

## 시료 파괴 시 발생하는 SP에 관한 기초 연구

김종욱<sup>1)</sup>, 조성준<sup>1)</sup>, 박삼규<sup>1)</sup>, 성낙훈<sup>1)</sup>, 송영수<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>한국지질자원연구원 지반안전연구부, [onshot@hanmail.net](mailto:onshot@hanmail.net)

<sup>2)</sup>전북대학교 자원·에너지공학과

### The basic study about streaming potential generated by specimen fracture

Jong Wook Kim<sup>1)</sup>, Sung Jun Cho<sup>1)</sup>, Sam Gyu Park<sup>1)</sup>, Nark Hoon Sung<sup>1)</sup>, Young Soo Song<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Geotechnical Engineering Div., KIGAM

<sup>2)</sup>Department Mineral Resource and Energy Engineering Chonbuk National University

**Abstract:** We measured potential waveform of load, displacement, micro electric signal generated by rock and mortar fracture using PXI A/D Converter. The rock type used for measurement was used granite, limestone and sandstone, and mortar specimen. we made measuring equipment of physical properties to confirm basic information of physical properties, measured physical properties of rock engineering, electric resistivity and seismic velocity. Potential waveform system was built using PXI A/D Converter and measured potential waveform of load, displacement, micro-electric signal generated using this during uniaxial compressive test by the specimen finished such test of physical properties. Using the saturated rock and mortar specimen, micro electric signal increased, and It didn't increase a signal in dried rock and mortar specimen according as load and strain rate increases. But signal also increased in saturated or dried specimen in case of sandstone. It was possible to check the close correlation relationship the signal and fracture behavior by a compressive load as the signal of fracture position was increased bigger than the other position. It was also possible to check the correlation relationship between physical properties and micro geo-electric signal.

**Keywords:** physical properties, electric resistivity, seismic velocity, PXI A/D Converter, load, displacement, micro geo-electric signal

#### 1. 서론

이미 오래 전부터 여러 나라에서는 산사태 및 사면 붕괴와 지진의 피해를 최소화하기 위해 사전의 피해를 최소화 할 수 있는 다양한 시스템을 개발하였으며, 현재까지도 활발히 개발하고 있는 중이다. 또한 이렇게 개발된 각종 시스템을 이용하여 실제 현장에서 적용하고 있다. 이중 공극을 가진 지층 내에서 물의 흐름에 의해 발생하는 전기 동역학적 신호가 지진이나 산사태 및 사면붕괴 예측의 가능한 수단이라는 것이 최초로 제안된 이래 암석의 전위 변화에 대한 실험실 조사가 상당한 주

목을 끌고 있다. 이렇게 발생하는 전기 동역학적 신호는 자연전위(Self potential)로 정의되는데 SP를 발생시키는 요인은 크게 다음과 같은 세 가지로 요약된다. : (i) 온도 차이에 의한 열전기적인 전위, (ii) 화학적인 기율기에 의한 화학 전위, (iii) 유체 압력 기율기에 의한 전기역학적 현상인 유동전위(Streaming potential). 이 중 열전기적인 효과 및 화학적인 전위는 상대적으로 작아서 자연전위 이상은 주로 전기역학적 현상이 주요하게 작용한다고 가정한다(Perrier et al., 1999; Jouniaux et al., 2000). 전기동역학 현상(Electrokinetic phenomenon)은 화학분야에서나 지구 시스템의 유체 흐름에 의한 전기적인 현상에서 폭넓게 이용되는 현상으로 시료 내 압력의 증가와 더불어 유체에 포함된 이온의 흐름으로 생기는 유동전위가 발생하며, 시료의 물리적 성질인 공극률과 역학적 성질인 압력인자에 의해서 좌우된다(Overbeek, 1952). 이 논문에서는 실내에서 시료의 기본 물성 및 전기비저항과 탄성파속도와 일축 압축 시 시료 파괴로 발생하는 하중, 변위, 시료 위치에 따른 전위를 측정하여 측정 결과를 토대로 시료의 파괴거동에 따른 유동전위와의 상관성과 시료의 기본 물리적 성질 및 역학적 성질에 따른 유동전위와의 상관성을 분석하고자 하였다.

