에 따른 암석시료의 비저항변화 양상을 파악하기 위하여 코어 시료 자체의 비저항 변화 양상과 함께 간극수 자체의 온도에 따른 변화 양상을 관측한 결과를 제시하고 있다. 측정은 간이로 제작된 항습상자 안에서 온도계를 설치한 상태에서 이루어졌으며 측정에서 시료 온도는 항습상자 안에 담겨있는 물의 온도와 같은 것으로 간주하였다. Fig. 4에서 제일 위쪽에 제시된 곡선이 온도에 따른 코어의 비저항 변화를 제시한 것이며 아래쪽 3개의 곡선은 용액의 비저항 변화를 나타내고 있다. 25℃ 상온에서의 비저

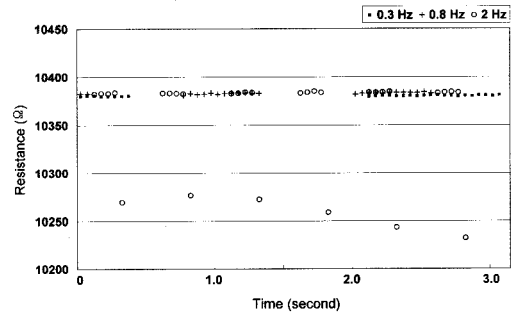


Fig. 3. Resistance of a standard sample obtained by the measuring system. The measured values are consistent regardless of source frequency.

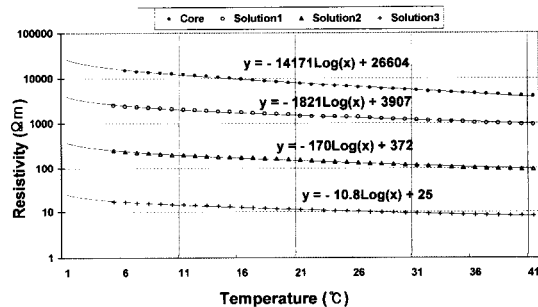


Fig. 4. Resistivity variations with temperature.

항을 기준으로 할 때, 위로부터 6000 ohm-m의 암석시료를 비롯하여 1200 ohm-m(용액 1), 120 ohm-m(용액 2) 및 10 ohm-m(용액 3) 내외의 세 가지 용액에서의 측정 결과이다. 이 중에서 용액 2가 시료를 포화시키는데 사용한 간극수이며 용액 1은 간극으로 만든 1차 증류수이고 용액 3은 여기에 NaCl을 첨가하여 전해질 용액으로 만든 것이다.

반대수 스케일(semi log scale)로 표시된 전반적인 변화 경향은 거의 비슷한 양상으로 온도가 높아질수록 비저항의 변화율이 감소하고 있다. 이와 같은 현상은 NaCl용액을 대상으로 한 ARPS방정식(Brock, 1984)과 거의 일치되는 경향으로 볼 수 있다. 용액에서의 변화 경향만에 주목한다면 1°C의 온도변화에 따라 1%에서 6% 범위의 비저항변화가 인지되고 있으며 변화의 경향은 온도가 낮은 영역일수록, 용액이 비전해질에 가까울수록 비저항의 변화율이 크게 나타나고 있다. 간극수에 해당되는 용액 2와 코어 비저항을 비교하는 경우, 상온 부근에서 1°C당 각기 2 Ωm와 180 Ωm의 변화율을 보여주고 있어 코어 비저항이 ARPS방정식으로 예측되는 간극수의 비저항 변화보다도 온도 변화에 더 민감하게 영향받고 있음을 보인다. 한편으로 이는 전도도가 낮은 용액일수록 변화율이 커지는 경향이 암석의 경우까지 연장 적용되고 있음을 시사하고 있다. 이 결과는 간극수가 상대적으로 전도도가 낮은 담수로 포화되어 있거나 비저항이 높은 코어시료의 비저항 측정에서 온도조건이 더욱 중요한 의미를 가지고 있음을 의미하고 있다. 따라서 온도 영향이 최소화되는 조건인 고온과 저비저항 간극수의 활용이 불가능한 대부분의 비저항 측정에 있어서는 유체의 전도도 측정에서와 같은 온도 보정이 필요한 것으로 나타난다.

