

검층물성과 코어물성의 비교와 균열지수

박정빈, 양영근, 김기주, 임헌태, 김영화(강원대학교 지구과학부)

1. 서 언

지구물리검층과 코어물성측정은 모두 구성지질의 물성특성을 반영한다는 공통점을 가지지만 코어물성이 암석단위의 단속적인 물성측정이라고 한다면 물리검층은 원위치 상태의 연속적인 암반 물성측정이라는 점에서 차이가 있다. 이 연구에서는 상대적으로 물성 연구가 용이하고 특히 쇄설성퇴적암과 탄산염암간의 특징적인 물성 반응 차이(Chombart, 1960; Tateishi, 1967)를 관찰할 수 있는 퇴적암 지역에서 코어물성과 물리검층 물성의 반응 특성을 비교 분석하였다. 이를 위하여 고생대 갑산층과 중생대 풍암 퇴적분지 내 시추공을 활용하였다. 대상 물성은 밀도, 전기비저항, P파속도이며 특히 밀도와 P파속도를 대상으로 검층물성과 코어물성의 특성차를 추적하였다. 아울러 이 결과를 토대로 검층결과를 이용한 암반의 균열지수의 적용가능성을 검토하였다.

2. 물성 측정 방법

코어시료의 물성측정을 위하여 코어절단기와 표면 연삭장치를 이용하여 0.02mm 이내의 수평 평편도를 가진 원주형 시료가 성형되었다. 전기비저항과 초음파속도 측정은 시료를 진공펌프를 사용하여 완전 포화시킨 후 실시하였으며 밀도의 경우에는 포화밀도와 함께 건조 밀도를 측정하였다. 밀도측정은 효율과 정밀도를 함께 제고할 수 있도록 일반적인 수침법에 상평저울을 결합시킨 측정장치를 사용하였다. 전기비저항의 측정에서는 김영화·최예권(1999)에서 사용된 측정 시스템을 사용하였으며 사용된 구형파는 주파수 300mHz, 인가전압 약 ± 4 V이고, 변형 2전극법 샘플홀더를 사용하였다. 비저항은 측정된 전위 및 전류 자료로부터 시계열비저항을 구하고 그 임계값을 결정하는 방식을 사용하였다.

초음파속도 측정은 포화 상태에서의 P파속도만을 대상으로 삼았으며 압전소자(crystal transducer)를 사용하여 제작된 접촉형 트랜스듀서(end-cap transducer)와 고압신호 발생기 및 board-on 오실로스코프가 사용되었다. 속도측정은 신호발생기 - 발전자 - 암석시료 - 수신자를 거쳐 오실로스코프 상에 나타난 초음파 파형의 초동 값을

읽고 결정된 주시에서 트랜스듀서의 지연 시간을 보정한 후 시료의 초음파속도 값을 유도하는 과정을 거쳤다.

검층물성은 영국 Geologging 사의 Micrologger 검층기 시스템을 사용하여 2.4-6 m/min 범위의 Sonde 이동속도로 상향식(up mode)으로 검층자료가 획득되고 이로부터 밀도, P파 속도 및 비저항이 얻어졌다. 획득된 검층곡선 중에서 짧은 이극법 비저항검층, 감마감마검층 곡선 및 음파검층 곡선이 이용되었다. 밀도곡선에 있어서는 소스 calibration과 자연감마보정이 실시되었다. 음파검층에 있어서는 공벽보정음파검층 결과와 완전파형음파검층결과를 함께 비교하는 방법을 사용하였다. 검층자료의 처리는 Viewlog software를 사용하여 수행되었으며 필터링은 이동평균법에 의거하여 N값으로 11에서 151까지의 값이 사용되었다.

3. 코어물성과 검층물성의 비교

표 1은 중생대 백악기 퇴적암 지역에서 얻어진 검층물성과 코어물성 값을 제시한 것이다. 코어물성의 경우에는 45 개의 코어시료에서 구해진 초음파속도, 비저항 및 밀도의 평균값을 나타낸다. 검층물성은 Vp속도곡선, 밀도곡선에서 풍화, 파쇄 영역의 물성을 반영하는 것으로 판단되는 저물성 구간을 제외시키기 위하여, 각 구간 피크값의 평균값을 취하여 얻었다. 검층물성과 코어물성이 거의 일치되는 결과를 얻을 수 있었다.

