

풍암퇴적분지 내 시추공 PABH1에서 불연속면에 대한 물리검층방법의 적용

Discontinuity Analysis Using Well Log Methods from a Borehole-PABH1 in the Pungam Sedimentary Basin

김 영 화 (Y. Kim)

강원대학교 지구물리학과

장 승 익 (S. I. Jang)

강원대학교 지구물리학과

김 중 열 (J. Y. Kim)

한국자원연구소 탐사개발연구그룹

현 혜 자 (H. J. Hyun)

한국자원연구소 탐사개발연구그룹

요약/ABSTRACT

강원도 홍천군 서석면 어론리에 소재하고 있는 지구물리검층 실험공 PABH1의 65미터-125미터 구간에서 물리검층방법을 중심으로 불연속면 분석을 실시하였다. 물리검층으로는 전기비저항검층과 단극법검층, 감마검층, 밀도, 공경 검층 등 일반적인 검층방법과 함께 시추공텔레뷰어와 시추공텔레비전 검층 방법이 적용되었으며 코어스캐닝 기법을 활용한 코어검층이 함께 이루어졌다. 각 검층방법에 따른 결과들은 독립적으로 분석된 후, 시추공 텔레뷰어의 결과와 코어검층의 결과를 비교 분석하고 최종적으로 이 결과를 일반적인 물리검층 분석결과와 비교하는 방법을 사용하였다. 분석결과, 각 방법에 따라 얻어진 불연속면 상호간에 있어서의 상관성과 차이를 알 수 있었으며 이로부터 시추공 불연속면에 대한 종합적 판단이 가능하였다. 불연속면 탐지에 있어서 일반물리검층의 결과가 텔레뷰어검층의 결과와 좋은 상관성을 보였음이 주목되며 특히 공경, 비저항, 밀도 및 고해상 감마감마 곡선이 불연속면의 존재에 민감한 것으로 나타났다. 아울러 물성반응 중에서 BRD/SHN값이 본 지역과 유사한 지질환경에서 절리 및 파쇄대의 좋은 지시자 역할을 할 수 있는 것으로 나타났다.

주요어 : 지구물리검층, 코어검층, 불연속면, 지시자

Multiple well log analysis technique consisting of geophysical well log and geological core log has been made to analysis the discontinuities of a test borehole-PABH1 located in Pungam sedimentary basin, Sosok, Hongchon-gun, Kangwon Province. Well log methods consist of normal resistivity log,

focussed log, single point resistance log, SP log, gamma log, natural gamma log as well as acoustic televiewer log and borehole television log. Core scanning technique was used as an aid for geological core log. The analysis was made by comparing firstly the televiewer and core discontinuities, and then the results from conventional geophysical log analysis were compared to those from core log and acoustic televiewer log. Fractures deduced from the acoustic televiewer log coincide well with discontinuities shown on the core and conventional geophysical logs. Particularly close coincidence could be observed between fractures derived from acoustic televiewer and conventional geophysical log analysis. It has been noted that the geophysical logs such as, caliper, resistivity, density and high resolution gamma gamma curves are effective in delineating the fractures. For example the ratio between density and resistivity (BRD/SHN) provides also an alternative indicator for discerning the fracture condition in the study area.

Key Words : Geophysical Log, Core Log, Discontinuity, Indicator

서 론

강원도 홍천군 서석면 어른리에 위치한 실험시추공 PABH 1(Fig. 1)은 화강편마암의 퇴적기반암 위에 사암, 셰일 및 역암이 빈번하게 교대하는 퇴적상을 보이고 있으며 화산암류와 각종 화성활동의 영향 및 파쇄대의 존재 등, 다양한 지질구성(강필중, 진명식, 1972; 김경희, 1998)으로 암석의 물성연구에 매우 좋은 지질조건을 가지고 있다. 김영화와 장승익(1998b)은 물리검층으로 얻은 전기비저항검층과 자연감마검층, 밀도검층곡선들이 물성 측면에서 매우 좋은 일관성을 가지면서 퇴적암과 화산암, 화강암질암으로 이어지는 암상분포와 좋은 상관성을 보이고 있음을 보고하였다. 그러나 검층자료의 정밀분석에 의하면 각 암종별 비저항 곡선 내에서도 상당한 변화를 보이고 있는바 이는 주로 암석의 풍화, 특히 암반 내에 발달하는 불연속면의 존재에 기인된 것으로 판단되고 있다.

암반 내의 불연속면의 존재는 석유지질분야에서도 중요한 관심사의 하나이지만 최근에 와서 토목지질학이나 지하수 또는 환경지질학적 측면에서 더욱 중요한 의미를 가지면서 물리검층반응 연구의 새로운 관심사가 되고 있다. 불연속면은 작게는 벽개에서 편리, 절리 그리고 크게는 단층파쇄대와 같은 대규모적인 지질구조를 다 포함하고 있으나 본 연구에서는 인장강도가 전혀 없거나 아주 낮은 값을 갖는 역학적 불연속면(김영근, 1996)으로서 물리검층반응 또는 텔레뷰어반응과 관련되어 특징적인

물성치를 보일 수 있는 규모의 불연속면을 의미하고 있다.

일반적으로 불연속면은 물리검층에서 저밀도와 저비저항으로 대표되는 현저한 물성특성을 보인다. 그러나 저밀도 저비저항이 불연속면 또는 파쇄대의 직접적인 증거가 되지 못하는 경우가 많으며 이것이 불연속면 탐지에서 일반적인 물리검층방법이 가지는 한계라고 할 수 있다. 이에 비하여 시추공텔레뷰어검층은 시추공벽면에서 반사되는 반사파의 진폭 및 주기를 측정하고 분석함으로써 지반 내에 발달한 단층 및 절리의 크기, 경사각 및 경사방향, 현지암반강도의 변화, 암석의 역학상태까지 정량적으로 규명 할 수 있다는 점에서 불연속면 탐지에 가장 효과적인 조사방법으로 알려져 있다(김중열과 Schepers, 1995; 하회상 외, 1996; Schepers, 1996; 김중열, 1998a). 시추공텔레비전(BTV)은 비록 분해능과 정량적 처리 기능이 떨어지나 가시광선에 의한 확인과 입체적 관찰의 측면에서 시추공텔레뷰어의 기능을 보완하는 이점이 있다.