4.3. 접촉조건

접촉조건 향상을 위하여 본 연구에서 우선적으로 고려된 사항은 시료 접촉면의 평탄화, 시료와 전극 사이에 전해질 필터의 삽입과 밀착을 위한 하중 부여이다. 시료접촉면의 평탄화는 표면연삭장치에 의한 연마로 해결하고, 필터의 삽입은 NaCl 용액을 적신 여과지 4매를 삽입하는 방법을 사용하였으며, 전극판과 시료사이의 밀착을 위한 하중 부여는 약 12 N으로 하였다. Fig. 5는 4회에 걸쳐 필터와 시료간의 접촉과 분리를 반복하면서 측정된 비저항 분포를 제시한 것이다. 측정간의 시간 차이를 최소화하기 위하여 300 mHz의 단주기 주

파수 전원을 이용한 결과 최대 오차가 1%에 못 미치는 수준으로 나타나고 있어, 필터 삽입에 의한 효과는 양호한 것으로 나타나고 있다. 이 결과는 전극간 또는 전극과 시료간에 전해질 필터를 사용하는 GS식 측정법에 있어서 접촉저항의 감소 또는 분극현상에 의한 비저항 교란의 폭이 작다는 장점을 확인하는 의미를 가지고 있다.

그러나 측정 조건을 별도로 조정하지 못하는 일반적인 비저항 특성에 있어서는 비저항이 낮은 전해질 용액이 시료 표면과 직접 접촉함에 따라 접촉면에 인접한 암석 내의 간극수 비저항이 변화하고, 이에 기인한 비저항의 변화가 있을 수 있다. 이를 확인하기 위한 방법의 일환으로 본 연구에서는 비교적 장주기 구형파를 사용하여 필터를 교환하지 않은 상태에서 GS식과 2전극법에 의한 측정

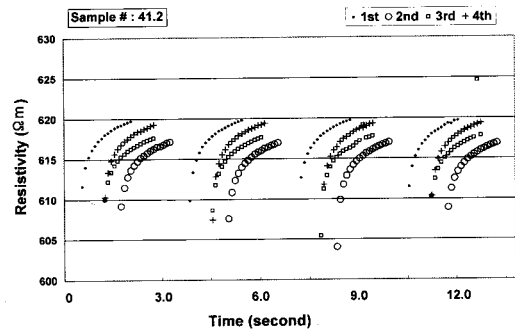


Fig. 5. Repeated measurements of core resistivity using filters saturated with NaCl solution.

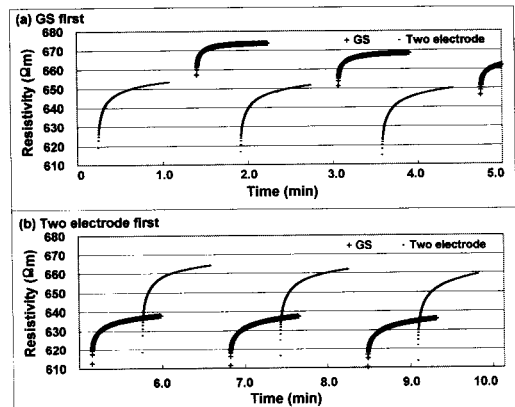


Fig. 6. Effects of NaCl filtration on the core surface using the 10 mHz square wave.

