

균열암반 물리검층 자료의 수리지질특성에 대한 다변량 통계분석

고경석, 황세호, 이진수, 김용제, 김태희

한국지질자원연구원 (kyungsok@kigam.re.kr)

<요약문>

To investigate the vertical petrological and hydrological characteristics of fractured rock, geophysical and chemical logging were executed at 5 boreholes installed in the study area. The geophysical and hydrochemical logging data were analysed by using principal components analysis (PCA). Three main variables from PCA explained 86.4% of total variance of geophysical log data. The PCA results showed that PC1 is closely related to groundwater properties and PC2 and PC3 are influenced by rock and fracture properties. Hydrochemical analysis indicated the presence of highly fractured zone at the depth of 60m.

key word : geophysical and chemical logging, fractured rock, PCA.

1. 서론

균열암반에서 지하수의 유동 및 용질의 이동 특성 해석을 위한 연구는 최근 산업폐기물이나 방사성 폐기물 처분장 부지 선정에 위하여 근래 들어 활발하게 연구가 수행되고 있다. 선진 외국에서는 스웨덴의 Stripa 광산, 미국의 Yucca Mountain 등이 대표적인 사례이며 일본의 경우 JNC에서 연구가 수행되고 있다. 이러한 균열암반의 특성을 알기 위해서는 지표지질조사, 지표물리탐사, 수리지시험, 수리지화학조사 등 다양한 연구 방법에 의해 연구가 수행되어진다. 물리검층의 경우 균열암반의 암상, 파쇄대 및 지하수의 특성 등에 대한 많은 정보를 비교적 빠른 시간내에 제공하므로 수직적 특성을 효율적으로 파악하는데 많은 도움을 주는 것으로 알려져 있다.¹⁾ 물리검층 조사는 이전에는 광상의 탐사²⁾ 등에 이용되었으나 최근에는 ODP(Ocean Deep Drilling Project)³⁾와 심부 지열조사에서 심부 지층의 특성을 규명하기 위하여 널리 사용되고 있다. 물리검층은 시추공 주변 지층에 대한 다양한 원위치 물성과 공내수의 특성을 측정하며, 시추공과 교차하는 파쇄대의 기하학적인 정보를 제공하기도 한다. 이러한 물리검층 자료를 해석하는데 있어 다변량 통계분석은 보다 복합적인 정보를 간결하게 해석하는데 도움을 준다.^{2,3)}

본 연구에서는 물리검층으로부터 얻어진 여러 가지 정보를 다변량 통계분석을 이용하여 해석함으로써 균열암반에 대한 물리검층자료의 보다 종합적인 해석을 하고자 하였다. 깊이별 측정된 수리지화학 특성 역시 이러한 물리검층자료와 비교하여 균열암반의 지질, 파쇄대 및 지하수의 특성을 융합 해석하도록 하였다.

2. 연구 결과

2.1. 연구지역 및 방법

연구지역은 충남 금산군 남이면 남이자연휴양림 일대이다. 이 지역은 시대미상의 변성퇴적암류, 쥐라기 흑운모 화강암, 그 상위를 백악기의 역질사암층, 응회암 및 이에 협재하는 퇴적암류, 그리고 하위의 제충을 관입하는 산성 화산암류, 규장암, 홍색의 장식 화강암 및 석영 반암이 분포하며, 그 상위에 부정합의 관계로 제4기의 충적층이 놓인다. 연구지역에는 5개의 시추공이 설치되었으며 시추코아 자료 결과 암상은 백악기의 소위 서대산 응회암으로 이루어져 있다. 안산암질 응회암은 대체로 회녹색 응회암질 바탕에 rounded한 역들이 포함되어 있고, 때때로 각상의 다른 암편을 포함하기도 한다. 일부 노두에서는 용결응회암이 관찰되는데 이들은 암편들이 용결(welded)되어 둥근 모습을 보이며 부분적으로 결정질 또는 유리질인 것도 많다.

연구지역에서 굴착한 5개 시추공에 대한 각종 물리검층을 수행하였다. 공경검층은 시추공과 교차하는 파쇄대 크기, 심도의 확인으로 1차원적인 분포(주향과 경사는 알수 없음)를 파악하였으며, 전기검층과 자연감마는 시추공 주변 지층의 전기비저항 변화에서 암상의 변화를 파악하며 단극저항검층 자료는 파쇄대 지시자(fracture indicator)로 이용된다. 온도와 전기전도도 검층은 공내 지하수의 온도와 전기전도도의 심도별 분포를 파악하며 심도에 따른 변화율과 공경검층, 단극저항검층, 음파검층 자료와 함께 투수성 파쇄대의 해석에 이용되었다. 깊이별 수리지화학 특성 조사를 위해서는 BH-2 관측공에 대하여 모두 15개의 시료를 채취하여 pH, EC, DO, 주요 양이온 및 음이온의 분석을 실시하였다.