따라서 본 연구에서는 텔레뷰어와 시추공텔레비전 및 일반적인 물리검층방법을 함께 적용하여 불연속면에 대한 종합분석을 수행하고 이를 반복적인 정밀 코어분석으로 획득된 불연속면 자료와 비교 분석함으로써 불연속면 조사에 응용된 각 기법의 효율성과 그들 상호간의 연계성을 추적하였으며 향후 비슷한 지질지역에서의 물리검층에 의한 불연속면 탐지의 가능성과 한계를 추적하였다. 초기 연구임을 감안하여 연구대상은 시추공텔레뷰어 자료가

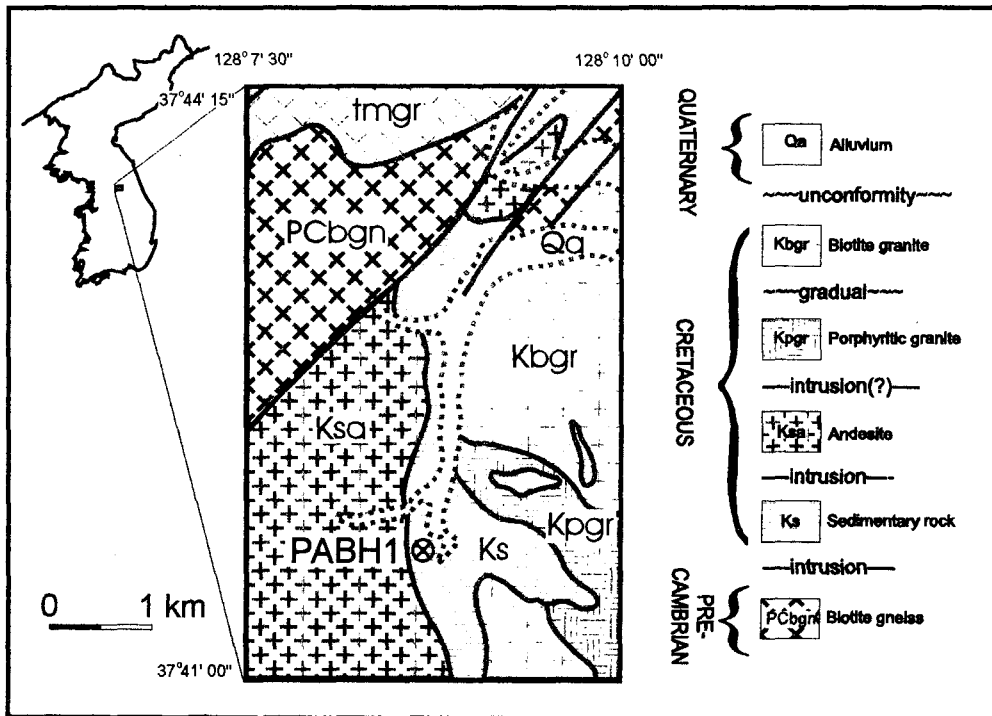


Fig. 1. Geologic map and location of test borehole PABH1. The borehole is situated in a Cretaceous sedimentary basin which is called Poongam basin.

양호한 상태로 획득되어 자료비교가 용이한 64-121미터 구간으로 한정하여 적용되었다.

연구 방법

본 연구는 코아시료를 이용한 불연속면분석과 일반적인 검층해석에 의한 불연속면분석, 그리고 영상물리검층법이라 할 수 있는 텔레뷰어검층 방법에 의한 불연속면분석의 3부분으로 나누어 실시되었다.

코아상에서의 불연속면에 대한 분석작업은 깨어진 면들에 대한 연결 작업을 수행한 후, 코어의 반복관찰에 의하여 이루어졌다. 분석작업 수행과정에서 발생할 수 있는 코아 뒤틀림과 인위적 파괴에 의한 교란을 방지하고 판정의 일관성을 위하여 코어 획득 초기단계에서 촬영된 코아사진과 특정구간의 코어에 대한 칼라디지털촬영(김중열,1996 ; 김중열과 Rafat,1997, 김중열, 1998b) 기법인 코어스캔

영상자료를 활용하였다. 본 연구에서는 관찰된 불연속면의 유형을 불연속면의 연결상태, stain 또는 변질의 유무, 매끄러운정도(roughness), 충전물 등을 판단의 기준으로 삼아 파쇄대(이하 A형)를 비롯하여 코아 불연속형(이하 B형), 단순절리형(이하 C형), 불확실한 열린절리 또는 아문절리형(이하 D형)의 4가지 유형으로 구분하였다(장승익, 1998).

절리 및 파쇄대를 규명하기 위한 물리검층으로서 시추공의 상태를 시각화 또는 영상화하는 검층에 속하는 시추공텔레뷰어(ATV)와 시추공텔레비전(BTV) 검층이 실시되었으며 시추공 구성 암석과 유체의 물리적 특성반응을 중심으로 하는 일반적인 물리검층(이하 일반물리검층)이 적용되었다. 시추공 텔레뷰어검층에서는 FACSIMILE 40 Acoustic Borehole Televiwer(김중열외, 1995)를 사용하여 주파수 1.4MHz 대역의 초음파 빔(beam)을 시추공 벽에 거의 수직으로 주사하여 그로부터 얻게되는 반사파의 진폭 및 주기를 분석함으로써 절리의 방

향 및 경사, 크기 및 빈도를 파악하였다. 텔레뷰어에서 얻어진 불연속면의 구분은 진폭이미지(Amplitude Mode)와 주시이미지(Time mode)를 이용하여 뚜렷한 절리(Clear fracture)와 일반적인 절리(Normal fracture), 그리고 부분적으로 인지된 절리(Acceptable fracture)로 3구분하여 이루어졌다. 한편 텔레뷰어검층에서 나타난 불연속면에 대한 정성적 관찰을 목적으로 Model K-CAMLOG 45 system(정현기외, 1996)을 사용한 시추공텔레비전검층이 보조적으로 수행되었다.

일반물리검층은 Portalog III System을 이용하였으며 전기비저항, SP, 자연감마, 감마-감마검층 방법을 중심으로 분석이 이루어졌다. 공경검층은 Robertson Geologging Company의 Side wall density tool에서의 single arm calipering으로 자료 획득이 이루어졌다. 물리검층의 방법은 김영화와 장승익(1998b)에서와 동일하다. 원칙적으로 코어검층과, 텔레뷰어검층, 시추공텔레비전검층 및 일반물리검층 결과 얻어진 불연속면의 정보들은 독립적으로 분석이 이루어졌으며 분석 후의 불연속면 자료들을 서로 종합, 비교분석의 과정을 거치게 함으로

써 절리 및 파쇄대 해석의 신뢰도를 증대시킬 수 있도록 하였다. 비교분석의 순서로는 시추공텔레뷰어검층과 코어검층 결과의 비교를 우선하고 이 결과를 일반물리검층 결과에 적용하는 방식을 사용하였다.

불연속면 관찰 결과

서술된 방법에 따라 65미터와 121미터 심도 사이에서의 코어검층과 텔레뷰어검층, 그리고 일반물리검층의 결과를 해석하여 불연속면의 존재가 구해졌으며 이들을 각기 코어 불연속면, 텔레뷰어 불연속면, 그리고 일반물리검층 불연속면으로 명명하였다. 불연속면의 내역은 시추공텔레비전검층에서의 결과를 포함하여 Fig. 2에서 6 까지의 그림과 Table 1과 2에 제시되어 있다.