을 교대로 실시하는 방법을 적용하였다. Fig. 6은 10 mHz로 측정된 경우에 비저항값의 변화가 측정의 순서에 따라 감소하는 경향을 뚜렷이 제시하고 있는 것으로서 이를 필터 용액의 시료 내 침투 영향으로 판단하였다. 이는 GS식에 의한 측정을 먼저 하고 이어 2전극법 측정이 실시된 경우(a)에서 GS식 비저항이 2전극법 보다 높게 나타나는데 반하여 2전극법 측정 후에 GS식 측정이 이루어진 경우(b)에서는 2전극법 비저항이 GS식 비저항보다도 높게 나타나고 있음에서 확인된다.

필터용액의 시료 내 침투 여부를 확인하기 위한 또 하나의 방법으로 본 연구에서는 시료 표면에 전도성 접착제를 얇게 바르는 방법이 도입되었다. 이는 전도성 전해질의 시료 표면 내 침투 방지와 함께 동일한 접촉 조건을 유지하는 측면에서도 장점이 있을 것으로 기대되었다. 사용된 전도성 접착제는 동일 시료에 대하여 먼저 필터를 사용하여 측정된 후에 전도성 접착제를 발라 측정하는 방법을 적용하였다. Fig. 7은 전해질 포화 필터를 사용한 경우와 전도성 접착제를 사용한 경우에서의 차이를 제시하고 있는 것으로서, 전형적인 GS식 샘플홀더에서 측정된 비저항이 전도성 접착제가 사용된 측정결과에 비하여 현저하게 낮음을 보인다. 이것을 더욱 분명하게 하기 위하여 필터를 사용한 상태에서 2회 측정하고 이어 전도성 접착제 상태에서 2차례의 비저항 측정을 실시한 결과에서도, 비저항의 변화 양상이 앞에서의 결론을 지지하는 일관성 있는 결과가 얻어졌다. 즉 Fig. 8은 그 중의 한 결과를 도시한 것으로 필터 시료의 두 측정 결과(1st, 2nd) 사이에 비저항 저하가 크게 나타나고 있는 반면에 전도성 접착제를 사용한 후의 두 측정결과(3rd, 4th) 사이에는 비저항 변화가 거의 나타나지 아니함을 보인다.

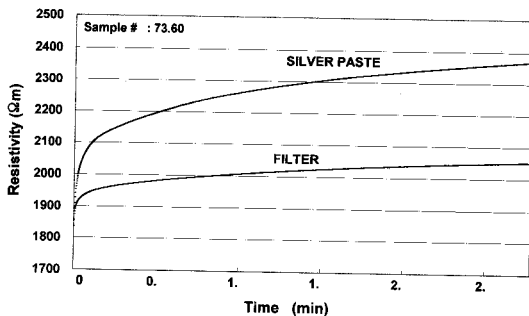


Fig. 7. Effect of the filter and silver paste in measuring resistivity of a resistive sample (sample 73.60).

이상의 실험결과들은 GS식에서의 필터 사용이 용액에 의한 시료 내 침투 현상과 이로 인한 비저항의 저하를 유발하며 경우에 따라서는 그 범위가 상당히 클 수 있음을 보여주고 있어 비저항을 측정할 때에 그 영향이 고려되어야 할 것으로 판단된다. 이러한 점에서 전도성 접착제의 사용은 좋은 해결책이 될 수 있을 것으로 기대된다.

4.4. 물 포화율 및 표면전류

Fig. 9는 비저항 측정시 시료 표면상태의 유형별로 구분하여 제시된 3 종류의 시계열 비저항자료이다. 가장 윗 부분에 표시된 자료(Air)는 시료를 공기 중에서 자연 노출시킨 상태에서의 측정결과로서 시간에 따른 표면건조에 의하여 비저항의 증가가 현저하게 나타나고 있다. 중간부분(Box)은 항습상자 안에서 측정된 결과를 도시한 것으로 시간에 따른 비저항의 증가 경향이 공기 중 측정에 비하여 낮기는 하지만 시간에 따른 비저항의 증가 경향이 무시할 수 없는 수준으로 나타나고 있다. 이는 항습상자에서의 비저항 측정방법이 물 포화율을 일정하게 유지하면서 비저항을 측정하는 가장 기본적인 접근 방법(Chiba · Kumata, 1994)이지만, 항습상자 속에서도 표면전류의 영향을 배제하고 완전포화상태를 유지하고자 하는 두 가지 목표를 함께 달성하는 데에는 한계가 있음을 의미한다. 특히 샘플홀더와 시료의 조립에 상당한 시간이 소요될 때에는 만족스러운 항습 상태의 실현이 현실적으로 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안의 하나로, 본 연구에서는, 코어시료의 표면에 절연 테이

