

거제도지역 지질조사에 대한 물리검층의 적용성

박삼규* · 김희준**

Applicability of Well Logging Data to Geologic Survey in the Keoje-do Area

Sam Gyu Park* and Hee Joon Kim**

ABSTRACT: This paper describes an effective utilization method of well logging data and boring cores for understanding the geology of Keoje-do area. Six holes were drilled in 1988-1989, and all rock cores were recovered. Nevertheless, seven kinds of logs were carried out in each borehole.

The geologic situations of the drilling sites are accurately evaluated from a comparison between core descriptions and well logging data. Porosities and clay contents of sedimentary rocks can be calculated using the data of density and gamma-ray logs. Fractured zones are easily detected from the change in inside diameter of borehole by caliper log. Sonic, density and gamma-ray logging data clearly indicate alternated and dyke zones; the former can be detected from an acoustic wave attenuation and a decline of compaction by sonic and density logs, the latter can be detected from the amount of potassium contents of bed rock and dyke by gamma-ray log.

서 언

물리검층은 시추공 (borehole)을 이용하여 TV카메라나 각종 지구물리학적 수법으로 지층의 제 성질을 측정하는 것으로 주로 석유의 탐광에 많이 이용되어 왔다. 근년에는 각종 토목공사와 관련된 지반조사분야에서도 주로 암반의 역학적 특성을 알기 위하여 널리 응용되고 있다.

국내기술로 시도된 물리검층은 주로 광물자원탐사를 목적으로 하고 있었기 때문에 특별히 관심있는 지층의 두께나 심도를 결정하고 그 지층이 함유하고 있는 광물 자원에 대한 물성 및 등급 결정에 주로 사용되어 왔다 (권병두 등, 1988). 그 밖에도 금속광물 탐광을 위한 시추는 많으나 주로 암석기재에 치중해 왔을뿐 물리검층과 지질과의 관계를 밝힌 것은 드물다.

1988년부터 1989년에 걸쳐, 거제도의 정확한 지질구조를 파악하기 위한 시추조사가 시도되었다 (Fig. 1). 먼저 지표지질답사를 통하여 지질상황을 확인하고 (Fig. 3 참조), 본 조사지역에서 남북방향으로 Fig. 2와 같이 6곳의 지점을 선정하여 각 지점마다 깊이 300~400 m의 시추공을 굴

착하였다. 시추를 통하여 채취된 암석코어 (core)의 암상 및 절리의 발달상황 등을 기재하고, 각 시추공마다 공경 검층을 비롯하여 7종류의 물리검층을 실시하였다.

본 논문에서는 거제도에서 실시한 시추 및 물리검층으로 얻어진 자료를 이용하여 지질조사에 대한 물리검층의 적용성에 관하여 검토한다. 물리검층자료의 해석을 통하여 지층의 파쇄대, 암상구분, 변질대 및 암맥구간을 판별하여 이를 암석코어와 비교함으로써 정확한 지질상황을 파악하는데 대하여 보고한다.

지질개요

거제도일대의 지질은 크게 나누어, 경상누층군의 퇴적 암층과 안산암류, 이들을 관입한 중생내지 산성의 불국사 심성암류와 각종의 맥암류, 그리고 산록과 계곡의 저지를 따라 발달한 제 4 기의 퇴적암층의 3종류로 나눌 수 있다 (Fig. 3).

퇴적암층은 대개 북서 내지 서북서의 주향을 따라 분포하고, 20° 내외의 각도로 남으로 경사되어 있으며 퇴적암층은 암상에 의해 셰일 (shale)과 사암의 호층으로 된 장목리층과 수월리층, 괴상의 역암층에 소량의 셰일과 사암이 협재된 연초역암층, 그리고 안산암질과 응회암이 다량 협재된 고현층으로 구분된다.