1. 코어 불연속면

코어시료에 대한 육안관찰과 코어스캔 자료를 통한 코어불연속면은 Fig. 2에서 제시된 바와 같이 4개의 유형으로 구분되었다. A형은 코어가 나타나

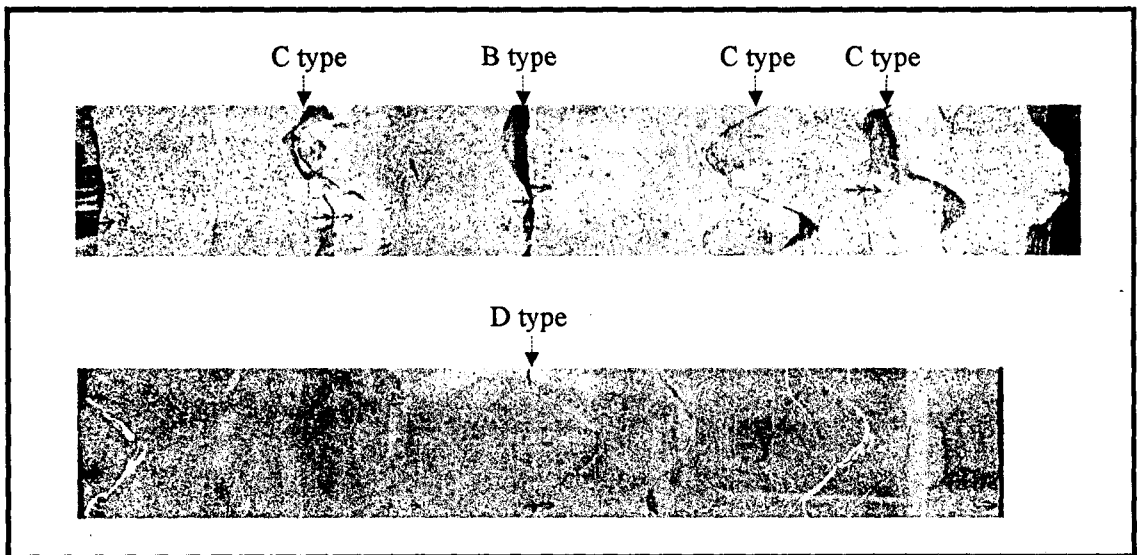


Fig. 2. Example of discontinuity types shown on core scanning image. Type A, B, C and D represent fracture zone in crushed core state, discontinuity with non-mating surfaces, discontinuity with two mating stained or clay coated surfaces, and discontinuity with two mating clean surfaces, respectively.

Table 1. Information of discontinuities obtained from geological core log.

DEPTH (m)	Discontinuity		DEPTH (m)	Discontinuity	
	Type	Dip		Type	Dip
67.40	B	30°	93.23	B	10°
68.27	C	23°	94.40	A	
68.75	A		94.70	B	10°
69.26	C	15°	95.28	B	10°
69.38	B	00°	96.25	A	55°
70.30	C	00°	97.00	B	00°
70.67	C	55°	98.55	C	23°
71.55	B	00°	100.45	B	60°
72.25	B	00°	101.67	B	45°
73.39	C	10°	101.82	B	40°
74.30	B	15°	102.04	B	20°
75.09	B	40°	102.70	B	30°
75.65	B	40°	103.00	B	45°
79.85	B	50°	103.25	B	20°
81.62	B	20°	105.00	C	10°
81.77	B	20°	109.98	B	10°
83.37	B	28°	110.98	B	30°
84.00	A		114.15	A	
86.30	B	25°	116.65	A	
87.08	B	00°	119.20	C	60°
88.00	B	00°	119.80	B	60°
89.10	B	40°	120.20	A	50°
89.35	B	00°	121.40	B	50°
91.30	B	30°	121.73	A	
92.16	B	35°			

Table 2. Information of discontinuities obtained from acoustic televiewer log.

DEPTH (m)	Discontinuity		DEPTH (m)	Discontinuity	
	Type	Dip		Type	Dip
65.80	3	32°	96.70	1	65°
66.55	3	23°	98.05	1	45°
67.45	2	49°	98.20	1	22°
68.73	3	28°	98.50	2	30°
72.95	1	43°	99.20	1	22°
73.93	3	42°	99.45	1	46°
77.50	1	57°	101.30	3	15°
79.00	3	12°	106.45	1	27°
79.15	1	37°	107.30	1	28°
80.60	1	33°	110.32	3	20°
83.30	1	27°	110.60	1	14°
84.10	1	07°	112.90	1	43°
84.96	1	41°	115.90	1	65°
85.90	1	32°	116.00	2	70°
86.25	2	15°	116.50	1	63°
88.10	1	33°	117.70	1	75°
89.90	3	39°	117.90	1	61°
91.02	3	58°	118.05	1	70°
91.79	3	17°	118.50	1	48°
92.70	1	51°	118.90	1	37°
93.50	1	27°	119.90	1	53°
95.21	3	20°			

지 않거나 부서진 암편상으로 관찰되는 구간으로 코어의 연결이 불가능한 경우에 해당된다. B형은 파쇄대로 인지된 부분은 아니나 마주 보는 두 분리면이 하나로 연결되지 못하며 두 분리면 중의 최소

한 하나에는 staining 또는 변질의 흔적이 있는 경우에 해당한다. 이는 소규모의 파쇄대이거나 시료가 유실된 결과에 해당될 것으로 판단된다. C형은 마주 보는 두 분리면이 하나의 절리면으로 일치되며 아울러 절리면에서 staining 또는 변질의 흔적이 관찰되고 있는 경우에 해당된다. 이에 비하여 D형은 하나의 절리의 존재로 일치되는 두 분리면에서 staining 또는 변질의 흔적이 전혀 관찰되지 아니하거나 이차적으로 충전된 절리(sealed crack)에 해당되는 것으로 굴착 이후에 발생한 인위적인 절리와 구분되어 용이하지 아니한 경우에 해당된다. 본 연구에서는 코어 상에서 관찰된 4가지 유형 중에서 열린 절리의 가능성이 상대적으로 가장 낮은 불연속면인 D형을 제외하고 A, B, C형에 해당되는 불연속면을 비교분석의 대상으로 삼았으며 그 내역이 Table 1로 제시되었다.

2. 시추공텔레뷰어 불연속면

시추공텔레뷰어검층 결과는 반사파의 에너지 정보인 진폭이미지와 주시이미지로 표현되었으며 이로부터 불연속면의 주향과 경사 등에 대한 정량적인 정보가 유도되었다(Table 2). Fig. 3은 심도 119미터 부근에서 수행된 텔레뷰어탐사의 자료처리 결과의 하나로서, 첫 번째 트랙은 공벽으로부터 반사된 초음파의 진폭치를 그 크기에 따라 상대적으로 표현한 진폭이미지를 나타내고 있다. 여기서 상대적으로 낮은 진폭치를 대변하는 어두운 색깔이 절리나 풍화의 영향을 반영하고 있는 것으로 두 번째 트랙에서의 텔레뷰어 암석강도(televiewer rock strength)와 함께 불연속면 발달상태를 잘 반영하고 있다. 즉 절리나 풍화를 지시하는 어두운 부분의 중심이 진폭이미지에서 산출된 텔레뷰어 암석강도(Kim et al., 1996, 김중열외, 1996)의 저하와 잘 일치하고 있어 절리나 파쇄대가 역학적 불연속면임을 뚜렷하게 보여주고 있다.