Table 1. Comparison between core and well log properties obtained in Pungam basin

Division	Vp(m/s)		Resistivity(ohm-m)		Density(g/cm ³)	
	Core	Log	Core	Log	Core	Log
Shale	4.78	4.94	883	743	2.68	2.73
Sandstone	4.99	5.04	893	1240	2.74	2.71
Granulite	5.29	5.34	1838	1738	2.66	2.70

표 2에서는 셰일, 사암 및 탄산염암으로 구성되는 갑산층 지질에서의 결과로 30 개의 코어시료 측정결과와 검층결과를 비교한 것이다. 표 1에서의 경우와 마찬가지로 검층물성과 코어물성간에 좋은 일치를 보이고 있다. 표 2의 분석에서 제외된 비저항은 빈번한 비저항검층곡선의 역전과 지층수 비저항의 영향을 보정해주지 못했음에 기인하며 밀도와 속도와는 달리 검층과 코어측정 결과의 비교가 용이하지 않음을 보였다.

Table 2. Comparison between core and well log properties obtained in Gabsan Formation

Division	Vp(km/s)		Resistivity(ohm-m)		Density(g/cm ³)	
	Core	Log	Core	Log	Core	Log
Sandstone	5.35	5.41	990	-	2.72	2.79
Shale	5.46	5.38	451	-	2.82	2.84
Limestone	6.32	6.45	8335	-	2.74	2.80

일반적으로 물성측정에 사용되는 코어시료는 절리가 없거나 최소화한 상대적으로 양호한 암반부분에 속했던 것으로 볼 수 있다. 이와 같이 양호한 암석 구간에서의 단속적인 측정값은 코어측정값이 절리 또는 약대를 포함하는 원위치 암반 상태에서의 물성 측정인 물리검층값에 비하여 높게 나타날 수 있는 요인이 된다. 예를들어 P파속도의 경우에는 상대적으로 고주파수의 초음파를 사용하여 얻게되는 코어속도가 상대적으로 장파장의 음파에 의하여 절리나 간극의 영향이 평균화되어 나타나는(Brock,1986) 검층속도에 비하여 약 6% 크게 나타나는 것으로 알려져 있다. 한편 암반에서의 응력이 코어에서 응력해방 상태로 변함에 따른 영향(Brock,1986)은 코어에서의 물성값 감소 요인으로 연결될 수 있다. 코어물성 측정의 sampling 간격이 클 때에는 고물성 부분이 누락될 수도 있다. 이와 같이 가감되는 영향의 정도는 정확하게 계산할 수는 없으나 코어물성값이 검층물성값의 극대값에 거의 접근하는 수준이 될 수 있을 것으로 예상될 수 있다. 앞에서의 결과는 이러한 예상이 실제의 측정자료 비교결과에서 확인된 것으로 볼 수 있으며 동일 구간의 코어 밀도 측정값과 밀도검층값을 비교한 그림 1이 그 좋은 예이다. 즉, 밀도검층에서의 일부 튀는 값을 제외한 피크값이 코어밀도값에 일치되고 있으며, 좀 더 정량적인 표현방법을 빌린다면 코어측정값이 검층값 피크의 약 95%의 수준에서 일치하고 있다고 할 수 있다.