## 2. 실험 장치 및 방법

실내에서 암석 및 모르타르 시료를 이용하여 시료의 기본 물성 및 포화 시료의 전기비저항, 탄성파속도(P wave)와 일축 압축 시 시료 파괴로 발생하는 미소 전기적 신호(Streaming potential)를 측정하는 시스템을 구축하였다. 측정에 이용된 암석 시료는 현장에서 화강암, 석회암, 사암을 채취하여 제작하였으며, 모르타르 시료는 시멘트 : 표준사 : 물의 비율로 배합하여 제작하였다. 이 시료들은 직경이 50mm, 높이가 100mm인 1:2 비율로 원통형 시료로 성형되어 실험에 사용되었다. 기본 물성 및 전기비저항, 탄성파속도 측정은 암석 및 모르타르 시료의 어떤 물성 요인이 미소 전기적 신호 측정에 영향이 있는 파악하기 위하여 시료의 기본 물성 및 전기비저항과 탄성파속도를 측정하였다. Fig. 1은 암석 및 모르타르를 시료 성형에서부터 암반 공학적 물성 산출 및 전기비저항과 탄성파속도 측정까지의 일련 과정을 나타낸 것이다(김종욱 등, 2006).

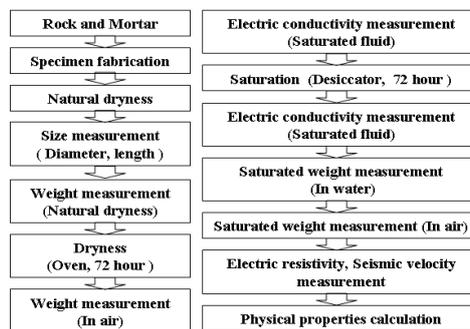
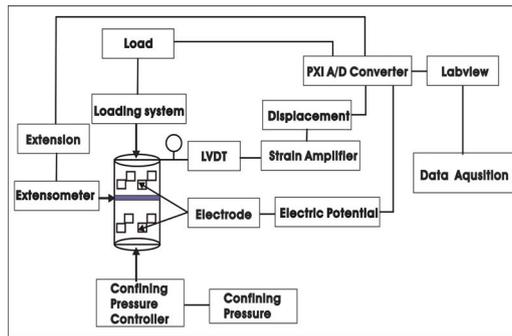


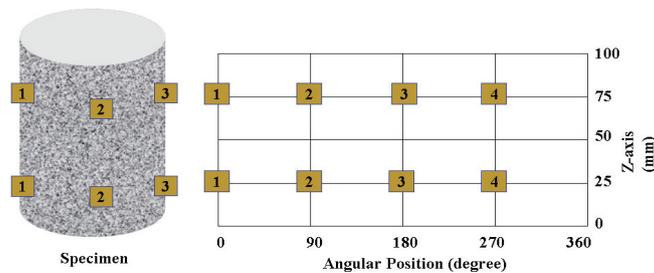
Fig. 1. Procedure for measuring the properties of rock and mortar specimens.

미소 전기적 신호 측정은 암석 및 모르타르 시료를 일축 압축하는 동안 발생하는 하중, 변위 및 미소 전기적 신호를 측정하기 위하여 측정 시스템을 구축하였다(Fig. 2).



**Fig. 2.** Configuration of the multi-channel acquisition system for measuring electric potentials generated by rock and mortar specimens during uniaxial loading, where the strains and loading weight is measured in same time.

미소 전기적 신호 측정 시스템은 압축 시험기(MTS 일축 압축기), 변위 측정기 (Extensometer(수평 변위), LVDT(수직 변위))와 암석 및 모르타르 신호에 부착된 전위 측정 전극 및 측정되는 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는 A/D 변환기와 A/D 변환기가 장착된 PXI(Pci Extended Interface)로 구성된다. 일축 압축시험기로부터 현재의 압축 중량을 나타내는 아날로그 전위값이 제공되며, 일축 압축에 의한 수평변위와 수직변위를 측정하는 Extensometer와 LVDT에서도 변위에 비례하는 전위값이 제공된다. 이러한 전위값들은 시료에서 발생하는 미소전위와 동시에 측정되며, 적절한 보정계수를 이용하여 실제 측정치로 환산된다. 미소 전위 측정 전극은 니켈로 이루어 졌으며, 시료의 위, 아래 두 전극을 한 조로 시료 표면에 90° 간격으로 4조가 은성분이 첨가된 전도성 경화제를 이용해 부착된다(Fig. 3).



**Fig. 3.** Electrode positions for the measurement of micro-electric potentials generated by an uniaxial loading. Potential differences between electrodes with same number are measured simultaneously.