세 번째 트랙은 텔레뷰어의 고분해능 공경검층 기능에 의해 시추공 내벽상태를 그대로 표현한 것(3D caliper log)으로 절리의 열린상태가 뚜렷이 인식되며 더구나 그에 따른 절리방향 및 경사가 시각적으로 표현되고 있다. 네 번째 트랙은 진폭이미지에서 관찰된 각 절리의 경사방향(화살대) 및 경사각을 화살모양(arrow plot)으로 나타내고 있다. 화

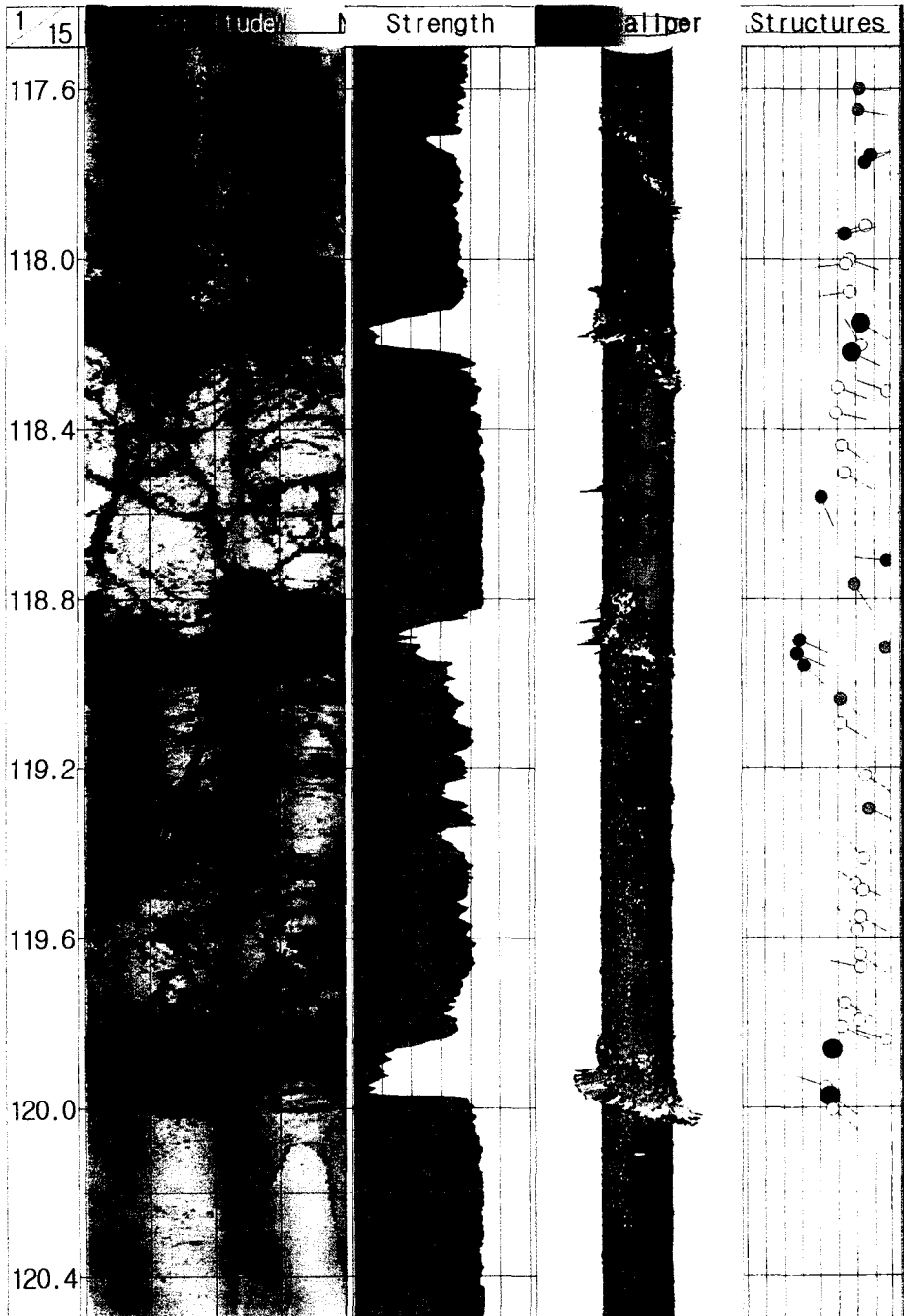


Fig. 3. Presentation of the result of acoustic televiewer log. The first track shows the amplitude image whose dark part representing the low amplitude delineates the presence of fractures. The second shows televiewer rock strength, and the third and fourth tracks reveal the 3D caliper log and arrow plot of fractures, respectively.

살머리의 위치는 한 칸이 10°인 경사각을 표현하고 있으며 화살머리 모양에 따라 3종류의 불연속면 유형이 구분 표시되어 있다. 즉 검게 칠해진 부분(solid circle)이 진폭이미지(Amplitude Mode)와 주시이미지(Time mode) 양쪽 모두에서 선명하게 나타난 불연속면(Clear fracture)으로서 Type 1으로 명명된 것이며 옅게 칠해진 부분(shaded circle)은 진폭이미지에서 선명하게 나타나는 반면에 주시이미지에서는 부분적으로 나타나는 불연속면(Normal fracture)인 Type 2, 그리고 빈 부분(open circle)이 진폭이미지에서 부분적으로 인지가 가능하여 충진

절리(sealed crack) 또는 작은 규모의 열린 절리로 추정되는 불연속면(Acceptable fracture)인 Type 3이다.

Fig. 4에서는 본 실험시추공의 심도 64m~130m 구간에서 관찰된 모든 불연속면 자료에 대한 통계학적 분석결과를 보여주고 있다. 그림의 좌측은 절리의 경사방향과 경사각을 대변하는 pole diagram을 나타내고 있으며 우측은 절리 경사방향의 히스토그램이다. 대체로 두 개의 주된 경사방향(약 120°, 260°)이 관찰되며 그 중 120° 경사방향이 가장 우세를 보인다.