* 오사카대학 토목공학과 (Dept. Civil Engineering, Osaka Univ., Osaka 565, Japan)

** 부산수산대학교 응용지질학과 (Dept. Applied Geology, National Fisheries Univ. of Pusan, Pusan 608-737, Korea)

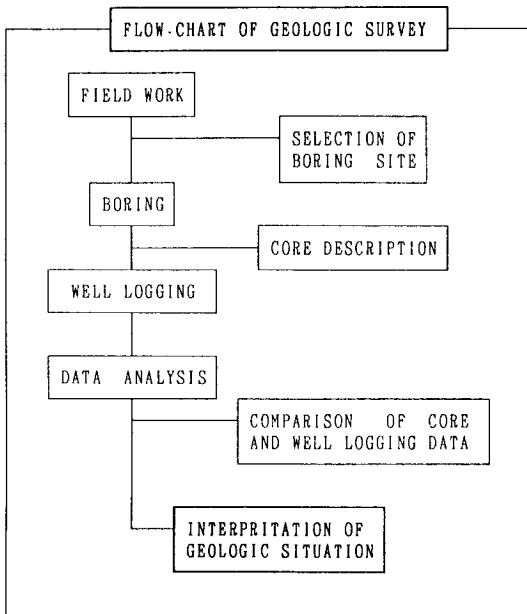


Fig. 1. Flow chart of geologic survey.

안산암류는 주로 고현층을 관입 또는 분출 피복하여 계룡산, 선자산, 옥너봉 및 노자산등의 산능을 따라 분포하고 있으며 안산암질 각력암과 안산암 및 석영안산암등으로 구성되어 있다. 심성암류로서는 소규모의 암주상의 심록암류와 해안을 따라 넓게 분포하는 저반상의 화강암류가 있다.

석영반암, 장석반암, 규장암 및 휘록암 등의 산성 내지 염기성 암맥 등이 후기의 열극을 따라 각종의 퇴적암층과 화성암류를 관입하고 있고, 산록 완사면과 하천지역의 저지를 따라서는 제 4 기의 붕적층 (colluvium)과 추적층이 퇴적되어 있다.

이상과 같은 거제도 일대의 지질계통표를 Table 1에 나타낸다.

물리검층 개요

본 조사에 사용한 물리검층기기는 일본 OYO사의 Geologger-3400와 Geologger-3500의 두 종류이지만, Fig. 4에 표시한 Geologger-3400시스템을 주로 사용하였다. 6곳의 시추공에 있어서 각 시추공마다 아래와 같은 7종류의 물리검층을 실시하였다.

- 1) 공경검층 (Caliper log)
- 2) 자연전위검층 (Self-potential log)
- 3) 노말전기비저항 검층 (Normal resistivity log)
- 4) 자연감마선검층 (Gamma-ray log)

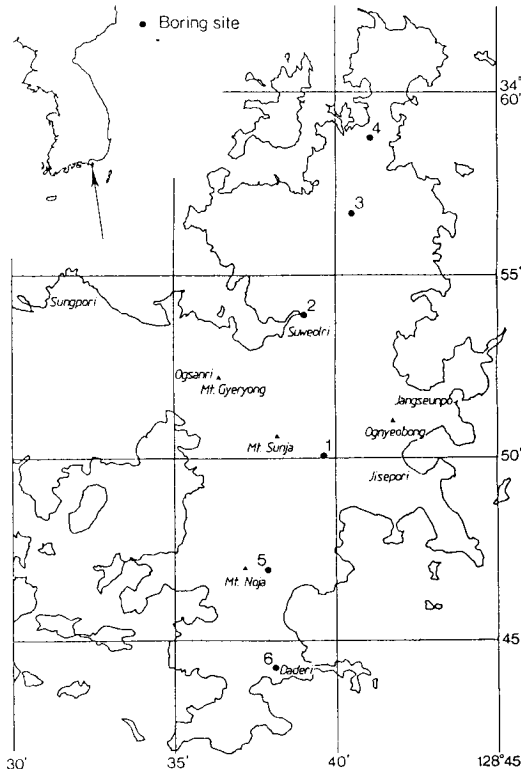


Fig. 2. Study area and boring sites.