4. 물리검층 자료와 균열지수

암반 평가에 있어서 코어물성과 현장 원위치물성의 효과적인 비교 적용은 균열계수(일본 토질공학회, 1974)의 활용이다. 균열계수(FI)는 실험실에서의 코어속도(Vc)와 현장원위치 속도(Vf)로부터 다음의 식에 의하여 구해지며

$$FI(\text{sonic}) = 1 - (Vf/Vc)^2$$

앞에서의 물성 비교 결과를 감안하면 검층곡선만으로도 균열계수를 구하는 데 무리가 없는 것으로 나타났다. 즉, 그림 2가 그 결과로서 약 95% 피크 검층속도를 구간별 Vc로하고 각

지점에서의 검층 속도를 V_f 로 하여 얻어진 균열계수의 분포를 보여준다. 그림 3에서는 밀도검층에서의 밀도값(ρ)과 BRD(γ)값(김영화 김기주, 1999)으로부터 다음의 식으로 구한 균열계수를 음파검층으로부터 구한 균열계수와 함께 제시하고 이들을 텔레뷰어검층으로부터 구한 절리의 존재와 비교하였다.

$$FI(\text{density}) = 1 - (\rho - \rho_{\min}) / (\rho_{\max} - \rho_{\min})$$

$$FI(\text{BRD}) = 1 - (\gamma_{\max} - \gamma) / (\gamma_{\max} - \gamma_{\min})$$

속도값과 밀도값으로부터 구한 균열지수간에 상당한 차이가 인지되고 있으며 전반적으로 BRD값에 의거한 균열지수가 텔레뷰어 관찰에 의한 균열발달 사항과 좋은 상관관계를 보이고 있다(그림 4).

5. 결 언

쇄설성퇴적암과 탄산염암을 포함하는 퇴적암 지역에서 코어물성과 물리검층 물성의 반응 특성을 비교 분석한 결과 비저항의 경우에는 직접적인 비교가 어려운 상태이나 밀도와 P파 속도의 경우에는 매우 좋은 상관을 보였다. 코어 밀도와 속도값은 검층곡선에서 각기 해당 구간의 피크값 또는 피크의 95% 이내에 수렴하는 결과가 나타나 각 구간의 검층자료로부터 intact rock의 물성값을 정확하게 결정하는데 크게 도움이 되었다. 코어물성과 in situ 물성간에 영향을 미치는 영향 요인이 다양하지만 적절한 보정과 필터링이 된 경우에는 검층물성의 피크값으로부터 절리의 영향이 없는 치밀질 지반의 물성값 설정에 무리가 없는 것으로 나타났으며 이 결과에 근거하여 검층자료에 의한 균열지수를 구할 수 있었다. 본 연구에서 균열지수를 텔레뷰어 관찰결과와 비교해 본 결과는 일반적으로 널리 활용되고 있는 종파속도에 의한 균열지수보다도 밀도검층 과정에서 함께 얻어진 BRD자료를 이용한 균열지수가 보다 절리 확인에 효과적인 것으로 나타나고 있어 향후 보다 많은 실측자료에서의 확인과 활용이 기대된다.

사 사

이 연구는 학술진흥재단의 대학부설연구소 지원과제인 석회암 지역의 지하구조 규명 및 수리 특성에 관한 연구의 한 부분으로 이루어졌다.

참 고 문 헌

- 김영화 · 최예권, 1999, 코어비저항 측정에 미치는 영향요소에 대한 실험적 고찰(II) -시계열 자료의 특성과 대표비저항 값의 결정. 지구물리, 2-4, 269-276.
- 土質工學會, 1974, 岩의 공학적성질과 설계시공에의 응용. 일본토질공학회편, 827p
- Brock, J., 1986, Applied Open Hole Log Analysis, Gulf Publishing Co. Book Division, 279.p
- Chombart, L.G., Well logs in carbonate reservoirs. Geophysics, 25-4, 779-853.
- Keys, W. S., 1989, Borehole Geophysics applied to groundwater investigations. National Water Well Association, 313p.