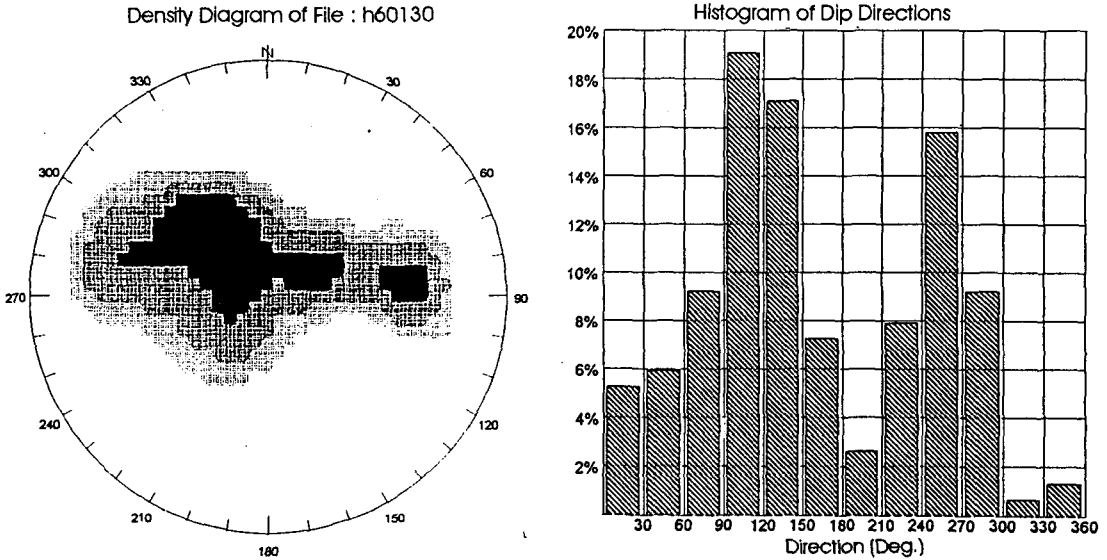


Fig. 4. Statistical presentation for the dip direction and dip angle of the discontinuities measured from acoustic televiewer. Left : pole diagram Right : histogram of dip direction.

3. 일반지구물리검층 불연속면

Fig. 5은 일반물리검층곡선과 이로부터 구해진 불연속면의 위치를 나타내고 있다. 물리검층에서 불연속면해석에 사용된 자료로는 전기비저항 짧은 이극법(SHN), 단전극(SPR), 자연감마(N GM), 공경검층(CAL) 그리고 감마감마검층의 BRD(Bed Resolution Density) 및 밀도(DN95) 곡선이다. 특히 박층의 퇴적암이 자주 교대되고 있는 본 지역의 지질특성에 기인하여 매우 복잡하게 나타나는 검층곡선의 형태는 단일 검층곡선에 의한 불연속면의 존

재 파악을 매우 어렵게 하고 있으므로 여러 검층곡선의 특성을 종합한 판단이 절대적으로 필요하였다.

한 예로 절리 및 파쇄대가 나타내는 일반적인 특성은 낮은 전기비저항값과 낮은 밀도, 낮은 속도, 그리고 비이상적인 공경변화 등이 포함될 수 있으나 낮은 전기비저항의 존재는 박층의 세일과 혼동될 소지가 있으며 낮은 밀도의 존재 또한 시추공에서 흡수(吸水)에 따른 세일의 조직붕괴현상(Sloughing)을 염두에 두고 해석하여야 했다. 본 연

구에서는 정상계 세일이 포화상태의 밀도가 2.75g/cm³ 이상인 고밀도 지층이란 점(김영화, 장승익, 1998b)이 절리와와의 구분에 좋은 단서를 제공할 수 있었다.

한편 전구간에 걸쳐 76mm 내외의 거의 일정한 크기를 보여주면서 일부 구간에서 공경변화를 보이고 있는 공경검층 곡선은 절리, 특히 파쇄대의 존재를 매우 효과적으로 나타내고 있는 것으로 판단되었다. 특히 주목할 만한 공경 변화의 위치는 68.0m, 73.8m, 86.8m, 93.4m, 120.6m 등의 심도에서 나타나며, 이러한 결과는 밀도에 대한 고해상도의 정보를 주는 BRD자료와 좋은 상관성을 보여주고 있다. 전기저항곡선 중의 짧은이극법곡선과 단전극법곡선이 비교적 절리에 민감하게 나타나고 있다. 일반적으로 저비저항과 저밀도, 자연감마, 그리고 비이상적 큰 공경의 존재는 잘 알려지고 있는

절리지시자(fracture indicator ; Keys, 1989) 이나 감마값의 고저는 지질, 특히 수리지질학적 특성에 따라 달리 나타날 수 있다. 따라서 일반적인 물리검층에 의한 절리판단은 저비저항과 고감마값, 비이상적 공경을 기준으로 삼았으며 자연감마값의 변화를 포함한 각 검층곡선의 형태적 특성을 보조 자료로 이용하여 정성적으로 수행되었다. Fig. 6은 일반물리검층곡선으로부터 불연속면 검출을 위한 정량적 접근 방법의 하나로서 이동평균법에 기초한 필터링 기법을 BRD 자료에 적용한 결과이다. BRD 곡선에서 N=50과 N=3을 사용하여 이동평균(moving average)한 결과와 그 잔여값(residual value)이 각기 첫 번째와 두번째 트랙에 제시되어 있으며 잔여 BRD값이 400 cps를 초과한 값을 기준으로 얻어진 예상 불연속면의 분포가 세 번째 트랙에, 그리고 네 번째 트랙에 Fig. 5에서의 일반물리

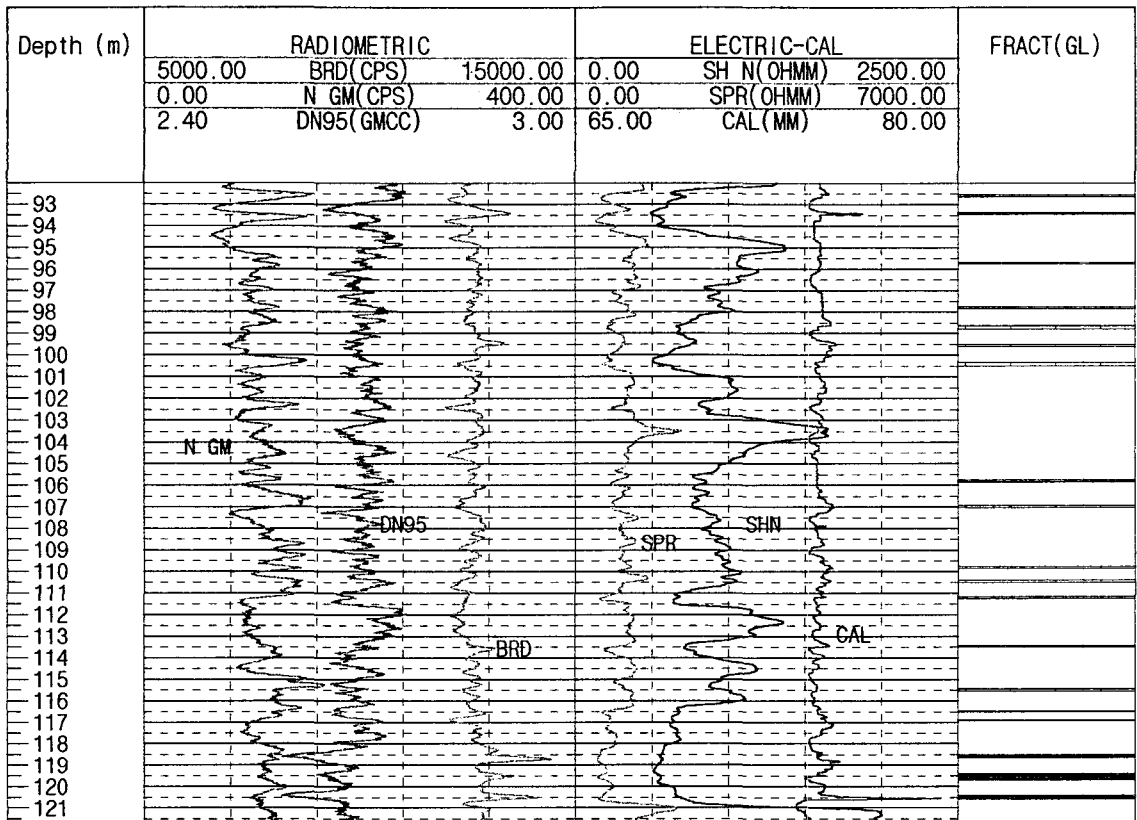


Fig. 5. Geophysical logging curves and discontinuities obtained from geophysical log analysis.