- 5) 밀도검층 (Gamma-gamma log)
- 6) 온도검층 (Temperature log)
- 7) 음파검층 (Sonic log)

검층자료의 분석

지층의 공극률은 밀도검층으로 측정된 matrix와 공극수 (fluid)의 밀도로부터 간접적으로 산출할 수 있다 (Wyllie et al., 1956; 1958). 즉,

$$\phi = (\rho_m - \rho_b) / (\rho_m - \rho_f) \tag{1}$$

여기서,

- ϕ : porosity
- ρ_b : bulk density
- ρ_m : density of the matrix
- ρ_f : density of the fluid

이다. 그러나, 검층으로 부터 실제로 얻어지는 밀도에 영향을 미치는 요인으로서의 공극률 뿐만 아니라 점토의 함유량, 온도 및 압력 등도 있다 (Poupon et al., 1970). 이러한 요인을 고려한 방정식은 다음과 같다.

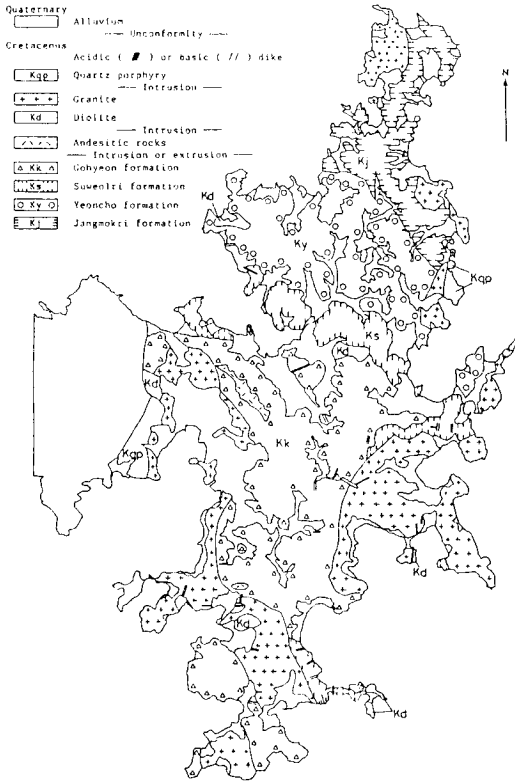


Fig. 3. Geologic map of study area.

$$\phi_i = [(1 - V_b)\rho_m + (V_b)\rho_c - \rho_a] / [\rho_m - \rho_c] \quad (2)$$

여기서,

- ϕ_i : calculated porosity from density
- V_b : bulk volume fraction of clay
- ρ : density of the clay
- ρ_i : apparent density

이다. 본 조사에서는 검층의 심도를 고려하여, 온도는 온도검층자료에 의해 지하증온률을 공극수의 밀도 (ρ)에 적용시켰으며, 압력은 시추코아의 암질과 심도를 고려하여 matrix의 밀도 (ρ_m)에 적용시켰지만, 결과에는 다소의 오차가 있을 것으로 생각된다.

한편, 공극률을 산출하기 위하여 필요한 점토의 함유량은 자연감마선 검층자료로부터 구할 수 있다. 지층의 자연감마선은 주로 지층중에 함유된 포타슘 (potassium, K)계 방사성물질에 의한 것으로, 감마선검층은 이 자연감마선량을 연속적으로 측정하는 것이다. 측정된 자연감마선량으로부터 지층의 점토성분 함유량은 다음과 같이 산출할 수 있다 (Guvod, 1966).

Table 1. Geological sequence of the Keoje-do area.