물리검층 및 수리지화학 자료는 다변량 통계분석법인 주성분 분석을 이용하여 처리하였다. 주성분 분석시 사용된 자료는 물리검층의 경우 공경(Caliper), 자연감마, 전기비저항, 온도 및 전기전도도의 자료가 이용되었으며 수리지화학 자료는 분석된 주요 성분을 모두 이용하였다.

2.2. 물리검층 자료의 주성분 분석

물리검층 자료는 자연감마(API), 전기비저항(SPR), 공경(Cal) 온도(Temp) 및 전기전도도(Cond)의 값이 주성분 분석에 이용되었다. BH-1 관측공에 대한 주성분 분석 결과를 살펴보면 추출된 주요 3개 변수가 86.4%의 총분산을 설명하는 것으로 나타내며, 주성분 1, 2, 3은 각각 50.0, 20.5, 15.9%의 분산을 설명하였다. 각각의 상관관계를 살펴보면 지하수의 특성을 나타내는 온도와 전기전도도는 상관관계수 0.956으로 밀접한 상관성을 가지는 것을 알 수 있었다. 이는 지표 상부로부터 유입되는 온도가 낮고 전기전도도가 낮은 천부지하수의 흐름과 심부 지하수의 혼합 효과를 부분적으로 지시함을 알 수 있었다. 따라서 주성분 1은 지하수의 특성을 나타내는 온도와 전기전도도에 양의 상관성을 가지는 것임을 알 수 있었으며, 주성분 2는 자연감마에는 양의 영향을 로그공경값에는 음의 영향을 받음을 확인하였다. 주성분 3의 경우 전기비저항(SPR)에 음의 영향을 받음을 확인할 수 있었다. Fig.1은 주성분분석결과 얻어진 주성분 1과 2의 변수에 대한 설명값을 나타내는데 온도와 전기전도도, 자연감마와 전기비저항, 로그공경값이 각각 다른 영향을 나타냄을 확인할 수 있었으며 이는 각각의 변수가 암상의 특성, 지하수 및 파쇄면의 크기의 영향을 다르게 나타내기 때문인 것으로 사료되었다.

주성분 1과 2의 상관관계(Fig.2)를 살펴보면 깊이별로 뚜렷한 차이를 보여줌을 알 수 있었다. Fig.1과 Fig.2로부터 깊이가 증가하면서 PC1은 온도와 전기전도도의 증가에 의해 점차 증가하는 모습을 보여준다. 한가지 특징적인 사실은 Fig.2에서 보이는 것처럼 각 구간별로는 오히려 자연감마와 전기비저항 즉 암상의 특징을 나타내는 PC2에 의해 영향을 더 많이 받는 것을 알 수 있었다. 이는 각 구간을 구분하는 파쇄대에 의하여 지하수의 흐름이 영향을 받는다는 것을 나타내는 것이라 할 수 있을 것이다. 비교적 깊이가 낮은 곳에서는 공경의 크기에 가장 많은 영향을 받는 PC2의 변화가 뚜렷함을 확인할 수 있

었다. 이러한 분석 결과는 코아로깅 자료와도 일치하는 결과이며 각 구간을 구분짓는 곳에 파쇄대가 발달함을 확인할 수 있었다.

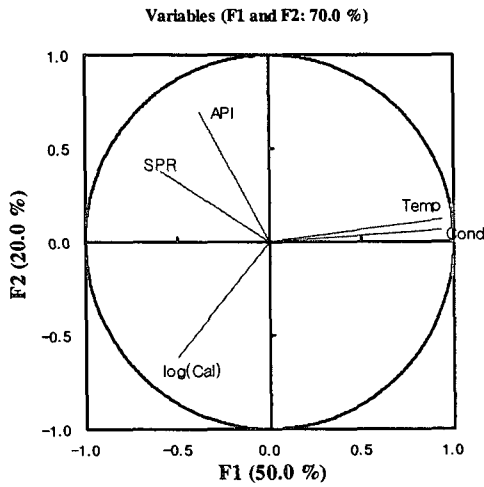


Fig. 1. Circle diagram illustrating variables of PC1 and PC2.