검층불연속면이 제시되어 있다. 두 불연속면의 비교로부터 BRD곡선이 절리의 존재에 매우 민감하다는 사실과 매우 민감한 곡선이라 하더라도 특정한 단일 검층곡선 만으로는 불연속면의 검출에 한계가 있음을 함께 엿볼 수 있다.

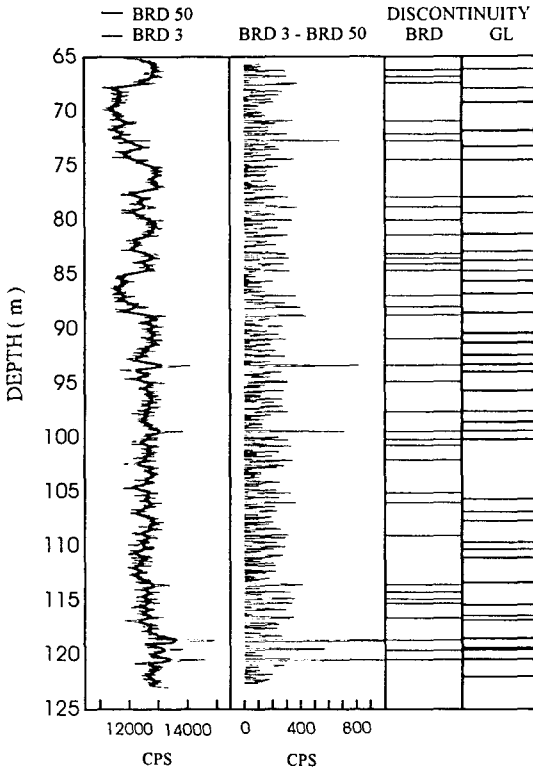


Fig. 6. Comparison between discontinuities obtained from an application of filtering technique to BRD curve and discontinuities obtained from complex geophysical log analysis.

불연속면의 비교 분석

Fig. 7은 텔레뷰어와 시추공텔레비전에 의하여 구해진 불연속의 분포를 비교한 것으로 두 가지 방법에 의하여 얻어진 불연속면의 존재는 거의 대부분이 잘 일치하고 있음을 보인다. 더욱이 불연속면의 유형에 입각하여 그 내용을 살펴 본다면 일부

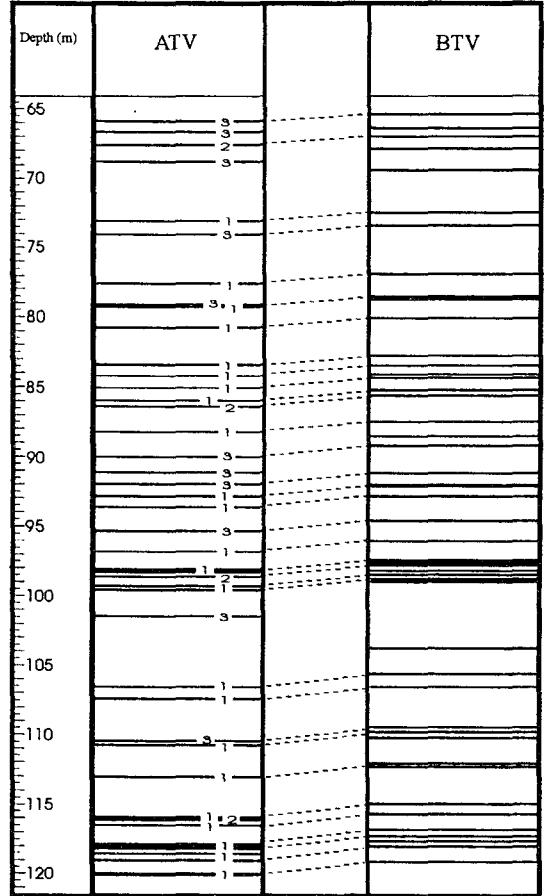


Fig. 7. Discontinuities obtained from ATV and BTV analyses. The two results match well each other, particularly, perfect match is shown between types 1 & 2 discontinuities.

불일치의 경우가 모두 텔레뷰어불연속면 Type 3(Acceptable Fracture)에 국한되어 있으며 Type 1(Clear Fracture)와 Type 2(Normal Fracture)의 경우에는 완벽하게 일치되고 있음을 보이고 있다. 이 결과는 Type 1과 2의 경우 확실한 절리 또는 파쇄대에 속하는 반면에 Type 3의 경우는 상대적으로 존재가 뚜렷하지 못한 불연속면임을 감안한다면 존재가 뚜렷하지 못한 불연속면에 대한 해상도 문제로 귀결될 수 있으며 결과적으로 텔레뷰어불연속면의 신뢰성이 확보되었다고 할 수 있다.

한편 코어검층의 대상 구간은 95퍼센트 이상의

코어회수율을 가진 양호한 코어시료로서 이를 대상으로한 코어불연속면에 대한 신뢰성의 확보는 충분히 예상되었다. 따라서 불연속면 비교분석은 시추공텔레뷰어검층 결과와 코어검층결과와의 비교에 기초를 두고 이를 일반물리검층 결과와 비교하는 방법을 사용하였다. Fig. 8은 코어관찰, 텔레뷰어, 및 일반물리검층 방법에 의하여 얻어진 불연속면들을