	충적층	신생대
제 4기층	붕적층 (colluvium) - 부정합 -	
	산성·염기성암맥 - 관입 -	백악기 내지 제 3기
볼국사관입암체	화강암류 섬록암류 - 관입 -	중생대
경산누층군	안산암 안산암질각력암 - 관입 및 분출 -	생대
유천층군	고원층 수월리층	
	연초역암층 - 부정합 -	백악기
하양층군	장목리층	

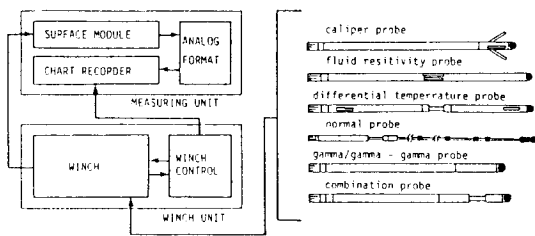


Fig. 4. Geologger-3400 system.

$$V_b = (V_b)GR = (GR - GR_{min}) / (GR_{sh} - GR_{min}) \quad (3)$$

여기서,

- V_b : bulk volume fraction of clay
- $(V_b)GR$: bulk volume fraction of clay calculated from the logging data
- GR : measured value of the formation
- GR_{sh} : minimum value of the gamma-ray response of the shale formation
- GR_{min} : minimum value of the gamma-ray response

이다. GR_{sh} 를 최저치로 하는 이유는 셰일층 중에서 점토 함유량이 가장 작은 부분을 기준으로 하기 위한 것이다.

다음으로 점토의 함유량과 공극률의 관계를 실제의 퇴적암층에서 검층자료에 대하여 조사하였다. Fig. 5는 KD-02에 있어서 점토의 함유량과 공극률을 나타낸 것이다. 일반적으로 사암사이에 협재된 셰일부분에서는 점토의 함유량이 증가하고 공극률은 감소하고 있음을 알 수 있다. Fig. 6은 KD-04에 있어서 셰일질 사암사이에 암맥이 관입하고 있는 부분을 표시한 것이다. 이 부분은 검층자료

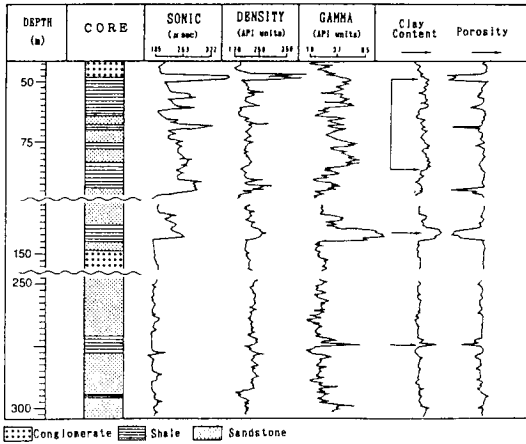


Fig. 5. Sonic, density, gamma-ray, clay content and porosity logs in the KD-02 well.

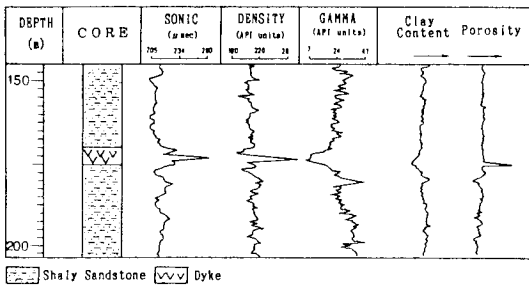


Fig. 6. Sonic, density, gamma-ray, clay content and porosity logs in the KD-04 well.

및 암석코아의 관찰로부터 파쇄대로 파악되고 있으며, 음파전달속도 및 밀도가 낮게 나타나고 있다. 또 점토의 함유량은 감소하고 있는 반면 공극률은 증가하고 있다. 이상과 같이 퇴적암층에서의 점토의 함유량증가는 일반적으로 공극률을 감소시킨다.

검층자료와 암석코아의 비교

검층자료를 분석하므로써 파쇄대, 암상구분 및 변질대 등을 간접적으로 파악하고, 이들을 암석코아와 비교하였다. 여기서 소개하는 예는 물리검층 결과로부터 암상구분, 파쇄대 및 변질대 등의 파악이 비교적 용이한 대표적인 것들이다.