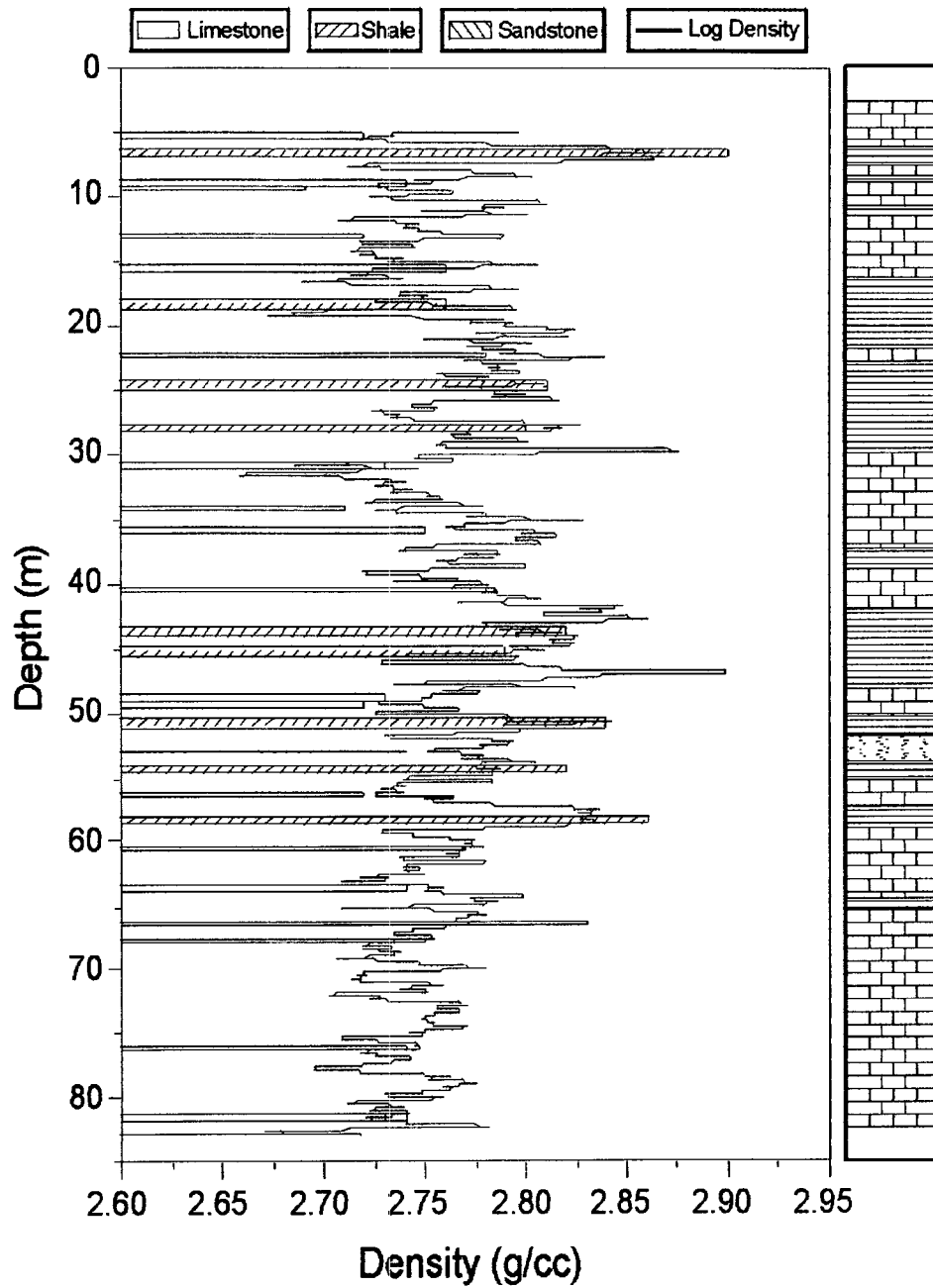


Fig. 1. Comparison of density obtained from core log with that of geophysical log.