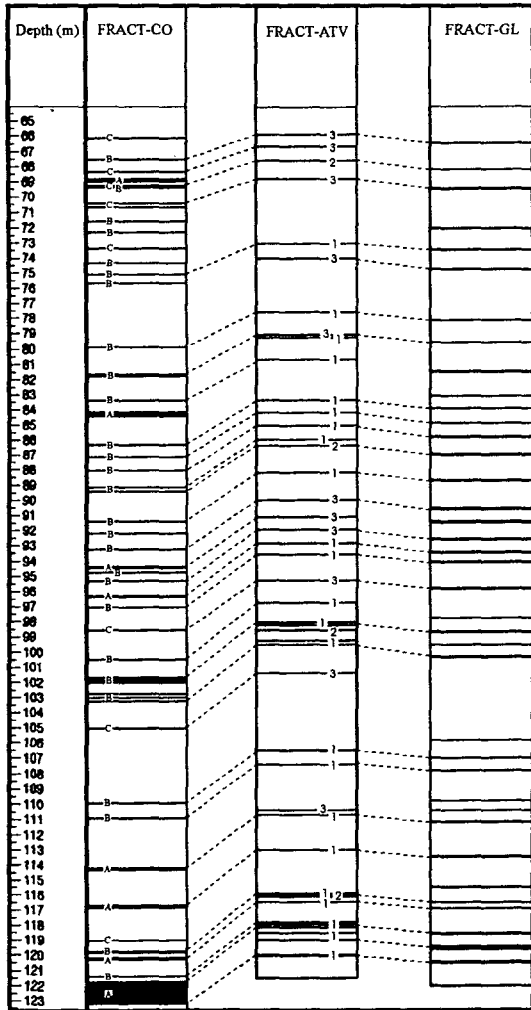


Fig. 8. Comparison of discontinuities obtained from core(CORE), acoustic televiewer (ATV), and geophysical (GL) logs. Depth mismatches are observed, however, the existence of the fractures matches well.

함께 도시한 것으로 코어불연속면(CORE)과 텔레뷰어불연속면(ATV)과의 관계에 심도차이가 인지되는 점을 제외하고는 분포 자체는 좋은 상관성이 보이고 있다. 불연속면 사이의 점선은 동일한 불연속면으로 추정된 것들끼리 연결한 것이다. 코어불연속면과 텔레뷰어불연속면의 연결은 김영화와 장승익(1998a)에서 설명된 검층심도 보정방법이 활용되었으며 특히 심도대비의 열쇄층 역할을 한 92.8미터 부근(Fig. 9)과 118m-120m 구간(Fig. 3)에서의 불연속면 대비와 경사각 자료의 비교에 기초를 두고 이루어졌다.

코어시료 관찰 결과 얻어진 A형, B형, C형의 불연속면과 텔레뷰어에 의한 Type 1, 2, 3 불연속면들과의 관계에 주목해 본다면 대체로 텔레뷰어불연속면 Type 1인 경우 코어불연속면 A형 또는 B형에 속하고, Type 2인 경우는 거의 B형, 그리고 Type 3인 경우는 C형이거나 대비되는 불연속면이 발견되지 아니하는 양상을 보이고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 Type 1인 경우 시추공텔레비전이나 일반물리검층 결과에서 거의 예외없이 대비할 수 있는 불연속면이 발견되는 반면에 Type 3으로 감에 따라 점차 예외가 발생되고 있음에서도 잘 나타나고 있다. 반면에 코어관찰에서 A형으로 판단된 것 중에는 텔레뷰어에서 Type 3 이하에 해당되거나 시추공텔레비전이나 일반물리검층 결과에서 아예 탐지되지 아니한 경우가 자주 관찰되고 있는 바, 이는 코어관찰에서의 파쇄대의 판단착오에 기인된 것으로 판단된다.

한편 텔레뷰어불연속면과 일반지구물리불연속면의 연결은 불연속면의 전반적인 분포양상에 의지하여 시험적으로 대비시킨 결과에 해당된다. 이와 같은 대비 결과는 코어검층의 심도보정을 한 결과가 제시된 Fig. 10에서 나타난 바와 같이 조사방법 간의 좋은 일치와 해석결과에 대한 신뢰도를 예측케 한다. 특히 일반적인 물리검층기법에 의한 불연속면 분석결과가 텔레뷰어불연속면과 좋은 상관관계를 가지며 이 상관은 코어관찰결과와의 관계에서도 지속되고 있다. 일반물리검층에 의한 분석결과가 저비저항 저밀도 비이상적 공경변화를 기준으로 이루어졌으며 이는 시추공텔레비전검층에 의해서도 확인되었음을 고려할 때 이 지역에서의 이러한 기준이 절리나 파쇄대의 검출에 매우 효과적임을 말

풍암퇴적분지 내 시추공 PABH1에서 불연속면에 대한 물리검층방법의 적용

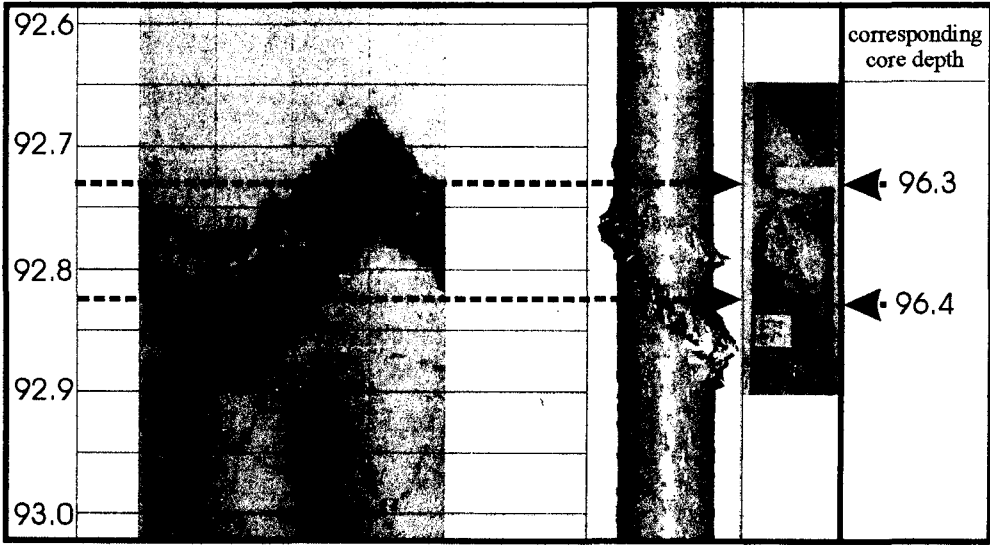


Fig. 9. Comparison of televiwer log and core log. Depth difference of about 3.6 meters is shown between the televiwer amplitude and core images of the same fracture zone.

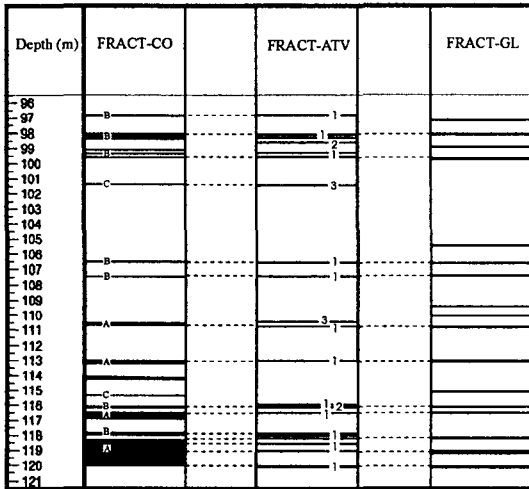


Fig. 10. Comparison of discontinuities obtained from core(CORE), acoustic televiwer(ATV), and geophysical (GL) logs after the depth correction in core discontinuities.