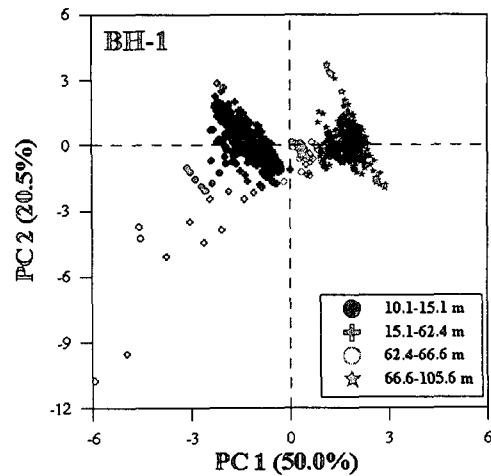


Fig. 2. The relationship between PC1 and PC2.

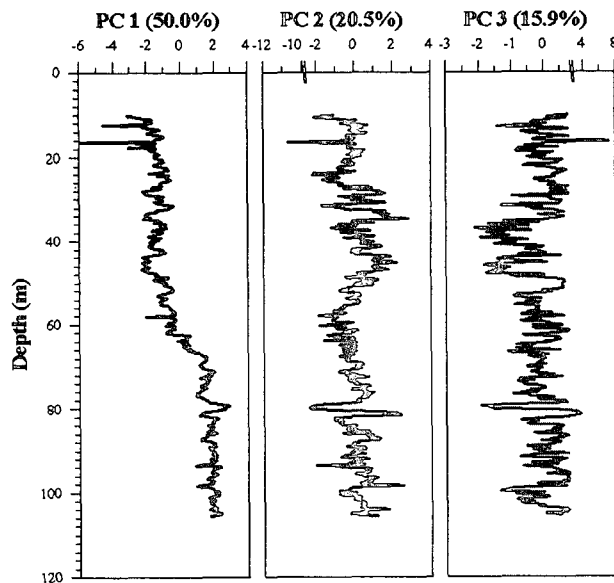


Fig. 3. Depth profiles of PC1, PC2 and PC3.

Fig.3은 주성분 1, 2, 3의 수직적 분포를 나타내는 것이다. 전술한 바와 같이 PC 1은 온도와 전기전도도의 분포와 같이 심부로 가면서 증가함을 알 수 있었다. 또한 PC1과 PC2는 60m를 전후로 하여 서로 다른 양상을 나타냄을 확인할 수 있었다. 반면 PC 2와 PC 3는 공경의 영향 등으로 60-80m 구간에서 서로 다른 양상을 보여줌을 확인하였다. BH-1 관측공의 경우 모두 응회암으로 되어 있어 물리검층에 의한 암상의 변화는 크게 나타나지 않으나 부분적으로 나타나는 암상의 변화와 공경의 차이가 이러한 변화를 나타내는 것으로 판단되었다.

BH-2 관측공의 수리지화학 분석 자료의 다변량 통계분석 결과는 60m 정도에서 뚜렷한 변화를 보임을 확인할 수 있었다. 또한 60m 부근 파쇄대에서 용존산소(DO), 산화환원전위(Eh)의 증가와 pH의 감

소는 이러한 파쇄대의 천부 지하수의 유입을 나타내는 것임을 알 수 있었다.

3. 결론

관측공에 대한 물리검층 및 수리지화학 특성은 균열암반의 암상, 파쇄대 및 지하수의 특성에 대한 종합적인 정보를 제공한다. 연구지역 관측공에서 물리검층 자료의 다변량 통계분석은 암상의 변화, 파쇄대의 발달, 지하수 흐름의 특성에 대한 특성을 잘 나타내는 것으로 조사되었다. 특히 지하수의 특성을 나타내는 온도와 전기전도도는 주성분 1에 의해 가장 큰 영향을 미치는 것으로 조사되었으며, 암상과 파쇄대의 특성은 주성분 2와 3에 의해 설명되는 것으로 사료되었다. 수리지화학적 특성은 천부지하수와 관련된 파쇄대의 지하수 흐름을 잘 나타내는 것으로 생각되었다.

4. 참고문헌

1. Rider, M., The geological interpretation of well logs, 2nd Edition, Whittles Publishing, Caithness (1996).
2. CinQ-Mars, A., Mwenifumbo, C. J., Killeen, P. G. and Chouteau, M., "Multiparameter geophysical logging at the Yava lead deposit: A statistical approach", *Geophy. Prospect.*, 40, pp. 829-848, (1992).
3. Bücker, C., Shimeld, J., Hunze, S. and Brückmann, W., "Data report: LWD data analysis of Leg 171A, a multivariate statistical approach" *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 171A, pp. 1-29.