파쇄대

퇴적암의 층리면 및 절리가 발달한 부분에서는 시추중에

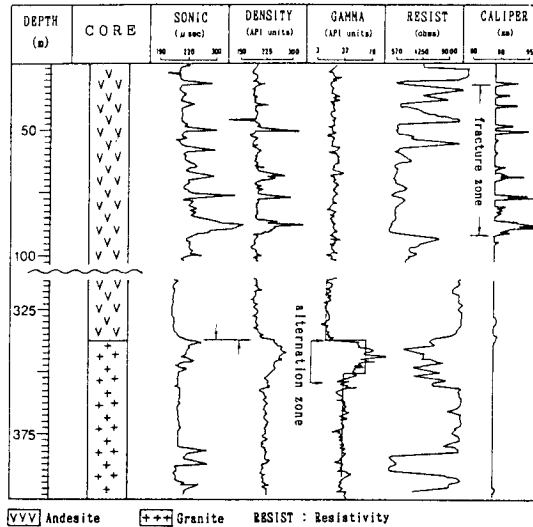


Fig. 7. Sonic, density, gamma-ray, resistivity and caliper logs in the KD-01 well.

암석의 일부가 떨어져나와 내경이 넓어지는 경우가 많다. 이와 같은 파쇄대는 Fig. 7의 윗 부분에서 볼 수 있듯이 공경검층자료로부터 쉽게 인지할 수 있다. 그 밖에 파쇄대에는 음파전달속도 및 밀도가 일반적으로 낮게 나타나고, 또 그 부분에 지하수가 침입하고 있을 경우에는 전기비저항이 낮아지는 경향이 있다.

암상구분

앞에서 기술한 바와 같이 본 조사지역에 분포하는 암석은 화성암으로는 주로 안산암과 화강암이 있고, 퇴적암으로는 주로 역암, 사암 및 셰일이 있다.

우선 안산암과 이것을 관입한 화강암과의 경계부는 Fig. 7의 아랫 부분에서 볼 수 있듯이 여러가지 검층자료로부터 확연히 나타난다. 화강암에 비하여 안산암의 음파전달속도가 빠르고, 밀도가 큰 것은 암석의 구성광물 및 생성원인에 기인한 것으로 생각된다. 다시 말하면, 화강암(심성암)에 비교하여 안산암(화산암)이 세립질의 조직으로 구성되어 있기 때문이다. 자연감마선은 안산암에 비하여 화강암이 높은 반응을 나타내고 있는데, 일반적으로 안산암에 비하여 화강암이 방사성물질, 예를 들면 포타슘의 함유량이 많기 때문이다.

퇴적암의 경우, 물성의 차이가 현저한 구간에서는 암상의 경계를 파악할 수 있지만 (Fig. 6 참조), 물성의 차이가 그다지 크지 않고 역암, 사암 및 셰일이 호층으로 구성되어 있는 구간에서는 암상의 경계를 검층자료로부터 파악할

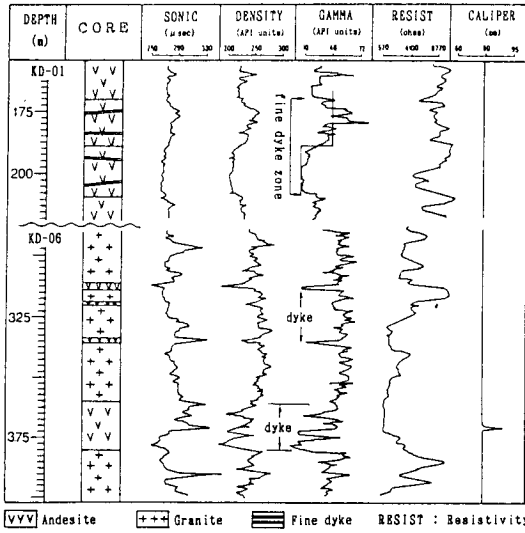


Fig. 8. Sonic, density, gamma-ray, resistivity and caliper logs in the KD-01 and KD-06 wells.

