

포천지역 지하수기초조사 산학연 공동탐사 사례연구(I): 공내탐사기술

유영철¹⁾ · 이상태¹⁾, 유영준²⁾, 황세호³⁾, 신제현³⁾

¹⁾(주)동아컨설팅 지반정보기술연구소, zerose@empal.com

²⁾대한광업진흥공사 국내탐사팀 탐사팀

³⁾한국지질자원연구원 환경지질재해실

Industry-University-Research Collaborative Geoscientific Study in Pocheon area for Groundwater Survey, Part I: Borehole Technology

Youngchul Yu¹⁾, Sangtae Lee¹⁾, Youngjun You²⁾, Seho Hwang³⁾, Jehyun Sin³⁾

¹⁾Geotechnological Information & Technic Institute., Dong-A Consultants

²⁾Domestic Mineral Exploration Team., Korea Resources Corporation

³⁾Geological & Environmental Harzards Div., KIGAM

요약 : 본 연구의 목적은 경기도 포천군 창수면 오가리 일대에서 복합검층기법을 통해 암상과 물성, 파쇄대간의 상관성을 분석하는데 있으며, 적용된 기법은 시추공영상촬영, 부유식 PS검층, 전기, SP, 자연감마, 밀도, 공경검층이 실시되었다. 검층결과에서 암상패턴, 파쇄대부근, 관입암에 의한 반응이 현저히 대분되고 결과적으로 지하수의 유동을 가능케 할 수 있는 파쇄대는 67~69m 부근에 존재하는 것으로 해석된다.

주요어 : 복합검층, 파쇄대, 지하수유동

Abstract : The purpose of this study is to analyze a correlation between lithology, rock physical property and fracture zone by multiple-logging method, which includes optic borehole image, suspension type PS, resistivity, SP, natural gamma, density, caliper logging located in Ogar test area, Changsu, Pocheon-gun, Gyunggi Province. The outstanding geophysical logging responses particularly shown from lithology pattern, fracture zone, dike zone. in result, the depth of fracture zone which enable groundwater flow estimated at 67~69m.

Keywords : multiple-logging ,fracture zone, groundwater flow

1. 서론

지하수 조사를 위한 물리탐사는 지하수 배태 가능성이 높은 지질구조를 탐사하는 것이 주된 목적이며 이후 실시되는 물리검층은 층적층의 두께, 지하수의 분포 및 유동경로 등 수리지질구조, 절리 및 파쇄대 등의 지질공학적인 특성 등을 파악하기 위하여 실시된다. 물리검층기법은 검층장비마다 1개의 파라미터(상대적인 공극, 암상, 및 암석 물성등)를 연속적인 기법으로 취득가능하기 때문에 지질공학, 지하수, 석유개발등에 효과적으로 사용되고 있다(Ellis,1987). 그러므로 실제 암반의 물성치 획득을 위해서는 검층기법이 복

합검층 형식으로 수행되어 여러 지구물리검층자료의 반응을 통한 정확한 물성치 및 지반 상태 추정, 상호보완적인 해석이 가능하다(유영철,2004). 시추공 검층은 탄성과 속도검층, 밀도, 전기비저항, 공경, 자연감마, 자연전위, 시추공 영상촬영 등이 실시되었고 대수성 시험, 암추자료, 실내 물성자료와의 암반층에 대한 수리지질학적, 지질공학적 지하구조를 해석하고 탐사 방법별 지하구조 해석의 상호 비교를 실시하였다.

2. 검층결과

2.1 시추공영상촬영

암반지하수의 대수층 조사에 있어서 시추 암추조사는 지하 암석 및 상태를 직접 확인하기 위한 중요한 수단이지만 시추공 굴착 및 암추회수 과정에서 단열의 간극 및 충전물질에 대한 정보가 유실 또는 왜곡될 뿐만 아니라 단열의 방향에 대한 정확한 정보를 획득하기 어려우므로 시추공내에서 디지털 영상촬영 자료로부터 시추공벽에 대한 자연 상태의 지층정보를 분석한다. 본 조사지역에서는 BH-1, 2호공에서 시추공 영상자료를 얻어 미세 절리(hairline fracture), 개구성 절리(open fracture), 파쇄대 등으로 분류하고, 이 자료들에 대해 절리분포, 입체투영망, 로즈도표, 암반 상태 등을 분석하였다. 절리의 방향은 기본적으로 입체투영망의 경우 극방향, 로즈도표의 경우 주향 방향의 형태로 표시하였다(Fig. 1).