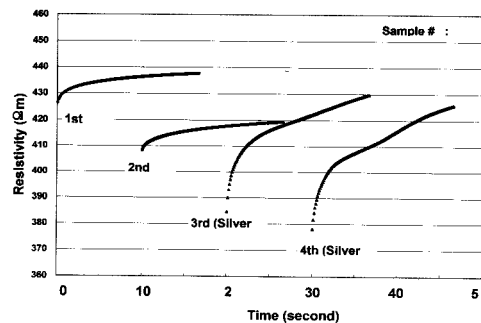


Fig. 8. Effect of the filter and silver paste in measuring resistivity of a conductive sample (sample 51.49). Repeated measurement using the filter shows significant variation with time, whereas measurement using silver paste is almost consistent with time.

Table 2. Mean values of time series resistivity measured with various frequency ranges (in ohm-m).

Sample No. & Rock type	Frequency		
	30 mHz	300 mHz	1000 mHz
75.7 (greenish Siltstone)	505	488	479
72.27 (red gravelly Siltstone)	940	898	880
56.82 (red sandy Siltstone)	885	844	822
43.4 (metamorphosed Siltstone)	6017	5863	5683
120.65 (Conglomerate)	432	414	407
L8.44 (Limestone)	8116	8014	7940
L69.27 (Limestone)	4821	4795	4786
129.06 (granitic Gneiss)	5945	5720	5619

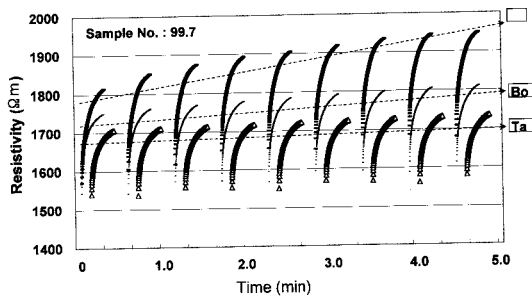


Fig. 9. Effect of core surface condition. The variation of resistivity is minimal when the sample is taped.

핑을 하는 방법을 적용하여 비저항을 측정하고 그 결과(Tape)를 비교하였다. 시간에 따른 비저항의 증가 경향은 공기 중에서 가장 높고, 항습상자에서 그 경향이 둔화되며 테이핑 시료에서는 증가율이 무시될 수 있는 수준으로 나타나고 있음을 보인다. 그리고 3가지 유형의 시계열 비저항자료의 초기값 또한 테이핑 시료에서, 항습상자 및 공기 중에서의 시료로 갈수록 커진다. 이 초기 값의 차이는 샘플 홀더와의 조립과정 중에 발생된 비저항 증가에 기인되었을 가능성이 있다. 이상의 결과는 일반적으로 많이 시행되고 있는 항습상자 속에서의 비저항 측정에 비하여 테이핑 방법이 간편하면서도 항습상태의 유지에 효과적임을 보인다. 특히 코어 양단에 전도성 접착제를 바른 후 절연 테이핑을 실시하면 측정시 표면이 마르는 문제를 해결함과 동시에 코어를 통과하는 전류의 양이 안정적이 되어 믿을 수 있는 데이터를 획득 할 수 있는 것으로 나타난다.