수 없는 경우가 많다.

변질대 및 암맥

본 조사지역의 변질대 및 암맥은 주로 화성암에서 나타나고 있다. 변질대는 풍화작용에 의한 시추공의 상부와 관입한 화강암과의 접촉부에서 발달하고 있다. Fig. 7은 KD-01의 암석코아와 물리검층자료를 나타낸 것으로, 그림 아랫 부분에서 볼 수 있는 안산암과 화강암의 경계부가 상당히 변질되어 있다. 이 경계부로부터 화강암쪽으로 검층자료가 이상반응을 나타내고 있는데, 이것은 화강암이 안산암을 관입할 때 생긴 열수변질작용에 의한 것으로 생각된다.

Fig. 8은 KD-01과 KD-06의 암석코아와 물리검층자료를 나타낸 것으로, 상부의 KD-01 시추공의 170~210 m 구간에 있어서 검층반응이 크게 변동하고 있다. 170~185 m 구간은 음파전달속도 및 밀도가 감소하고, 자연감마선에 대해서는 높은 반응이 나타나고 있다. 그러나, 이와 반대로 185~210 m 구간은 음파전달속도 및 밀도가 증가하고, 자연감마선에 대해서는 낮은 반응이 나타나고 있다. 이것은 이 구간에 발달하고 있는 암맥의 충전물질이 다르기 때문이다. 다시 말하면, 170~185 m 구간은 산성의 화강암질 암맥이 발달하고 있기 때문에 주위의 안산암에 비하여 음파전달속도 및 밀도가 감소하고, 자연감마선의 반응은 높게 나타나고 있다. 185~210 m 구간은 거의 10 cm 이하의 세맥내에 2차적으로 석영 (quartz) 및 방해석 (cal-

Table 2. Gamma-ray log characteristics of most common minerals (form Duncan et al., 1988).

Mineral	Radiation in API Unit
Quartz	0
Calcite	0
Dolomite	0
Orthoclase	200
Albite	0
Muscovite	140
Biotite	85
Kaolinite	6
Chlorite	0.8
Illite	69

Table 3. Mean velocities, densities and resistivities for representative rocks in the Keoje-do area.

Rock	P-wave velocity (m/sec)	Density (g/cm ³)	Resistivity (Ω-m)
Sandstone	5,400~5,700	2.65	3,000~4,000
	(4,900~5,100)	(2.69)	
Andesite	5,500~5,900	2.72	8,000~9,000
	(5,500~5,700)	(2.75)	
Granite	4,800~5,500	2.65	4,000~5,000
	(4,900~5,100)	(2.64)	
Conglomerate	4,900~5,500	2.68	3,000~4,000
	(4,800~5,000)	(2.69)	
Shale	4,900~5,100	2.65	500~1,000
	(4,800~5,000)	(2.67)	

* () values obtained in laboratory

cite)이 충전되어 있다. Table 2에 제시한 일반적인 광물의 감마선 강도에 의하면 석영 및 방해석의 감마선 강도는 0이다. 따라서, 185~210 m 구간에는 음파전달속도 및 밀도가 증가하고 자연감마선은 낮은 반응이 나타난다.

Fig. 8의 KD-06의 아랫 부분에서는 화강암중에 안산암질 암맥이 협재되어 있다. 암맥부분은 밀도가 크고, 자연감마선의 반응이 낮게 나타나고 있다. 이것은 안산암질 암맥이 화강암에 비하여 방사성물질 포타슘의 함유량이 적기 때문이다.

검층자료의 정량적분석

6곳 시추공의 화성암류의 안산암과 화강암, 그리고 퇴적암류의 사암, 역암 및 셰일에 대하여 검층자료를 정량적으로 분석한 결과를 Table 3에 표시한다. 검층자료의 정량적분석에는 각 암석의 평균치를 이용하였는데 변질대 및 파쇄대등 깊이에 따라 변화폭이 큰 구간은 제외하였다.