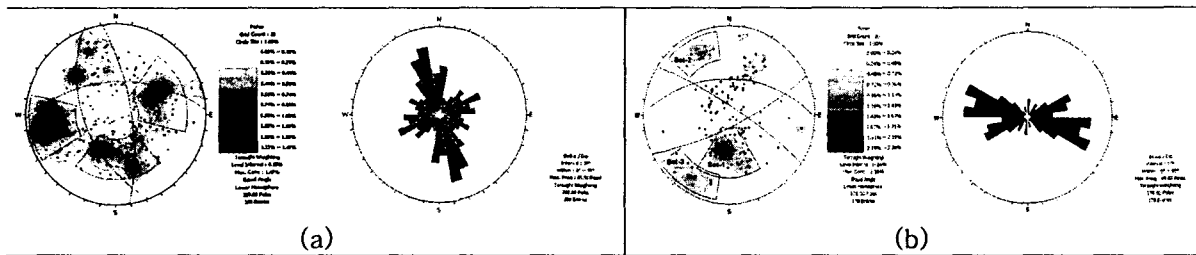


Fig. 1. Fracture stereograph plot and Rose diagram: (a) BH-1, (b) BH-2.

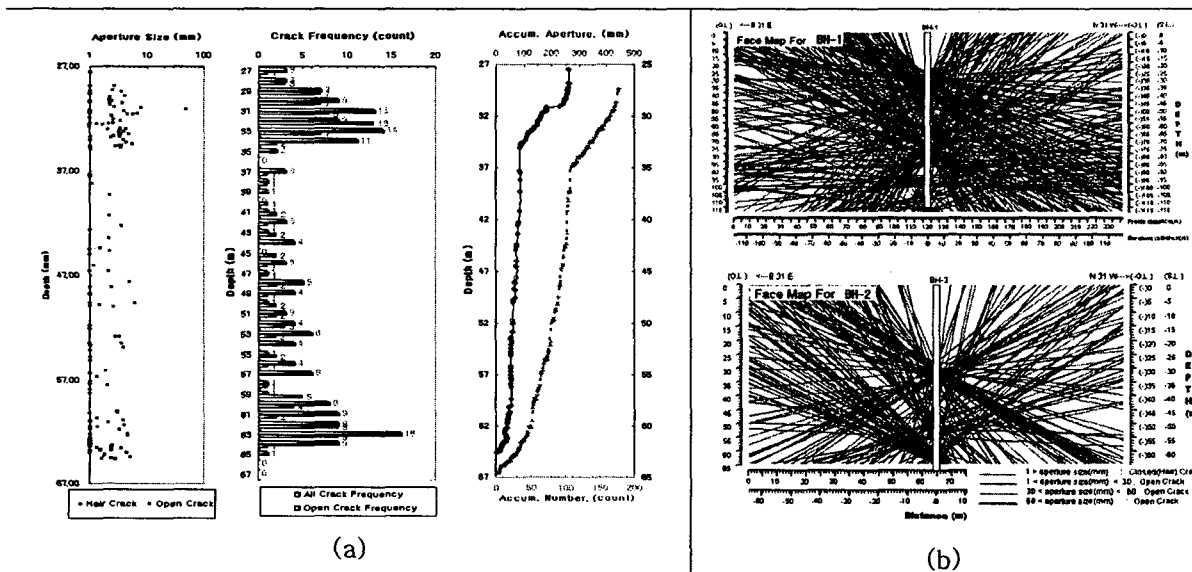


Fig. 2. Fracture distribution diagram: (a) depth diagram, (b)face mapping.