4.5. 사용전원의 주기

데이터 로거를 이용한 시계열 비저항자료에서

나타난 또 하나의 현저한 특징은 구형파의 주파수에 따른 차이이다. Fig. 10은 30 mHz, 300 mHz 및 1 Hz의 세 가지 주파수의 구형파를 사용하고 10 Hz의 샘플링 주파수로 얻은 시계열 비저항자료들을 제시한 것으로 300 mHz의 구형파를 사용한 경우가 상대적으로 고주파수인 30 mHz와 1 Hz의 경우에 비하여 비저항이 더 높게 나타나고 있음을 잘 보여준다. 이와 같은 주파수효과는 기존의 연구 결과에서 보고된 것과 동일하게 나타났으나, 주파수가 증가할수록 시계열 비저항값의 초기 값이 증가하면서 후기 값은 감소하는 현상이 인지되고 있다. 결과적으로 저주파 전원을 사용할수록 변화율은 작지만 비저항의 초기값과 후기값의 차이가 크게 나는 반면에 고주파를 사용할수록 변화율은 크지만 초기와 후기 값의 차가 작아지는 특성을 보인다. 이와 같은 주기에 따른 시계열 비저항의 분포 특성은 비저항값이 다른 모든 시료에서 공통적으로 나타나는 현상으로 얻어진 시계열 비저항값의 평균은 표 2에 나타나 있다.

5. 토의 및 결론

본 연구에서는 암석코어 비저항의 실측자료를 비교 분석하는 방법을 사용함으로써 코어 비저항의 측정 조건을 검토하고 이로부터 효과적인 측정 방법과 측정 환경을 찾고자 하였다. 코어 비저항 측정조건 연구에서 나타나는 큰 어려움은 미치는 영향요인들이 다양할 뿐만 아니라, 동시에 작용되고 영향요인의 단위 요소로의 분리가 매우 어렵다는데 있다. 즉, 단위 요소에 의한 영향의 정도를 파악하

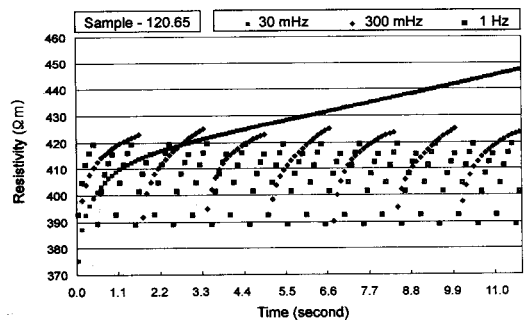


Fig. 10. Variation of resistivity with source frequency. The source frequencies of 30 mHz, 300 mHz, and 1 Hz are employed in this test.

는 데 있어서 타 영향요인을 완전히 제거할 수 없는 것이 현실이며, 따라서 본 연구의 결과 또한, 잡음으로 나타나는 타 영향요소의 최소화를 통한 제한적인 범위 내에서 이루어질 수밖에 없었다. 그 중에서 측정 전원이나, 샘플홀더, 측정기기 등에 의한 영향 요인들을 통제하는 문제들이 비교적 용이하게 해결될 수 있었음에 비하여 온도, 물 포화율, 접촉조건의 유지 문제가 마지막 단계까지 효과적인 실험의 장애요인으로 나타났으며 이것은 이후 연구에서 더 개선되어야 할 부분으로 남아있다. 그러나 영향의 규모와 형태 파악에 있어서는 지금까지의 연구 결과만으로도 충분한 것으로 판단되며 그 결과로부터 다음과 같은 결론 유도가 가능하였다.

(1) 정밀 함수발생기와 데이터 로거를 사용함으로써 계측기기 자체로부터 유발되는 오차를 거의 무시 가능한 수준으로 낮은 계측시스템이 만들어졌다.

(2) 온도의 영향은 특히 저온 상태에서의 측정과 고비저항 간극수 상태에서의 측정에서 민감하게 나타나고 있으며 비저항값이 높을수록 온도 보정의 필요성이 커진다.