이 결과를 보면, 음파전달속도는 실내측정의 경우, 음

력이 해방된 상태에서 측정하기 때문에 야외 검층 측정치보다 느리게 나타난다. 음파전달속도가 가장 큰 암석은 안산암이고, 사암, 역암, 화강암 및 셰일 순으로 작아지고 있다. 밀도의 경우는 검층 측정치보다 실내 측정치가 크게 나타나고 있다. 이러한 원인은 야외 검층자료로부터 밀도를 환산하는 과정에서 생기는 오차에 의한 것으로 생각된다. 밀도가 가장 큰 암석은 안산암이고, 그외의 암석은 거의 비슷하게 나타난다. 노말비저항은 같은 암석이라도 변화폭이 대단히 크기 때문에 음파전달속도 및 밀도를 분석한 구간에 있어서 평균치를 구했다. 가장 높은 비저항을 나타내고 있는 암석은 안산암이고, 화강암, 사암, 역암 및 셰일 순으로 작아지고 있다.

결 론

본 연구에서는 거제도에서 실시된 시추 및 물리검층으로 얻어진 자료를 이용하여 지질조사에 대한 물리검층의 적용성에 관하여 검토하였다. 종래, 물리검층은 지질조사의 보조적 역할로 이용되는 경우가 많았지만, 몇가지의 물리검층을 조합시켜서 보면 여러가지 지질상황을 보다 정확하게 알 수 있다. 특히, 절리 및 균열의 존재, 변질대 및 암맥, 지층구분 등의 조사에 유용하다.

밀도 및 자연감마선 검층자료를 이용하면 퇴적암의 점토함유량과 공극률을 산출할 수 있다. 파쇄대는 공경검층자료로부터 확연히 파악될 수 있고, 균열(crack)에 의한 음파감쇄 및 치밀성 저하 때문에 음파전달속도는 느리게, 밀도는 작게 나타나고 있다. 암상구분은 안산암과 이것을 관입한 화강암과의 경계부에 대해서는 암상에 의한 방사성물질의 함유량 차이와 화강암이 관입할 때 접촉부에서의 열수변질작용 등에 의해 검층자료로부터 명확히 알 수

있다. 그러나, 퇴적암의 경우, 일부의 구간을 제외하고는 역암, 사암 및 셰일이 호층으로 구성되어 있는 구간의 암상구분은 파악되지 않는다. 변질대 및 암맥의 발달에 대해서는 신선한 암석보다 음파전달속도는 느리게, 밀도는 작게 나타나고, 특히 암맥의 발달구간에 있어서 셰맥내에 충전된 물질을 자연감마선 검층자료로부터 파악할 수 있다.

사 사

본 연구에 사용한 자료는 국제 Highway 연구회로부터 제공받았으며, 이에 대하여 감사 드린다. 또 연구비의 일부는 전략광물자원 연구센터의 지원을 받았다.

참고문헌

- 권병두, 손세조, 손정우 (1988) 석탄층 검층자료의 정량적 해석법 연구. 광산지질, 21권, p. 85-96.
- Duncan, R. C. and Keith, J. M. (1988) Surface gamma-ray logs: A correlation tool for Frontier areas: Discussion. AAPG Bulletin, v. 72, p. 634-636.
- Guyod, H. (1966) Interpretation of electric and gamma-ray logs in water wells. Log Analyst, v. 6, p. 273-294.
- Poupon A. and Gaymard, A. (1970) The evaluation of clay content from logs. Trans. 11th Ann. Soc. Prof. Well Log Analysts Logging Symposium, Los Angeles, Paper G.
- Wyllie, M. R. H. (1958) An experimental investigation of factors affecting elastic wave velocities in porous media. Geophysics, v. 23, p. 459-393.
- Wyllie, M. R. H., Gregory, A. R. and Gardner, L. W. (1956) Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media. Geophysics, v. 21, p. 41-70.