미세절리 및 개구성 절리는 주요 밀집 심도는 29~33, 59~70m까지 분포하며 이들 사이 구간에 존재하는 절리는 절리 틈이 없거나 1mm 정도로 지하수 유동이 어려울 것으로 해석된다(Fig.2. a). 절리군의 연장성을 파악하고자 절리군에 대한 시추공 Face-mapping 처리기법을 이용하였다. 그 결과 Fig.2. b.에 도시한 것처럼 BH-1~BH-2호공의 연결방향인 N31W, 남북, 동서 방향의 Face-mapping을 보면 지하수의 유동 통로가 될 수 있는 개구성 균열의 aperture가 60mm 이상의 것들이 BH-1호공에서는 2개소에서 발달하고 있으나 BH-2호공에서는 발달하지 않고 있다. 이는 암반내에 지하수 부존 가능한 지질구조대의 발달이 BH-1호공이 BH-2호공 보다 양호함을 시사하며, 두 시추공간에 60mm 이상되는 개구성 절리의 상호 연결성이 떨어짐을 의미한다. 한편 양수시험에서도 투수계수가 매우 낮게 산출되었다.

2.2. 부유식 공내속도검층

속도검층은 소스 및 하이드로폰이 시추공 중심에 떠있는 형태의 부유식 검층기(Suspension ps, OYO)를 사용하여 BH-1호공과 BH-2호공에서 실시하였다. BH-2호공의 경우 123m까지 2m 간격으로 측정되었으며, BH-1호공은 60m까지 1m 간격으로 측정되었다. 측정 자료는 장비 자체 포맷에서 sgy로 변환시킨 후 각각의 성분별로 배열하여 심도축에 따라 도시하였다(Fig.4). 이후 각각의 픽킹된 자료로부터 P,S파의 심도별 그래프를 도시하였고(Fig.2) 각층별 평균 속도치를 산출하였다(Table 1).

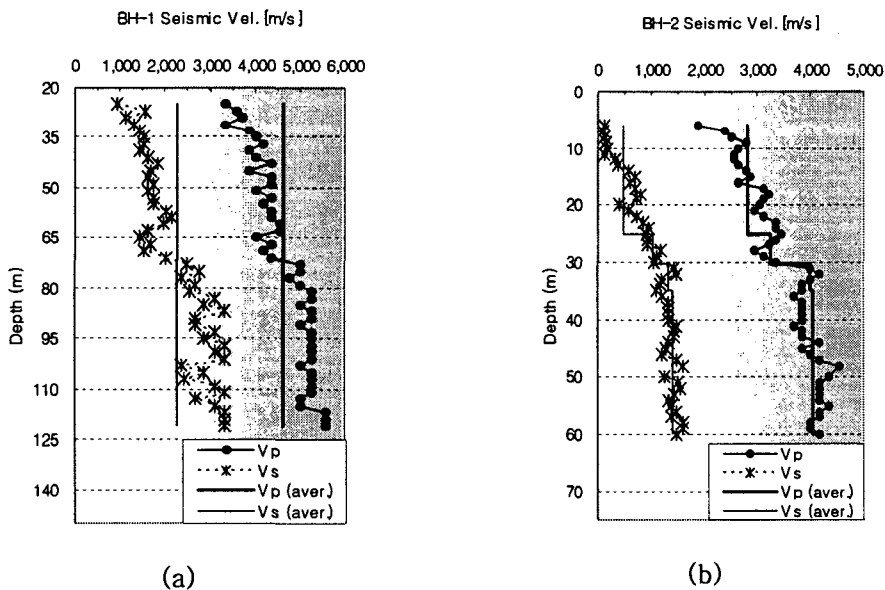


Fig. 2. The ps-velocity graph : (a) BH-1, (b)BH-2

Table 1. The PS Velocity of boreholes.