(3) 기존의 필터방법이 접촉 자체의 문제 해결에는 큰 도움이 되지만 필터 전해질의 시료 내 침투가 문제점으로 나타남이 확인되었다.

(4) 기존의 흡습상자 이용방법이 물 포화율 유지 및 표면전류의 방지에 효과적이지 못한 반면에 절연 테이핑 방법이 보다 효과적인 것으로 나타났다.

(5) 비저항 측정에 있어서 측정 구형파의 영향은 주파수가 증가할수록 시간에 대한 변화율은 커지나 전체 변화량은 감소하는 경향을 보인다. 결과적으로 주파수 증가에 따라 시계열 비저항 데이터의 분포 폭이 감소하는 경향을 보인다.

(6) 측정값의 안정성 도모를 위하여 기존의 샘플홀더에 절연 테이핑 및 전도성 접촉제를 사용하는 것이 시료의 물 포화율 유지, 표면전류 및 전해액 침투 현상 방지, 그리고 접촉 저항의 동일화 측면에서 효과적인 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 학술진흥재단 대학부설연구소 지원과 제인 석회암지역의 지하구조규명 및 수리특성에 관한 연구의 기초단계 연구로 수행되었다. 그동안 많은 조언과 실험과정에서의 편의를 제공해 해준 강원대학교 지구물리학과 조인기 교수와 장보안 교수, 그리고 전기공학과의 박찬원 교수께 감사드

리며 실험을 도와준 강원대학교 대학원 장승익, 김기주, 양영근 군에게도 감사를 표한다.

참고문헌

- Archie, G.E., 1942, The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics, Trans. A.I.M.E., 146, 54-67.
- Brock, J., 1984, Analyzing your log. Vol 1-Fundamentals of Open Hole Log Interpretation, pp.1-3
- Bussian, A.E., 1983, Electrical conductance in a porous medium, Geophysics, 48, 1258-1268.
- Chiba, A. and Kumata, M., 1994, Resistivity measurement for granite and tuff samples - Influence of pore fluid resistivity on rock resistivity, Butsuritansa, 47, 161-172.
- Collet, L.S., 1959, Laboratory investigation of over-voltage, in Wait, J.R. de., Overvoltage research and geophysical applications, Pergamon Press, 50-60.
- Evans, H.B., 1991, Discussion on 'Temperature dependence of the electrical resistivity of water-saturated rocks', by F. J. Llera, M. Sato, K. Nakatsuka, and H. Yokoyama (GEO-55-5-576-585), Geophysics, 56, 884-885.
- Johnston, D.H., 1987, Physical properties of shale at temperature and pressure, Geophysics, 52, 1391-1401.
- Katsube, T., 1969, The electro-chemical transient phenomena of ore and rock samples (II) (An of measuring apparatus and of transient phenomena of electrode), Butsuritansa, 22, 21-33.
- Losito, G. and Finzi-Contini, G., 1981, Laboratory instrumentation to study changes of electrical conductivity of rocks with changes of frequency, temperature and pressure, Geophysics, 24, 790-816.
- Marshall, D.J. and Madden, T.R., 1959, Induced polarization, a study of its cause: Geophysics, 24, 790-816.
- 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., 189, 47-52.
- Park, S.G. and Matsui, T., 1998, Basic study on resistivity of rocks, Butsuritansa, 51, 201-209.
- Sen, P.N., 1997, Resistivity of partially saturated carbonate rocks with microporosity, Geophysics, 62, 415-425.
- Suman, R.J. and Knight, R.J., 1997, Effects of pore structure and wettability on the electrical resistivity of partially saturated rocks - A network study, Geophysics, 62, 1151-1162.
- Vinegar H.J. and Waxman, M.H., 1984, Induced-polarization of shaly sands, Geophysics, 49, 1267-1287.

1999년 5월 19일 원고접수

1999년 8월 27일 원고채택