Well Name: Jechon

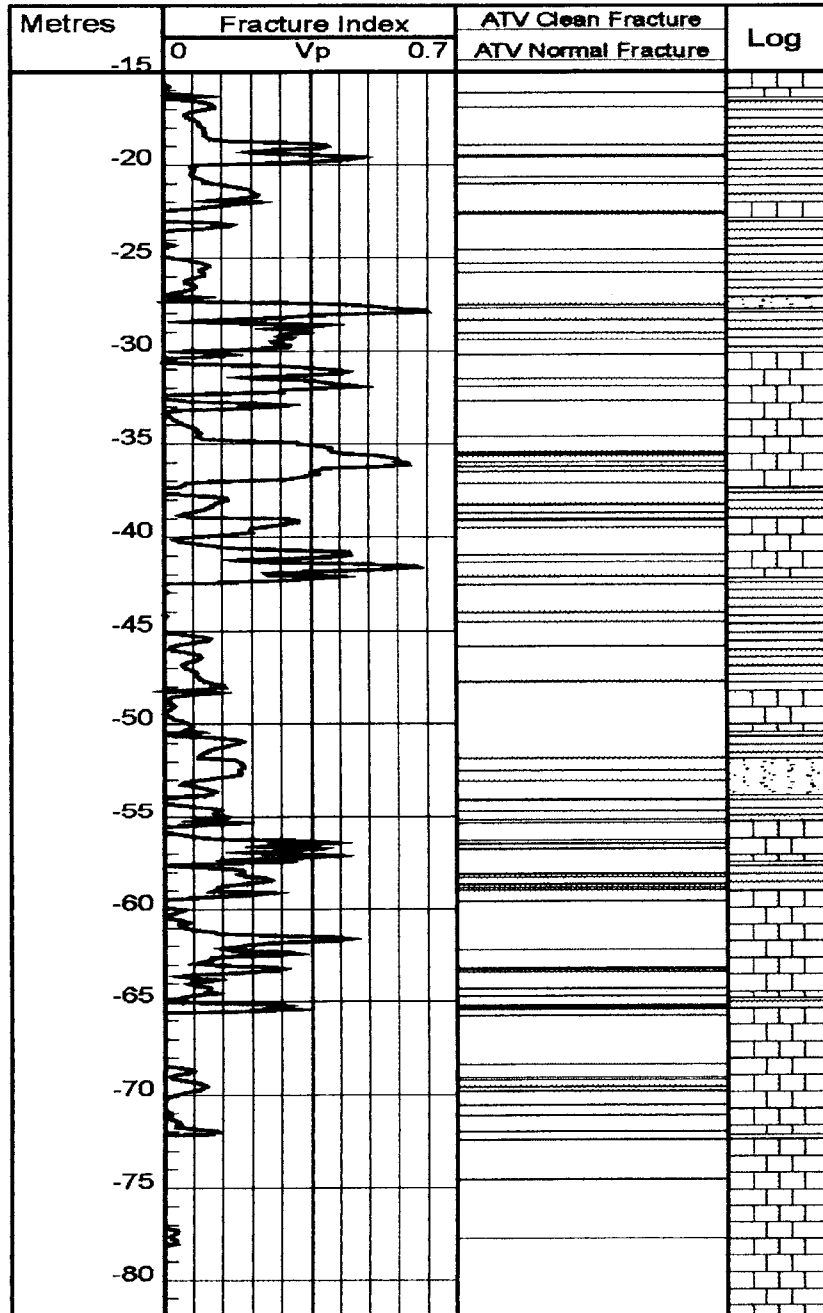


Fig. 2. Fracture index obtained from sonic log velocity

Well Name: Jechon

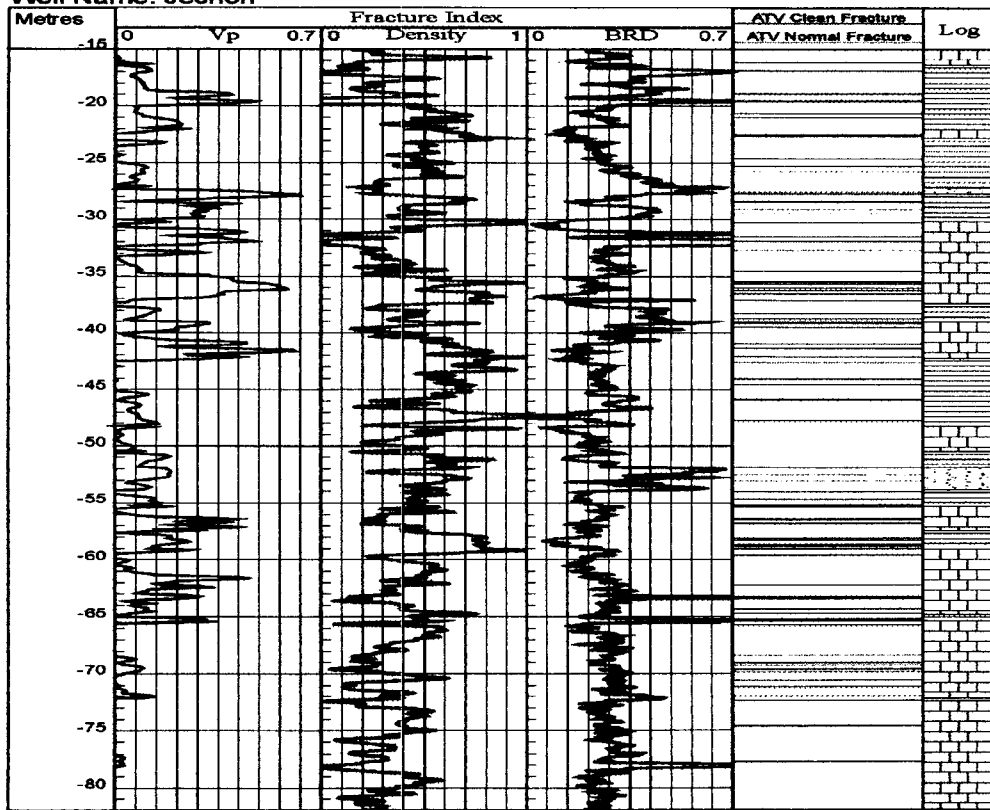