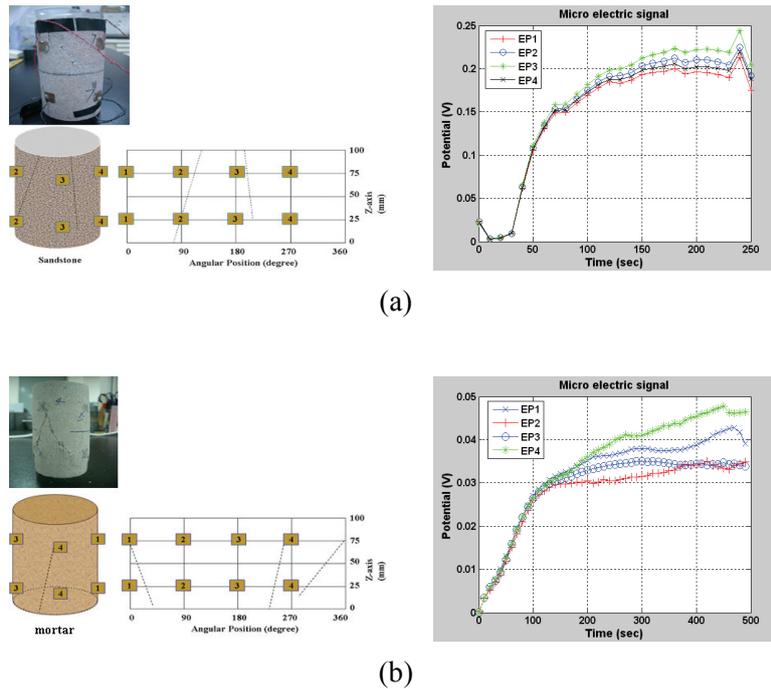
### 3. 결과 및 토의

#### 3.1. 시료의 파괴거동과 유동전위와의 상관성

이 연구는 암석 및 모르타르 시료의 일축 압축 시 하중에 따른 파괴 거동과 미소 전기적 신호의 상관성을 확인하고자 압축하여 파괴된 시료의 사진 및 시료에 설치

한 전극 채널의 위치, 파괴된 단층면을 나타냈으며 하중에 따른 각 전극 위치에 대한 미소 전기적 신호의 변화를 하나의 그래프로 나타낸 것이다(Fig. 4).

Fig. 4(a),(b)는 포화 상태의 사암 및 모르타르 시료의 파괴된 균열 위치와 하중에 따른 시료의 각 위치별 미소 전기적 신호의 측정결과를 나타낸 것으로, (a)에서는 2, 3번 전극 부분에서 표면상 균열이 발생하였으며 이에 따른 미소 전기적 신호는 다른 전극보다 신호가 더 증가되었음을 볼 수 있다. 또한 (b)에서는 1, 4번 전극 부분에서 표면상 균열이 발생하였으며 이에 따른 미소 전기적 신호는 다른 전극보다 신호가 더 증가되었음을 볼 수 있다.



**Fig. 4.** Position of electrode channel and fracture. Micro-electric signal result, during Experimental (a) saturated sandstone failure, (b) saturated mortar specimen failure.

이는 전극이 균열 위치와 가까이 있을 때 이온을 함유한 유체 흐름이 다른 위치보다 활발하기 때문에 전기동역학적인 유동전위가 높게 측정되는 원인이라고 볼 수 있다. 따라서 이러한 결과로부터 하중에 따른 미소 전기적 신호의 변화로써 균열의 방향성을 알 수 있었으며 시료의 파괴 거동과 미소 전기적 신호의 변화와 연관성이 있음을 확인할 수 있었다.

### 3.2. 시료의 기본 물리적 성질 및 역학적 성질과 유동전위와의 상관성

포화 상태의 화강암 및 모르타르 시료를 일축 압축시험을 수행하여 파괴되기까지 미소 전기적 신호 측정을 하였으며 이러한 신호 발생이 전기동역학 현상에 의해 발생된다는 것을 실험을 통하여 정성적인 결과를 도출하였다. 이 연구는 암석 및 모르타르 시료의 일축 압축 시 발생하는 미소 전기적 신호와 시료의 기본 물리적 성

질 및 역학적 성질과의 상관성을 확인하고자 모르타르 시료는 시료 6개를 이용하여 포화도 조절을 하여 포화도에 따른 미소 전기적 신호의 변화를 나타냈으며 화강암 시료를 이용하여 각 화강암 시료의 파괴하중에 따른 일축 압축강도와 미소 전기적 신호의 변화를 그래프로 나타낸 것이다(Fig. 5). Fig. 5(a),(b)는 포화 상태의 모르타르 시료의 포화도 조절 및 파괴하중에 따른 화강암 시료의 각 일축 압축강도별 미소 전기적 신호의 측정결과를 나타낸 것으로, (a)는 모르타르 시료 6개를 이용하여 포화도 조절을 하였으며, 각각 약 0%, 10%, 30%, 50%, 70%, 100% 증가함에 따라 신호가 증가됨을 알 수 있다. (b)는 화강암 시료들의 각각 파괴하중에 따른 일축 압축강도가 증가함에 따라 신호가 증가됨을 알 수 있다.