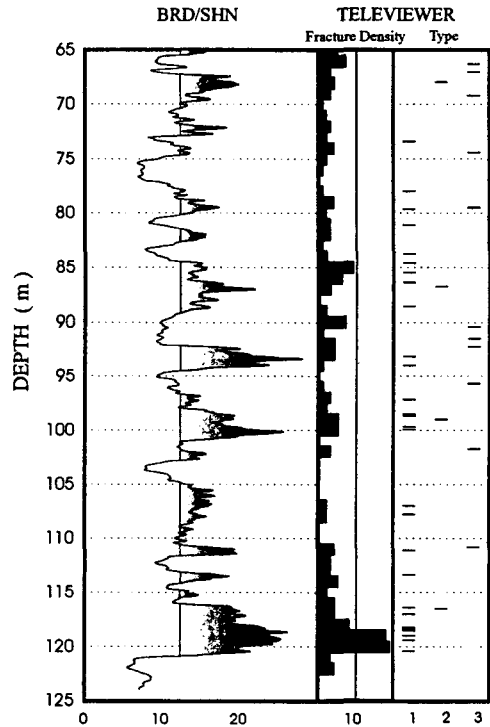


Fig. 11. Comparison of the ratio BRD/SHN obtained from geophysical log to the fracture density obtained from ATV log.

해주고 있다. 일반물리검층방법에 의해서 얻어진 절리의 존재가 텔레뷰어에서 나타난 절리의 위치와 잘 일치하고 있음은 텔레뷰어 자료로부터의 절리밀도(fracture density)와 심도에 따른 BRD/SHN곡선

과의 관계(Fig. 11)에서 잘 나타나고 있다. Fig. 11은 절리 및 파쇄대의 분포가 BRD/SHN 값이 큰 부분과 좋은 상관관계를 가지고 있음을 보이며 이 현상은 본 시추공과 비슷한 지질지역에서 BRD/SHN 값이 효과적인 절리 지시자 역할을 할 수 있음을 시사하고 있다.

결 론

본 연구에서는 아울러 영상촬영검층방법과 코어 검층 방법, 일반지구물리검층 방법의 효과적인 적용에 의하여 실험시추공 PABH1에 있어서의 절리 발달 상태의 확인과 본 시추공 주위 절리구조에 대한 포괄적인 정보 제시가 이루어졌다. 아울러 암반 내에 형성된 절리나 파쇄대 구조에 대한 정보가 조사기법에 따라 나타날 수 있는 가능성과 한계를 추적하였다. 밀도 및 비저항, 자연감마, 공경 검층을 중심으로 한 일련의 물리검층법 적용결과는 시추공 텔레뷰어 및 시추공텔레비전 검층방법에 의한 불연속면 분석결과와 좋은 일치를 보이고 있으며 이로부터 일반적인 물리검층방법이 시추공 속에서의 암상분포와 함께 절리 및 파쇄대 탐지에도 상당히 효과적인 수단이 될 수 있음이 밝혀졌다. 특히 밀도와 비저항 특성을 함께 반영하고 있는 BRD/SHN 값이 효과적인 절리 지시자로서의 가능성을 제시하였으며 이들은 잘 알려진 영상물리검층법인 텔레뷰어검층과의 보완적인 입장에서나, 절리 또는 파쇄대 조사에서 하나의 독립적인 방법으로서의 가능성을 시사하고 있다.

사 사

시험시추에서 도움을 주신 인월건설주식회사의 정사룡 사장과 시추작업반 일동께 감사 드린다. 이 연구는 강원대학교부설 자원개발연구소의 일부 지원으로 수행되었다.

참 고 문 헌

강필중, 진명식, 1972, 한국지질도 풍암도폭(1 : 50,000), 국립지질조사소, 31p.

- 김경희, 1988, 강원도 홍천군 북부지역 백악기 풍암 퇴적분지 퇴적층의 퇴적학적 연구. 강원대학교, 석사학위논문, 97p.
- 김영근, 1996, 암반불연속면의 정량적 기재에 관한 고찰, 한국암반공학회, 터널과 지하공간, v.6, 348-354.
- 김영화, 장승익, 1998a, 물리검층공에서의 심도오차 분석과 보정. 지질공학, 8권1호, 87-98.
- 김영화, 장승익, 1998b, 풍암퇴적분지 내 시추공 PATB1에서의 물리검층에 의한 암상의 판정. 지질공학, 8권2호, 163-173.
- 김중열, 김유성, 현혜자, 1995, Geotomography에 의한 암반구조연구(V). 과학기술처 특정연구개발 사업보고서 KR-95(T)-17, 392p.
- 김중열, Schepers, R., 1995, 고분해능텔레뷰어 검층 기법의 기능. 지질공학, 5권, 277-288.
- 김중열, 1996, 코아스캐너의 응용. 제1회 한화기술 심포지움, 44-60.
- 김중열, 김유성, 현혜자, 1996, 물리탐사 병합기술에 의한 지반조사 매개변수 산출법연구, 한국자원 연구소, 과학기술처, 153p.
- 김중열, Rafat, G., 1997, Corescanner. 지질공학, 7 권, 11-26.
- 김중열, 1998a, 텔레뷰어탐사. 암반공학기술강좌 : 건설기술자를 위한 지반조사 및 시험기술, 한국암반공학회, 279-356.
- 김중열, 1998b, 칼라코어스캐너. 암반공학기술강좌 : 건설기술자를 위한 지반조사 및 시험기술, 한국암반공학회, 417-464.
- 장승익, 1998, 풍암지역 시험시추공에서 수행된 물리검층 결과의 종합해석, 강원대학교, 석사학위 논문, 71p.
- 하회상 외, 1996, 토모그래피, 텔레뷰어 및 음파 검층 기법의 적용성 검토, 제1회 한화기술심포지움 논문집, 82-93.
- Kim, J.Y., Kim, Y.S., Hyun, H.J., 1996, Underground Survey for the foundation of great bridge tower by televiewer and seismic tomography, Korea-Japan Joint Symposium on Rock Engineering, ISBN 89-950028-0-8 93550, 243-253.

- Keys, W.S., 1989, Borehole Geophysics applied to groundwater investigations, National Water Well Association, 313p.
- Schepers, R., 1996, Application of borehole logging to geotechnical exploration, 1st Hanwha Technique Symposium, 149-174.

김영화 장승익
강원대학교 자연과학대학 지구물리학과
200-701 강원도 춘천시 효자동
Tel : 0361-250-8582
Fax : 0361-244-8580
Email : yhkim@cc.kangwon.ac.kr
Dept. of Geophysics, Kangwon National
University, Chunchon, Kangwondo 200-701 Korea

김중열, 현혜자
한국자원연구소 자원연구부
305-350 대전광역시 유성구 가정동 30
Tel : 042-868-3178
Fax : 042-861-9720
Email : jykim@rock25t.kigam.re.kr
Korea Institute of Geology, Mining & Materials,
Yusong-Ku, Taejon, 305-350, Korea