공번	Geology	Vp 평균 (m/sec)	Vs 평균(m/sec)
BH-1	경암층(화강암)	4,647	2,282
	충적층	2,813	484
BH-2	경암(화강암)	3,234	1,019
	경암(암맥)	4,003	1,325
	경암(화강암)	4,037	1,398

BH-2호공은 P파 속도검층 결과 충적층 구간인 심도 6~23m에서는 2,500~3,000m/s, 기반암 경계부인 23~26m에서는 3,300m/s, 화강암 구간인 심도 26~29m에서는 3,100m/s, 30~60m에서는 3,900~4,100m/s이다. 여기서 26~29m 구간에서 화강암반의 속도값 보다 낮은 것으로 보아 절리나 균열의 발달로 암반 풍화가 진행된 것으로 해석된다. 암맥 구간인 심도 31~33m, 48m에서 각각 4000~4,500m/s로 본 속도 검층 구간에서 가장 높은 값을 보이며 실내시험 자료인 비중과 비교할 때 평균치 보다 높다. S파의 경우 지표부근에 파장이 커지고 노이즈가 많이 함유하고 있어 심도별, 극성별로 도시하여 초동을 산출하는 것이 중요하며, 해석결과 경암층의 P파 속도는 3,234~4,647m/s로, S파의 속도는 1,019~2,282m/s로 산출되었다.