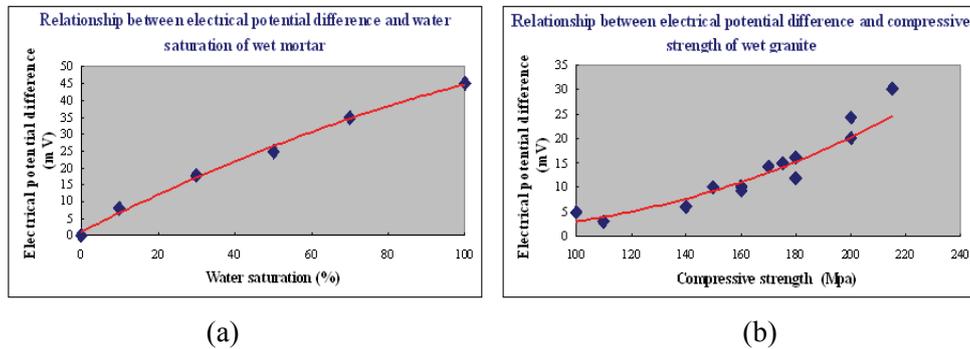


Fig. 5. Relationship between electric potential difference and specimen physical properties (a) water saturation (b) compressive strength.

(a)는 전기동역학 현상에서 공극률이 증가함에 따른 유동전위가 증가하는 이론에 근거하여 공극률이 증가함에 따라 공극 안에 있는 유체의 함량인 포화도에 비례하므로 포화도가 증가함에 따라 미소 전기적 신호가 증가하는 현상이라고 볼 수 있다. (b)는 전기동역학 현상에서 압력이 증가함에 따른 유동전위가 증가하는 이론에 근거하여 일축 압축강도가 증가함에 따라 미소 전기적 신호가 증가하는 현상이라고 볼 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 시료의 기본 물성 및 전기비저항, 탄성파속도와 일축 압축 시 파괴로 발생하는 미소 전기적 신호 측정하였으며 측정된 자료에 대한 분석 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 시료의 파괴 위치에 따라 각 위치에 대한 미소 전기적 신호의 변화를 측정하였으며, 파괴된 부분에서의 신호가 다른 위치보다 증가되었고 이를 바탕으로 압축하중에 따른 파괴 거동과 미소 전기적 신호의 상관성이 있음을 확인할 수 있었다.
- 2) 시료의 포화도가 증가함에 따라 일축 압축 시 파괴로 발생하는 미소 전기적 신호가 증가하여 공극 및 공극 내의 유체의 크기에 따라 유동전위가 변화함을 알 수 있었으며, 유동전위 이론에 근거한 공극률과 전위의 비례관계의 상관성을 도출할 수 있었다.

3) 시료별 일축 압축강도가 클수록 미소 전기적 신호가 증가하여 압력에 따른 신호의 변화가 있음을 알 수 있었고, 이는 유동전위 이론에 근거한 압력증가에 따른 전위의 비례관계의 상관성을 도출할 수 있었다.

이러한 기초적인 연구는 차후에도 더욱더 다양한 조건 및 환경으로 신뢰성 있는 자료를 획득하고 분석하여 현장으로서의 적용할 수 있는 토대를 마련할 수 있도록 실험을 수행할 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 한국지질자원연구원의 전문연구사업인 ‘지하정밀영상화 융합기술 개발’과제의 일환으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

- 김종욱, 조성준, 박삼규, 성낙훈, 송영수, 2006, 암석의 일축 압축 시 파괴로 발생하는 미소 전기적 신호 측정, 한국지구시스템공학회 2006년 추계학술발표회 논문집, 153-157
- Ahmad, U., 1964, A laboratory study of steaming potentials, *Geophysical Prospecting*, 159-162.
- Jouniaux, L., Bernard, M. L., Zamora, M., and Pozzi, J. P., 2000, Streaming potential in volcanic rocks from Mount Pelee, *J. Geophys. Res.*, **105**, 8391-8401
- Overbeek, J. Th. G., 1952, Electrochemistry of the double layer, in *Colloid Science, Irreversible Systems*, (eds) H.R Kruyt, Elsevier, New York, 115-193.
- Perrier, F., Trique, M., Lorne, B., Avouac, J. P., Hautot, S., and Tarits, P., 1999, Electrical variations associated with periodic spring discharge in western Nepal, *CR Acad. Sci. Paris, Serie II* 328, 73-79