Fig. 3. Comparison of fracture indices obtained from geophysical logs.

Well Name: Jechon

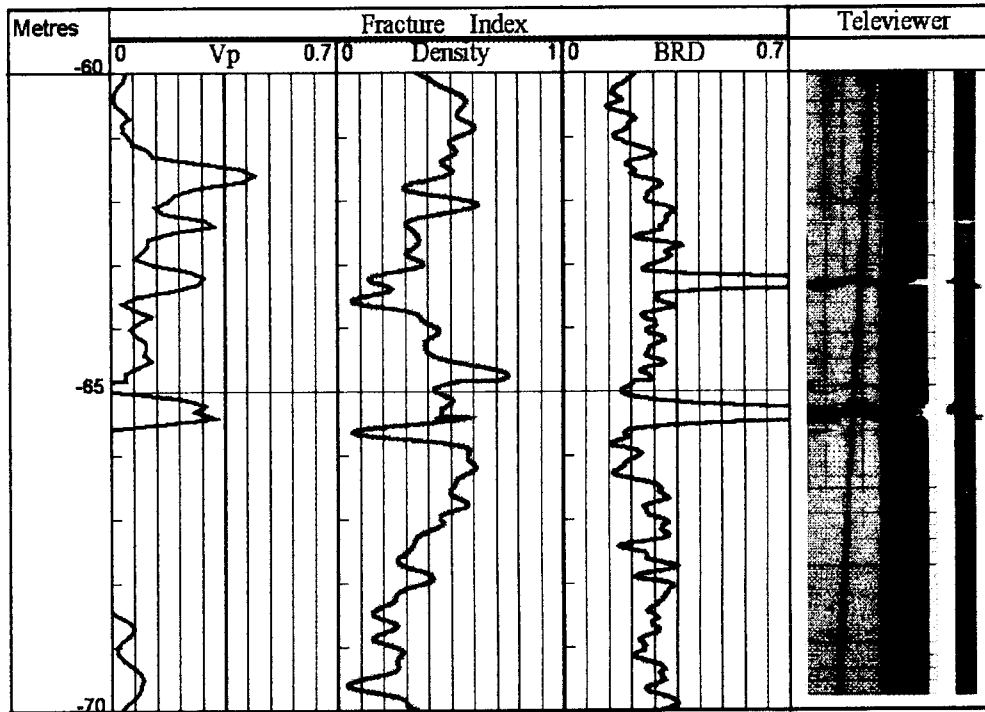


Fig. 4. Comparison of fracture indices with the borehole televiewer image.