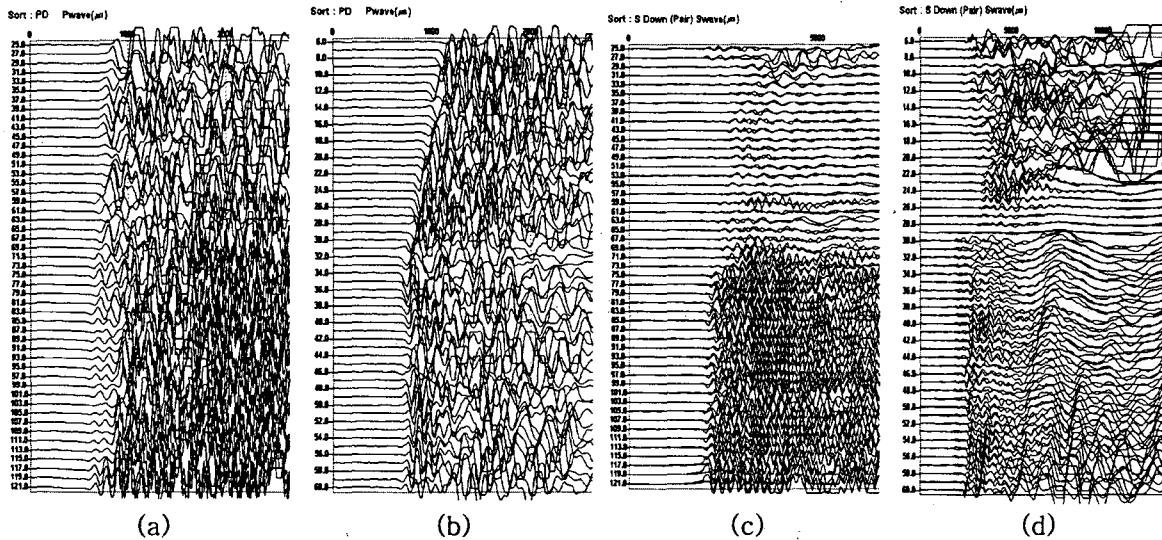
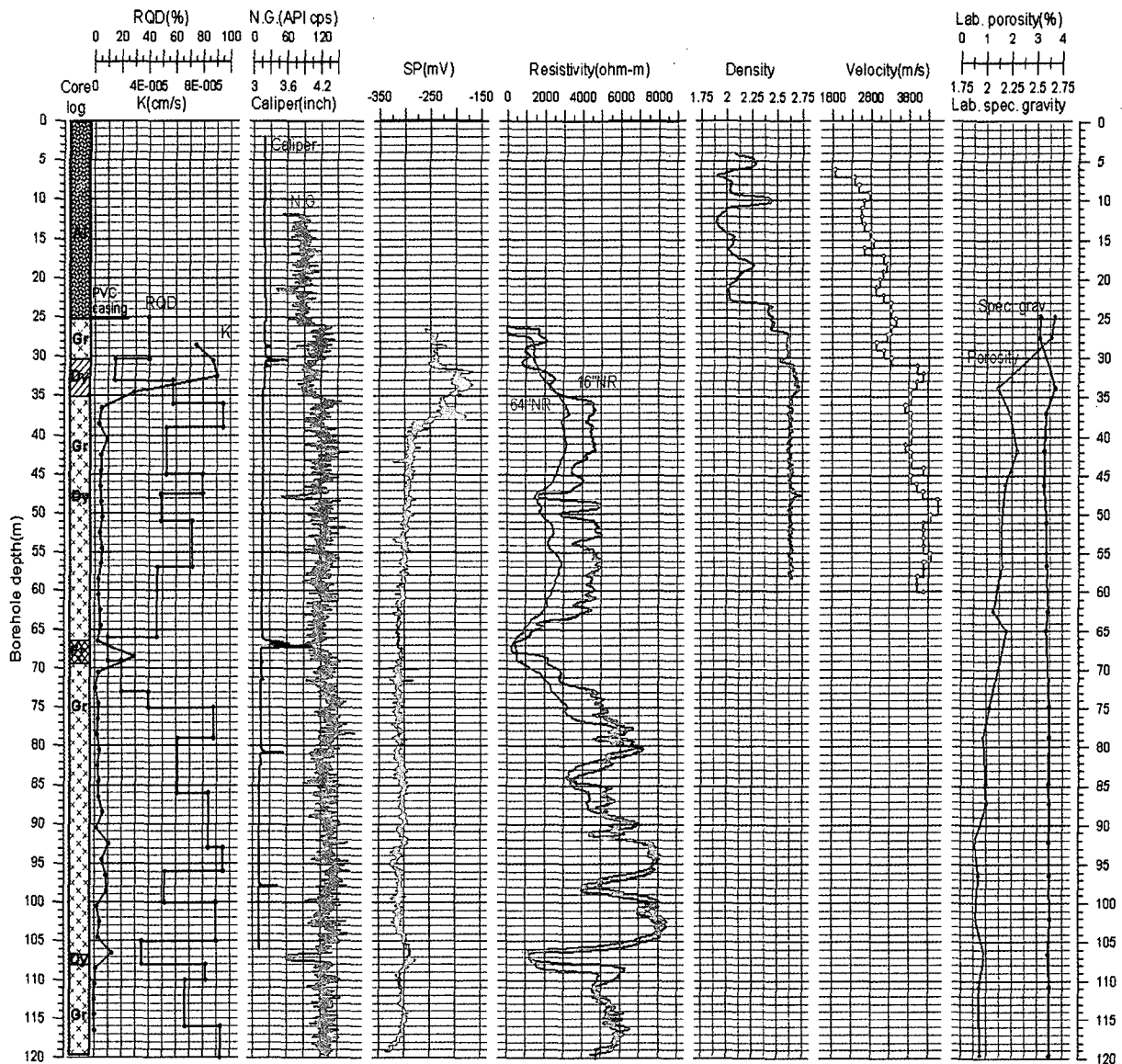


Fig. 4. Vp-Vs seismic wiggle traces of the suspension type ps logging: (a) Pd(BH-1), (b) Pd(BH-2), (c) Sd-pairing(BH-1), (d) Sd-pairing(BH-2)

2.3. 밀도, 전기, SP, 자연감마 검층

물리검층은 BH-2호공에서 공경, 자연감마, SP, 비저항, 밀도, P,S파 속도 검층, 유향유속 측정 등을 실시하였다(Fig. 5). 여기서 밀도와 속도검층은 조사당시 심도 65m에서 공내 봉락으로 그 이하의 하부심도에서는 측정이 불가능하였고 또한 유향유속 측정에서도 지하수 유동이 거의 없기 때문에 측정한계 범위를 벗어나 측정할 수 없었다. 본 탐사에 사용된 감마-감마(밀도) 검층은 137Cs 방사선원을 이용하며 원리적으로는 매질의 전자밀도를 측정하여 밀도를 측정하였으며, 밀도검층 결과 심도 4~23m의 충적층에서 2.0g/cm³, 23~26.5m의 충적층과 화강암 경계부에서 2.38g/cm³, 27~58m의 화강암에서 2.63g/cm³ 정도의 평균적인 밀도를 보이고 있다. 여기서 심도 5m, 10m에서 2.25g/cm³, 2.4g/cm³로 평균밀도 보다 높은 값을 보이는데 호박돌에 의한 영향으로 해석된다. 또한 심도 31~34m에서 평균밀도 2.63g/cm³ 보다 높은 2.7g/cm³ 정도로 암맥구간에 의한 영향으로 해석하였다. 감마선은 비교적 높은 에너지를 가지고 쉽게 물체를 투과하기 때문에 지하수가 없는 시추공이나 케이싱이 설치되어 있는 시추공에서도 측정이 가능하며 측정 센서로부터 약 15 cm이내의 지층에서 방출되는 감마선이 반응의 90%를 차지한다(이상규 등, 1998). 심도 60m까지 공내 시험자료를 서로 비교하면 충적층 구간인 심도 25m까지 자연감마는 90cps, 밀도는 2.0g/cm³, P파 속도는 2,500m/s, 화강암반에서는 자연감

마 120cps, 비저항 4,000~8,000 ohm-m, 밀도 2.63g/cm³, P파 속도 4,000m/s 정도의 평균치로 충적층과 암반층의 경계에서 뚜렷한 분포 차이를 보인다. 한편 심도 30~35m 사이의 암맥구간에서 RQD 값은 낮고 K 값은 높아지나 밀도나 속도 값은 증가하는 경향을 보이므로 암반의 강도 특성은 견고한 것으로 판단된다. 또한 이 구간에서 전기비저항 값은 2,000 ohm-m 내외로 화강암의 평균치 보다 낮아 전기전도도는 암맥이 화강암보다 양호하다. 따라서 본 검층에서 암추조사 자료와 비교할 때 충적층, 충적층과 암반층 경계, 암반층, 암맥 등의 물리적인 특성이 뚜렷하게 다를 수 있다.



5. 결론

물리검층 결과 절리의 분포는 무작위 적으로 존재하나 열린절리의 경우 일정심도에 집중해서 존재하였으며, BH-1호공이 BH-2호공보다 지하수 유동이 가능한 큰 열린 절리가 상대적으로 많아 지하수 유동에 유리한 것으로 나타난다. 충적층에서 자연감마 90cps, 밀도 2.0g/cm³, P파 속도 2500m/s이고, 화강암반에서 자연감마 120cps, 비저항 4,000~8,000 ohm-m, 밀도 2.63g/cm³, P파 속도 4,000m/s 정도의 평균치로 충적층과 암반층의 경계

가 뚜렷하였으며, 암맥구간에서 낮은RQD와 2,000 ohm-m 내외로 화강암의 평균치 보다 은 비저항을 보이거나 탄성과 속도 및 밀도는 증가하는 양상을 복합검층 결과 나타냈다.

감사의 글

본 연구는 산학연 공동 연구로 수행되었으며, 공동연구를 주관해주신 광업진흥공사 관계자 여러분과 한성대, 자원연, 동아건설턴트 임원분께 감사드립니다.

참고문헌

- 이상규, 황세호, 황학수, 박인화, 1998, 지하물성의 정보화를 위한 물리검층의 품질관리 연구, 한국자원연구소, KR-98(C)-10, p.65.
- 유영철, 이상태, 송무영, 2004, 다목적 물리검층 및 시험용 공개 시추공 프로젝트 소개 .대한지질공학회 춘계학술발표회.
- DarwinV. Eliis, 1987, Well logging for earth scientists, elsevier science press., p.5~7.